

O Uso de Laser em Áreas urbanas: Resultados e Aplicações para Cadastro

Denise Rodbard Falat
Elizabeth Bugalski de Andrade Peixoto
Márcio Miguel Tavares
Silas Sallem Filho

Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Rua Dr. Reynaldo Machado, 1151
Prado Velho
80.215 – 010 Curitiba PR, Brasil
info@esteio.com.br

RESUMO : O uso de sensores LASER aerotransportados, para levantamentos de dados altimétricos voltado para as mais diversas aplicações, já está consolidado em todo o mundo. A evolução dos equipamentos tem sido significativa, com maior capacidade de captação de dados, potencialidades operacionais e diferentes modelos. O levantamento com o sensor LASER no município de São Paulo foi realizado em uma pequena parcela da zona central, bem como em toda a zona sul do município. Nestas áreas mapeadas, foram observadas regiões com densa urbanização vertical e horizontal, áreas de ocupação irregular, as quais também foram objeto de restituição altimétrica por fotogrametria digital. Este conjunto de informações permitiu avaliar as taxas de penetração dos pulsos LASER em regiões densamente urbanizadas, com o objetivo de gerar modelos digitais do terreno e curvas de nível, avaliar os processos de captação de dados altimétricos com o sensor LASER e com a fotogrametria digital, bem como verificar a precisão do mapeamento, a partir da verificação com os pontos de controle medidos em campo. Neste trabalho também se propõe uma aplicação específica, buscando a identificação de alterações na superfície, utilizando exclusivamente dados derivados de perfilamentos a LASER, realizados em 2004 e em 2007. Com a comparação automática das coordenadas altimétricas dos distintos modelos, tornou-se possível a identificação das alterações ocorridas na superfície ao longo do período decorrido entre os dois levantamentos.

PALAVRA-CHAVE: LASER, Áreas Urbanas, MDT, Ocupação Territorial..

ABSTRACT : The use of Airborne LASER Scanning (ALS) for vertical data surveys in most common mapping products is already consolidated all over the world. The equipment's evolution has playing a important role with larger data capture capacity, operational potentialities and different features. The data collect was accomplished in a small part of municipality central area, as well as in whole south area. In these mapped areas, it was observed a dense vertical and horizontal urbanization, irregular land use areas, which were also object for digital photogrammetric plotting. This data set evaluated the penetration of LASER beam in dense urban areas with the aim of deriving digital terrain models and contours lines, to evaluate the vertical data collect procedures with ALS and Digital Photogrammetry, as well as to check out mapping accuracy using ground control points surveyed. The final results validated the collected data of similar areas planned previously as well as the use of ALS in urban areas as those of Sao Paulo's municipality. In this work we propose a specific application, seeking to identify the changes on the surface, using data derived exclusively from LASER scanings, carried out in 2004 and in 2007 It was possible, due to the automatic comparison of the altimetric coordinates of the distinct models, to identify the changes occurred on the surface throughout the period between the surveys.

KEYWORDS: LASER, Urban areas, Digital Terrain Model, Territorial Occupation.

INTRODUÇÃO

O uso de sensores LASER aerotransportados, nos levantamentos de dados altimétricos, já está consolidado para as mais diversas aplicações. Sua evolução, em equipamentos e programas tem sido significativa, com inúmeras funcionalidades e potencialidades.

Os resultados obtidos com o uso do sensor LASER, tanto em relação à precisão dos dados como na quantidade de pontos para a definição da superfície terrestre, em comparação com outros métodos, tem se apresentado vantajoso.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos pelo sensor LASER em áreas urbanas em São Paulo - SP, considerando as várias características de ocupação do espaço urbano existentes, bem como apresentar uma aplicação para identificação de alterações ocorridas na superfície do município de Santa Luzia - MG, sejam elas naturais como artificiais, através de levantamentos sucessivos de LASER.

A análise comparativa dos resultados dos perfilamentos sucessivos possibilitará a identificação de alterações da ocupação territorial, demonstrando a aplicabilidade desta tecnologia como uma alternativa no processo de gestão territorial.

1. USO DO SENSOR LASER: ALTERNATIVA NO MAPEAMENTO DIGITAL EM SÃO PAULO

O mapeamento digital de São Paulo abrangeu todo o território do município, aproximadamente 1.500 km², sendo 1.100 km² mapeados na escala 1:1.000 com curvas de nível com equidistância de 1m, e, 400 km² na escala 1:5.000 com curvas de nível com equidistância de 5m.

Além da cartografia tradicional, foram gerados vários produtos originados da cobertura aerofotogramétrica, como: ortofotocartas digitais, modelos digitais do terreno, além da atualização da base cadastral e o geoprocessamento dos dados do mapeamento.

O método fotogramétrico para a geração das curvas de nível era o previsto nas especificações técnicas. Contudo, em função do curto prazo e a disponibilidade do sensor LASER ALTM 20/25, foi apresentada a alternativa de captação dos dados altimétricos a partir do perfilamento a LASER para a geração das informações altimétricas.

