

Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para dados provenientes do sistema laser – ALTM 2050

Eng. Marlo A.R. Martins ¹

Eng. Daniele Felix ²

Eng. Ana Paula B. Kersting ³

¹ LACTEC - Depto. de Informações Georreferenciáveis
80.011-970 Curitiba PR
marlomartins@lactec.org.br

² LACTEC - Depto. de Informações Georreferenciáveis
80.011-970 Curitiba PR
daniele@lactec.org.br

³ LACTEC - Depto. de Informações Georreferenciáveis
80.011-970 Curitiba PR
anapaula@lactec.org.br

Resumo: O mapeamento digital a laser é capaz de gerar modelos densos e precisos tanto da topografia do terreno quanto das estruturas verticais da superfície. A utilização desse sistema tem revolucionado o campo da topografia devido ao baixo tempo para a geração dos produtos, sendo uma metodologia alternativa para geração de bases cartográficas precisas e confiáveis. O artigo apresenta uma comparação entre o levantamento digital a laser e o levantamento topográfico, sendo este levantado com receptores geodésicos. Foram escolhidos pontos da base cartográfica, estes foram levantados em campo para o desenvolvimento de uma tabela comparativa entre as coordenadas (gráfica x topográfica), sendo possível calcular o desvio padrão e o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (segundo o decreto nº 89.817) do mapeamento digital a laser. Considerando a viabilidade do processo e a classificação do mapeamento digital a laser, este demonstra ter um potencial e uma qualidade aplicável à geração de bases cartográficas.

Palavras chaves: Mapeamento Digital a Laser, Base Cartográfica e Padrão de Exatidão Cartográfica.

Abstract: The digital laser mapping is capable of generating dense and precise models not only of the ground bare surface but also models including vertical structures of the surface. The use of this technology has revolutionized the field of topography due to the low time demanded for the generation of the products, being an alternative methodology for generation of precise and reliable cartographic base. This paper presents a comparison between traditional techniques using geodetic GPS receivers and the laser scanning technique. Some points were chosen to be surveyed in the field in order to compare laser data and the coordinates surveyed in the field, in order to calculate the standard deviation and the Standard Cartographic Exactness (according to Brazilian normalization) of the data acquired with the laser scanning. Considering the feasibility of the process and the classification of the digital laser mapping, the laser scanning technique demonstrates to have a potential and an applicable quality to the generation of cartographic base.

Keywords: The Digital Laser Mapping, Cartographic Base, and Standard of Cartographic Exactness.

1 Introdução

1.1 Mapeamento Digital a Laser

O mapeamento digital a laser ou mundialmente conhecido com LIDAR (Light Detection and Ranging) é capaz de gerar modelos digitais densos e precisos, tanto da topografia do terreno como da estrutura vertical da superfície. Em áreas rurais, a vegetação pode ser extraída do contexto, estradas e edificações podem ser modeladas a partir dos dados de elevação. Outras estruturas construídas podem ser observadas, como: linhas de transmissão, torres, pontes, barragens, tornando-se assim, uma ferramenta atraente para usuários finais de dados topográficos em várias áreas. Para qualquer aplicação que exija modelos digitais de elevação com alta densidade, alta resolução e precisão da ordem do decímetro, o mapeamento digital a laser oferece capacidade técnica "ímpar", baixo tempo de processamento e conseqüentemente baixo custo operacional, se comparado às formas tradicionais de levantamentos de dados.

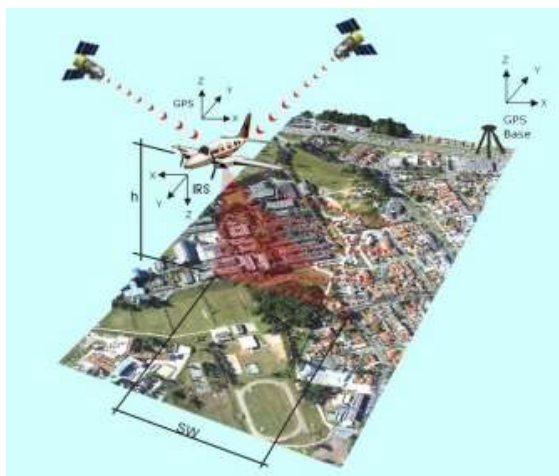


Figura 1 : Funcionamento do sistema ALTM2050

Os componentes básicos do sistema de Mapeamento digital a laser são: um laser scanner, um receptor GPS de dupla frequência, um sistema inercial (IMU), e um rack de controle, onde se encontra o computador que gerencia todo o sistema. O sistema pode ser instalado tanto em helicópteros como em aviões. Uma característica que torna o mapeamento digital a laser único é o fato dele poder ser utilizado de dia ou de noite, já que ele opera na posição infravermelha do espectro.

Seu princípio de funcionamento está baseado na emissão de feixe laser infravermelho em direção à superfície terrestre. Na superfície, estes feixes são refletidos por obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e são captados pelo sensor. Para cada feixe emitido é registrado o tempo de percurso aeronave – obstáculo – aeronave. A partir do tempo de percurso do laser é possível determinar a distância. A atitude da aeronave é constantemente registrada pelo IMU e esses dados também são levados em conta para produzir uma posição tridimensional do ponto da superfície da Terra que foi atingido por cada pulso laser.

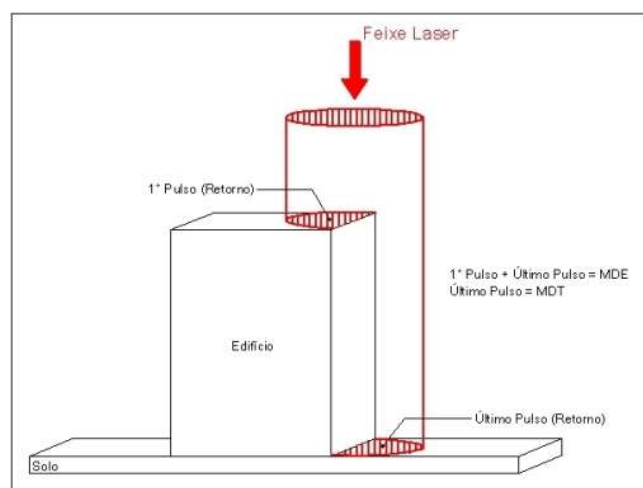


Figura 2 : Demonstração do primeiro e último pulso

Como a área de cobertura de cada feixe é variável de acordo com a altitude, é possível que uma porção do mesmo feixe laser encontre um ou mais objetos antes de atingir o solo, como a figura abaixo. Esses encontros geram um retorno parcial do feixe, denominado de primeiro retorno. O laser scanner armazena dados tanto do primeiro como também do último retorno. De posse desses dois tipos de informações, é possível gerar modelos digitais a partir de ambos os retornos, ou seja, Modelo Digital de Elevação (MDE), ou só do último retorno, ou seja, Modelo Digital de Terreno (MDT).

Com esses dados do mapeamento (MDT e MDE) é possível gerar os seguintes produtos em coordenadas X,Y,Z em SAD69: mapeamento planialtimétrico; curvas de nível a cada metro; áreas de enchente; declividade do terreno;

drenagem do terreno; mapeamentos temáticos das áreas de desmatamento, matas nativas e reflorestamento; geração de orto-imagens de intensidade e hipsométrica; cálculos volumétricos da vegetação ou do terreno; geração de banco de dados para SIG; geração de seções transversais; entre outros.

Como o mapeamento digital a laser levanta pontos diretamente no terreno, o modelo digital do terreno (3D) gerado não tem escala, mais sim uma precisão de 50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria. As imagens

de intensidade e as imagens hipsométricas (intensidade + altitude) geradas pelo laser são totalmente digitais e ortoretificadas, tanto ao nível do solo como ao nível das edificações, com uma resolução de 10 cm até 1 m.