Este trabalho teve o objetivo de demonstrar a eficiência em mapear com sensor LASER as áreas densamente urbanizadas horizontalmente, verticalmente, além das áreas urbanizadas irregularmente, no que se refere à precisão prevista no contrato (PEC – Padrão de Exatidão Cartográfico - Classe A), bem como em relação à taxa de penetração dos pulsos LASER, formadores do modelo digital do terreno e base de dados para as curvas de nível.

1.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS AVALIADAS

O município de São Paulo apresenta uma ocupação urbana densa, com diferentes formas de urbanização. Estas diferentes formas possuem características e dificuldades distintas para a realização de um levantamento com sensor LASER.

Nas áreas urbanizadas verticalmente, com predominância de edifícios muito altos, muito próximos entre si e com a existência de variação de nível na superfície pela existência de garagens e outros elementos construtivos, a dificuldade principal é a penetração dos pontos nos espaços vazios.

Nas áreas urbanizadas horizontalmente, com predominância de residências e ocupação regular, a dificuldade principal é a penetração dos pontos entre as residências e a existência de vegetação. Nas áreas urbanizadas irregularmente, com predominância de moradias com cobertura reflexiva, além da ocupação desordenada, a principal dificuldade é a penetração dos pontos nos espaços vazios.

Completando as áreas existentes no município de São Paulo, ainda há áreas suburbanizadas, formadas por pequenas propriedades e vazios urbanos, onde a principal dificuldade é a penetração dos pontos na vegetação densa ainda existente.

2. O COMPORTAMENTO DO PERFILAMENTO A LASER: AVALIAÇÕES E RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o comportamento do perfilamento a LASER em São Paulo, foram analisados três aspectos:

- precisão dos pontos LASER;
- taxa de penetração do LASER;
- comparação entre as curvas de nível geradas pelo MDT do LASER e pelo processo fotogramétrico.

Estas avaliações serão descritas a seguir, considerando amostras do território do município, de acordo com as características em questão, ou seja, áreas urbanizadas verticais, horizontais, de ocupação irregular e suburbanizadas.

2.1 PRECISÃO DOS PONTOS LASER

A precisão dos pontos captados pelo sensor LASER foi avaliada a partir da comparação de um conjunto de pontos medidos em campo. Para isso, foram utilizados os resultados dos pontos que formaram a rede de marcos geodésicos, os pontos de apoio fotogramétrico e os pontos da verificação do PEC do levantamento fotogramétrico. Os resultados podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da Precisão do LASER

Dados / Área	Urbanizada Vertical	Urbanizada Horizontal	Urbanizada Irregular	Suburbanizada
Nº de Pontos	4	22	22	4
Média (m)	0,162	0,057	0,080	0,068
Desvio Padrão (m)	0,105	0,066	0,045	0,098
Diferença máxima (m)	-0,032	0,153	-0,021	0,077
Diferença mínima (m)	-0,256	-0,086	-0,174	-0,116
EMQ (m)	0,186	0,069	0,091	0,081

2.2 AVALIAÇÃO DA TAXA DE PENETRAÇÃO

Considerando que o modelo digital do terreno é formado por pontos medidos na superfície, no caso do uso do sensor LASER, estes pontos são representados pelos pulsos que tocam o terreno e retornaram ao sensor.

A avaliação da taxa de penetração dos pulsos LASER tem por objetivo apresentar a eficácia do método na geração de modelos digitais de terreno nas condições analisadas.

Para se chegar ao modelo digital do terreno, é necessário realizar a classificação de todos os pulsos que retornaram, separando os pontos que tocam o terreno dos pontos que tocam outros elementos como vegetação, feições urbanas, entre outros.

Tabela 2 – Resultado da Verificação da Taxa de Penetração

Característica da Área	Pulsos All points (ponto / m ²)	Pulsos MDT (ponto / m ²)	Taxa de Penetração (%)
Urb. Vertical	2,175	0,465	46
Urb. Horizontal	2,899	0,436	44
Urb. Irregular	2,388	0,413	41
Suburbanizada	2,033	0,518	52

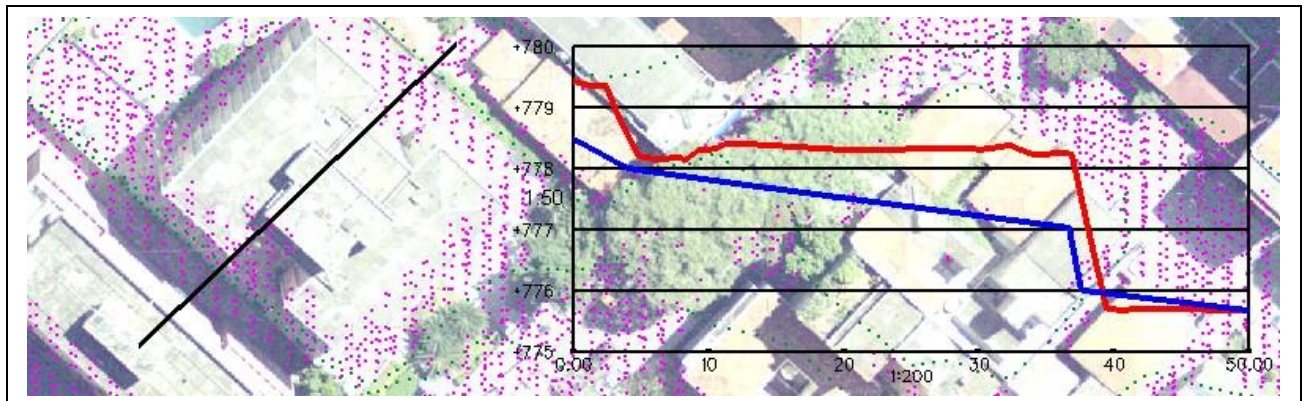
- A taxa de penetração é calculada considerando o planejamento de 1 ponto/m².