Essa condição de ortogonalidade das imagens permite ao usuário fazer uma restituição planimétrica diretamente sobre as imagens, não tendo a necessidade da estereoscopia para realizar a restituição planimétrica nas imagens.

A tecnologia LIDAR acelera o processo de mapeamento, pois não necessita de várias etapas da metodologia convencional, como: geração de modelos estereoscópios, aerotriangulação, entre outras.

Tabela 1 - Características do Equipamento Laser do LACTEC

Descrição do sistema	Característica
Modelo do equipamento	ALTM 2050
Fabricante do equipamento	Optech
Ano de fabricação	2002
Frequência do pulso laser	50.000 pulsos por segundo – 50kHz
Frequência de varredura	Variável de 1Hz a 100Hz
Ângulo de varredura	Variável 0° a 40°
Sistema Inercial (IMU) / GPS	Applanix
Capacidade de armazenamento	36 Giga Bytes
Software da operação de voo	ALTM-NAV (Optech)
Software do processamento	REALM (Optech)
Tipo de coleta de dados	Primeiro e último retorno do pulso
Densidade de pontos	Variável de 400.000 a 4.000.000
Número de pontos por m ²	Variável de 1 a 4 pontos
Precisões	50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria

Fonte: Optech about ALTM System.

A restituição altimétrica é substituída pela geração automatizada das curvas de nível sobre os modelos digitais, já que esses modelos têm pontos com um afastamento de no máximo 1,5 m de distância, tendo modelos densos e precisos.

Essa tecnologia está atualmente revolucionando o campo da topografia, tanto no âmbito nacional como internacional, trazendo grande agilidade aos mapeamentos e novas soluções de engenharia.

1.2 Mapeamento Digital a Laser da UFPR – Campus Centro Politécnico

O Cento Politécnico é uma área que contém levantamentos topográficos, geodésicos e fotogramétricos, além do conhecimento da variação geoidal – ΔN e uma quantidade grande de marcos do IBGE. Já na região do entorno podemos encontrar áreas de vegetação alta e densa, áreas habitacionais, grandes edificações, lagos, rios, estradas, arruamentos, quadras regulares e irregulares, entre outros entes necessários para o estudo do mapeamento digital a laser.

Assim, escolheu-se o Centro Politécnico como base de estudos, pois é possível fazer uma comparação entre os mapeamentos já existentes com o mapeamento gerado através do laser scanner – ALTM2050, obtendo um Padrão de Exatidão Cartográfica para o mesmo.

2 Metodologia do Mapeamento do Centro Politécnico

2.1 Vôo do Centro Politécnico e Arredores

Foi executado um vôo sobre a região, tendo os seguintes parâmetros: altura de 1.000 m; resolução de 0,713 m de espaçamento entre os pontos levantados; conforme a figura abaixo.

Os produtos extraídos desse vôo foram os seguintes itens: orto-imagem de intensidade e de hipsometria; vetorização das orto-imagens na escala de 1:2.000; modelos tridimensionais (MDT e MDE); e filmagem do vôo em sistema 8 mm.

O vôo foi realizado com uma aeronave bimotor a gasolina, especialmente adaptada ao sistema laser – ALTM2050, sendo equipada com piloto automático e rastreador de satélites do sistema NAVSTAR-GPS para a orientação do vôo e pós-processamento da trajetória da mesma. Além disso, o sistema ALTM 2050 possui os seguintes itens: Inertial Measurement Unit (IMU), Global Positioning System (GPS), computador de gerenciamento, fonte laser – 50 kHz, câmera de vídeo e dois HD's de 18 GB para armazenamento dos dados. O sistema ALTM2050 estava operando o laser com uma frequência de 50.000 pulsos por segundo, ou seja, 50 kHz e registrando aproximadamente 2.500.000 de pontos por quilômetro quadrado.

Flight Plan		LIDAR Settings	
Altitude (m AGL)	1000	Desired Res (m)	0.713
Overlap (m)	102.378	Scan Freq (Hz)	50.6
Overlap (%)	30	Scan Angle +/-	10
Passes	6	Scan PRF (kHz)	50
Groundspeed (kts)	140	Swath (m)	341.26
Turn Time (min)	6		
Survey Specifications			
Pass Spacing (m)	238.88	Total Flight Time	00:32:48
Pass Heading (deg)	147	Cross Track Res	0.714
Total Length (km)	9.954	Down Track Res	0.712
Swath Area (km ²)	2.378	AOI Area (km ²)	2.172

Figura 3 : Parâmetros do vôo

2.2 Processamento dos Dados do Centro Politécnico

O processamento dos dados laser é dividido em três etapas (ver figura 04): processamento da trajetória; processamento das coordenadas (X,Y,Z) juntamente com a intensidade de retorno; e transformação de referencial, correção geoidal e projeção cartográfica.

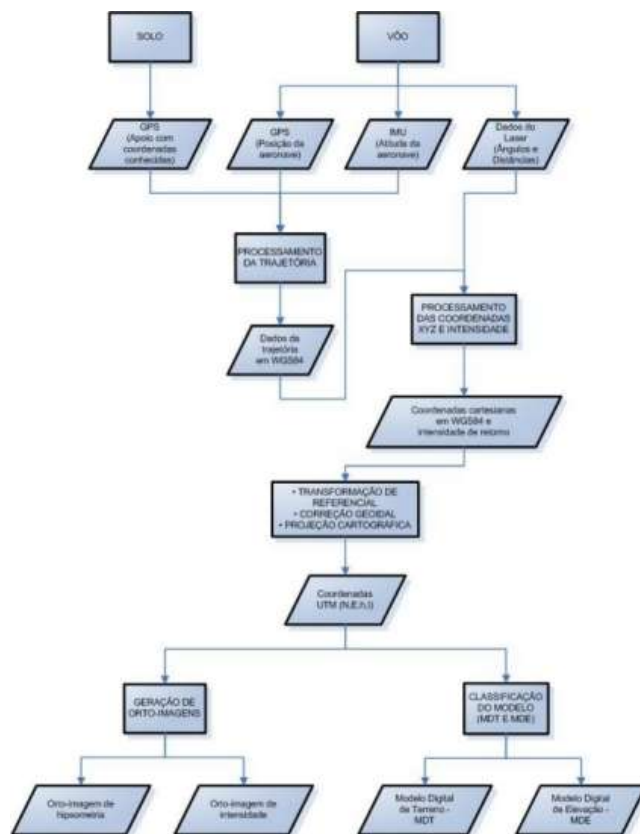


Figura 4 : Fluxograma do processamento dos dados laser

O processamento da trajetória foi realizado com os dados provenientes do vôo, como: IMU; GPS da aeronave; e o GPS de campo (ver item 2.3), todos no referencial WGS-84 com uma alta precisão.

O processamento das coordenadas do terreno foi realizado com os dados da trajetória calculados na etapa anterior juntamente com os dados de ângulos e distâncias do laser provenientes do vôo, onde foi possível determinar as coordenadas cartesianas (X, Y, Z, Intensidade) do terreno modelado no referencial WGS-84.

A transformação de referencial, correção geoidal e projeção cartográfica foram realizadas utilizando os parâmetros e fórmulas oficiais do Brasil divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, para se obter os dados em coordenadas UTM (N, E, h, Intensidade) no referencial brasileiro – SAD69.

Depois de processados os dados e gerados modelos digitais no formato UTM (N, E, h, Intensidade) são gerados os seguintes arquivos, ver figura 04:

- Geração da orto-imagem

digital de intensidade, georreferenciada no sistema geodésico brasileiro – SAD69, na projeção UTM;

- Geração da orto-imagem digital de hipsometria (Intensidade+altitude), georreferenciada no sistema geodésico brasileiro – SAD69, na projeção UTM;
- Pontos com coordenadas UTM georreferenciadas no sistema geodésico brasileiro – SAD69 e altitude ortométrica (Marégrafo de Imbituba), para a geração do Modelo Digital de Elevação – MDE (terreno + estruturas verticais);
- Pontos com coordenadas UTM georreferenciadas no sistema geodésico brasileiro – SAD69 e altitude ortométrica (Marégrafo de Imbituba), para a geração do Modelo Digital de Terreno – MDT (apenas o terreno para geração das curvas de nível).

2.3 Apoio de Campo

O apoio de campo planimétrico teve como datum o marco BASE 01 localizado no estacionamento frontal do prédio do Centro de Hidráulica e Hidrologia Parigot de Souza – Cehpar, utilizando o referencial geodésico brasileiro – SAD69.

O apoio de campo para o vôo a laser foi necessário devido o fato da realização da correção diferencial do GPS da aeronave. Com as seguintes especificações: taxa de gravação de 1 segundo, determinando assim a trajetória precisa da mesma; distâncias máximas da base em relação à aeronave de 30 km, para obtenção de resultados centimétricos, conforme estipulado pelo fabricante (ver características do fabricante no item 1.2); e melhor configuração dos satélites minimizando o PDOP.

2.4 Restituição Digital do Centro Politécnico na Escala 1:2.000

A restituição digital planimétrica na escala 1:2.000, foi executada sobre a orto-imagem de hipsometria georreferenciada em softwares específicos de CAD em meio magnético e totalmente compatível com o sistema de informação geográfica – SIG, obtendo diretamente as informações georreferenciadas provenientes da orto-imagem, como: sistema viário, hidrografia, edificações, entre outras (ver figura 05).

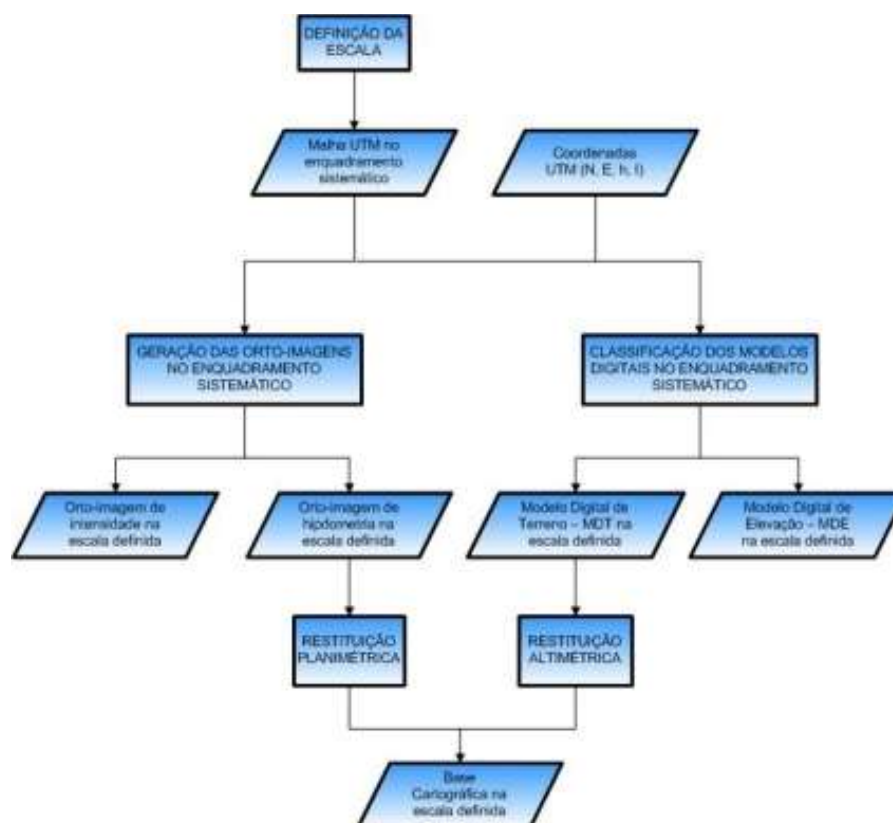


Figura 5 : Fluxograma da Restituição das orto-imagens do laser

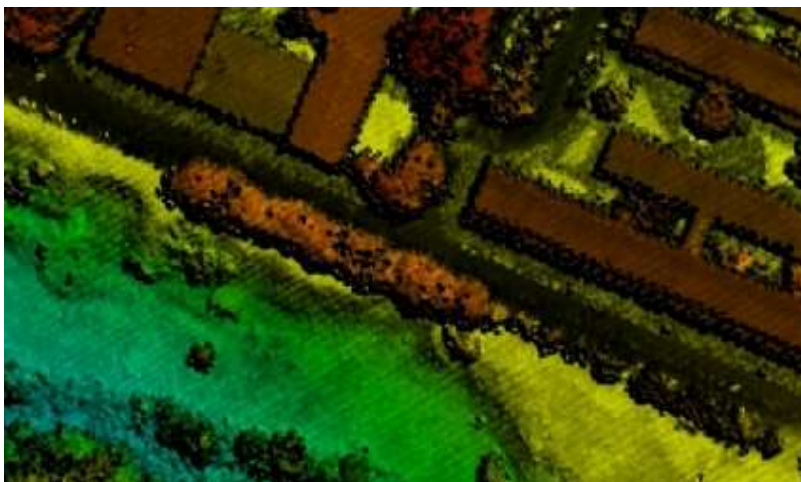


Figura 6 : Imagem Hipsométrica sem Restituição

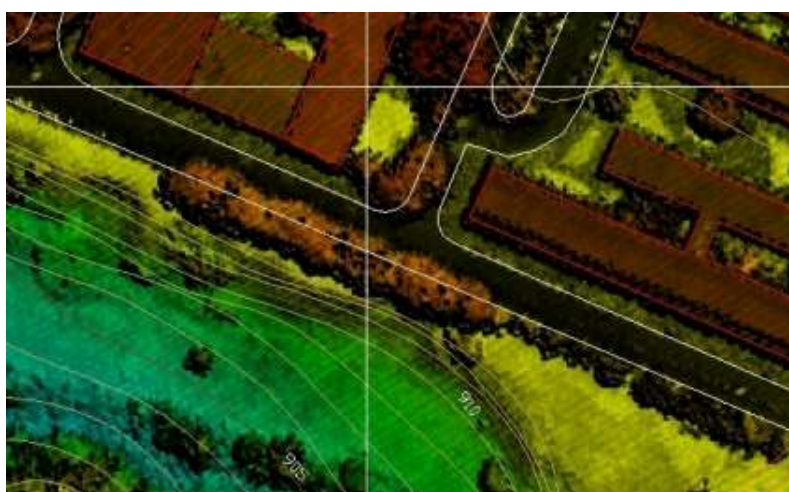


Figura 7 : Imagem Hipsométrica com Restituição

Para a realização da restituição digital planimétrica existiu uma análise na imagem hipsométrica, para a identificação de edifícios, lotes, ruas, quadras, entre outros. Observando as imagens foi possível identificar o contorno dos edifícios, do arruamento, das árvores, dos limites dos lotes, a linha de distribuição, entre outros objetos. Essa possível identificação dos objetos e o princípio de que as imagens são ortogonais foi possível realizar a restituição gráfica das entidades gerando assim uma restituição possível para a base cartográfica na escala 1:2.000 (ver figura 06 e 07).

A restituição digital altimétrica foi realizada diretamente no modelo digital de terreno – MDT, onde foram definidas automaticamente as curvas de nível a cada metro com curvas mestras a cada 5 metros de forma contínua, tendo somente interrupção das curvas para inserção de cota ou para evitar a superposição com edificações e estradas (Ver figura 05).

3 Resultados Obtidos com o Mapeamento Digital a Laser

3.1 Mapeamento Digital a Laser x Levantamento Topográfico

A fim de garantir o máximo de precisão, controle e facilidade de operação na comparação dos pontos levantados por topografia como os pontos levantados pelo mapeamento digital a laser, foi utilizado o sistema de posicionamento geodésico por satélites artificial denominado NAVSTAR-GPS, para o levantamento topográfico.

Este sistema trata-se de um conjunto de satélites de navegação e posicionamento geodésico implantado pelo Departamento de Defesa em conjunto com o Departamento de Transportes dos Estados Unidos da

América, cuja palavra derivou de “Navigation System with Time and Ranging – Global Position System”.

Os satélites NAVSTAR-GPS, emitem sinais de rádio, com os quais rastreadores portáteis podem se posicionar. Para a finalidade geodésica, torna-se necessário o emprego de no mínimo dois rastreadores a fim de se obter a máxima precisão, ou seja, precisão superior a 1ª ordem. Um dos rastreadores deve-se posicionar em um ponto de coordenadas conhecidas e confiáveis e a outra, no ponto cujas coordenadas deseja-se determinar.

Os resultados gerados por este sistema de posicionamento são coordenadas cartesianas tridimensionais, que posteriormente são transformadas para coordenadas geodésicas elipsoidais (latitude, longitude e altitude geométrica). Esta altitude geométrica é posteriormente transformada em altitude ortométrica através da diferença geoidal local (ΔN) existente na região, este valor foi o mesmo adotado para corrigir a diferença geoidal dos dados levantados pelo mapeamento digital a laser, sendo esse valor de aproximadamente 7,0905 m de desnível geoidal.

No caso deste experimento, foram utilizados dois receptores do tipo geodésico da marca LEICA – System 500, modelo SR-530. Estes receptores possuem doze canais independentes permitindo captar simultaneamente até doze satélites, sendo de dupla frequência podendo receber tanto L1 quanto L2, tem acesso ao código “P” e com a possibilidade de utilizar a correção em tempo real “Real Time Kinematic – RTK”.

Para o levantamento do experimento optou-se realizar a coleta de pontos pelo método RTK, pois seria possível em pouco tempo levantar todos os pontos em questão, com uma excelente precisão e não havendo a necessidade de realizar um processamento em escritório.

Para o equipamento e método utilizado foram definidos os parâmetros para a fase de coleta dos pontos no campo. Assim, para a realização do experimento foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Número mínimo de satélites – Para todos os pontos de rastreio foi adotado um mínimo de 4 satélites;
- Ângulo mínimo de elevação – Para todos os pontos de rastreio foi adotada uma elevação superior ou igual a 15°;
- Configuração geométrica (PDOP) – Os pontos de rastreio foram programadas para serem realizadas em horários de melhor configuração geométrica de satélites para o local do experimento.

Para essa avaliação foram selecionados 47 pontos na restituição cartográfica para verificação em campo com o GPS. Após levantar os pontos topográficos por GPS foi gerada uma tabela com as coordenadas topográficas (E, N, h), coordenadas gráficas do mapeamento (E, N, h), diferenças entre as coordenadas e distâncias entre os pontos. Através desta tabela foi possível calcular o erro padrão entre as coordenadas (E, N, h) e as distâncias entre os pontos, conforme a tabela abaixo.

Tabela 02 – Desvio padrão dos pontos levantados na região do Centro Politécnico

DESVIO PADRÃO			
Distâncias	E	N	h
0,3076	0,3607	0,4545	0,1070

Depois de definido o desvio padrão da amostra, foi calculado o Padrão de Exatidão cartográfica – PEC, segundo o decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984, onde se obteve os seguintes resultados demonstrados na tabela abaixo.

Tabela 03 – Padrão de Exatidão Cartográfica do mapeamento digital a laser do Centro Politécnico

PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA – PEC			
Distâncias	E	N	h
0,5060	0,5933	0,7477	0,1761

4 Conclusões e Recomendações

Os resultados mostram a viabilidade do processo de Mapeamento Digital a Laser, já que considerando o Decreto lei 89.817 e a exatidão planimétrica obtida na restituição de arruamentos, muros, edificações, etc., permitiram classificar a restituição planialtimétrica realizada, como Classe A, tanto para os eixos Norte/Este como para a altitude ortométrica da coordenadas na escala de 1/2.000, como mostram os valores da tabela 03.

Cabe ressaltar que o Mapeamento Digital a Laser não é um complemento para a aerofotogrametria, mas uma metodologia alternativa para a geração de bases cartográficas precisas e confiáveis, através de modelos digitais densos e precisos (modelo digital de terreno - MDT e o modelo digital de elevação - MDE) e de remoção virtual da vegetação existente. Com esses modelos densos e precisos é possível buscar automaticamente pequenas quedas em bacias hidrográficas, determinar a altura e volume da vegetação para estudos ambientais, traçado de curvas de nível, além de servir de bases para inúmeros outros estudos de engenharia como: cálculos de remanso, curvas cota x área x volume, processos de perda de solo, etc.

A associação dos dados do laser proveniente do sistema ALTM 2050, com imagens digitais proporcionam produtos que atendem completamente a necessidade cartográfica da geração de bases precisas, tanto no georreferenciamento como na identificação e interpretação dos entes naturais ou construídos.

O mapeamento digital a laser possui uma agilidade acima de qualquer técnica utilizada atualmente, podendo ser operado de noite ou de dia, com capacidade de adquirir milhares de pontos com excelente precisão.

Porém, para a obtenção de precisão, é necessário que o equipamento esteja sempre calibrado e verificado. É de praxe mundial e deveria ser de praxe aqui no Brasil a realização de vôos de calibração altimétrica e planimétrica para cada nova missão, sendo apresentado os resultados das análises estatísticas dos erros encontrados, os parâmetros resultantes, bem como a metodologia adotada em relatório de conclusão dos serviços.

5 Referências Bibliográficas

- Andrade, J.B.** Fotogrametria. SBEE, Curitiba, 1998.
- Axelsson, P.** Integrated Sensors for Platform Orientation and Topographic Data Acquisition. Symposium on Digital Photogrammetry. Istanbul, 1998.
- Axelsson, P.** Processing of Laser Scanner Data - Methods and Algorithms. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. LXI, 1999.
- Brasil, Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984.** Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.
- Dalmolin, Q.** Projeto Fotogramétrico. Editora UFPR, Curitiba, 1999.
- Duarte, P. A.** Fundamentos de Cartografia. Editora da UFSC, Florianópolis, 2002.
- Espartel, L.** Curso de Topografia. Editora Globo, Porto Alegre, 1983.
- Garcia-Tejero, D. F.** Topografia General y Aplicada. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1998.
- Gemael, C.** Introdução à Geodésia Física. Editora UFPR, Curitiba, 2002.
- Gutelius.** Engineering Applications of Airborne Scanning Lasers: Reports from the field. The Journal of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. LXIV, N. 4, 1998, pp. 246-253.
- Haala, N.; Brenner, C.; Anders, K.H.** Generation of 3D City Models from Digital Surface Models and 2D GIS. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 32 Part 3-4 W2, 1997.
- Kilian, J.** Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 31. Pp. 385-388. Viena, 1996.
- Leick, A.** GPS Satellite Surveying. Wiley-Interscience Publication, USA, 1995.
- Lithopoulos, E.** Automatic sensor orientation using integrated inertial/GPS direct georeferencing with minimal ground control. GIM International, Vol. 13, Number 6, 1999, pp. 58-61.
- Loch, C.; Cordini, J.** Topografia contemporânea: planimetria. Editora da UFSC, Florianópolis, 1995.

Medvedev,E. Digital Automatic Orthophoto Production With Laser Locator And Aerial Photography Data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 32. 6W8/1. Eslovênia, 2000.

Monico,J.F.G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamento e aplicações. Editora UNESP, São Paulo, 2000.

Richards,J.A; Jia,X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Springer, Germany, 1998.

Willén,E. Geometric Evaluation of Airborne Laser Scanner Data. Master of Science Thesis, The department of geodesy and photogrammetry, KTH, Swden, 1997.