2.3 AVALIAÇÃO COMPARATIVA: MDT LASER x MDT FOTOGRAMÉTRICO

Esta avaliação é qualitativa e tem por objetivo apenas ilustrar o detalhamento possível da altimetria de regiões urbanizadas a partir dos métodos fotogramétrico e por perfilamento a LASER.

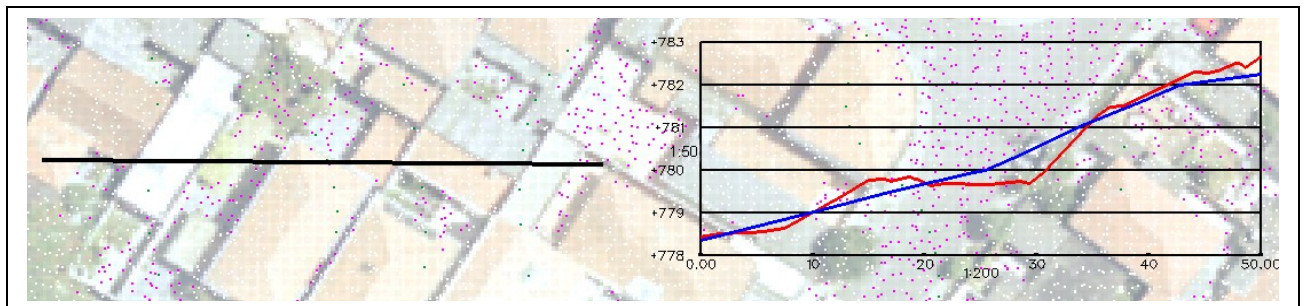
Para isso, serão apresentados perfis gerados a partir de modelos digitais do terreno, formados por dados obtidos pelos dois métodos. Não deixando de levar em consideração as devidas tolerâncias e especificidades de cada método.

2.3.1 Comparativo Altimétrico em Áreas Urbanizadas Verticais



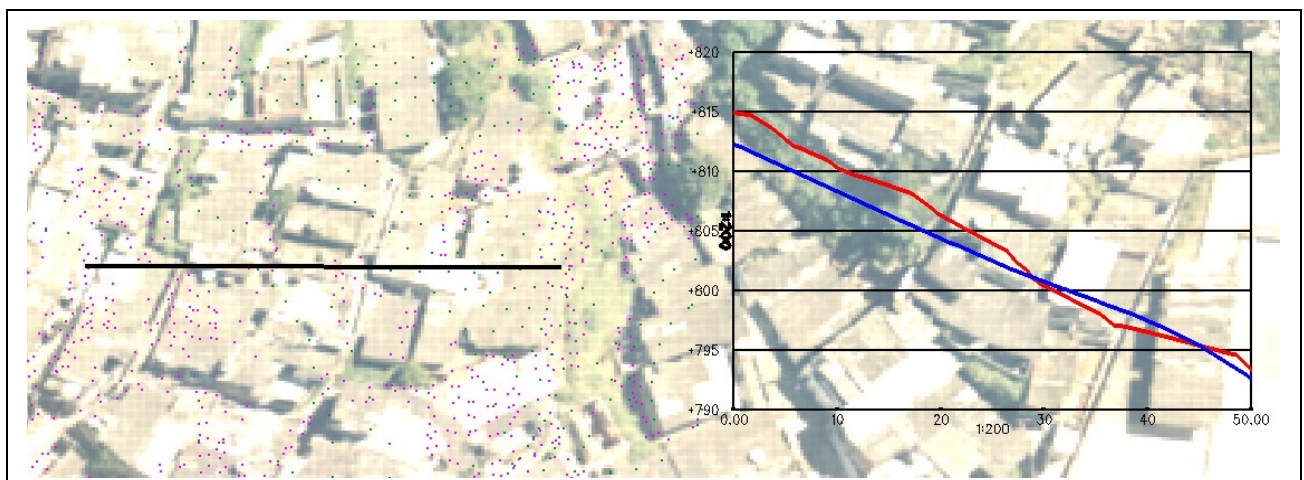
_____ Linha do Perfil _____ Perfil do MDT do LASER _____ Perfil do MDT da Fotogrametria

2.3.2 Comparativo Altimétrico em Áreas Urbanizadas Horizontais



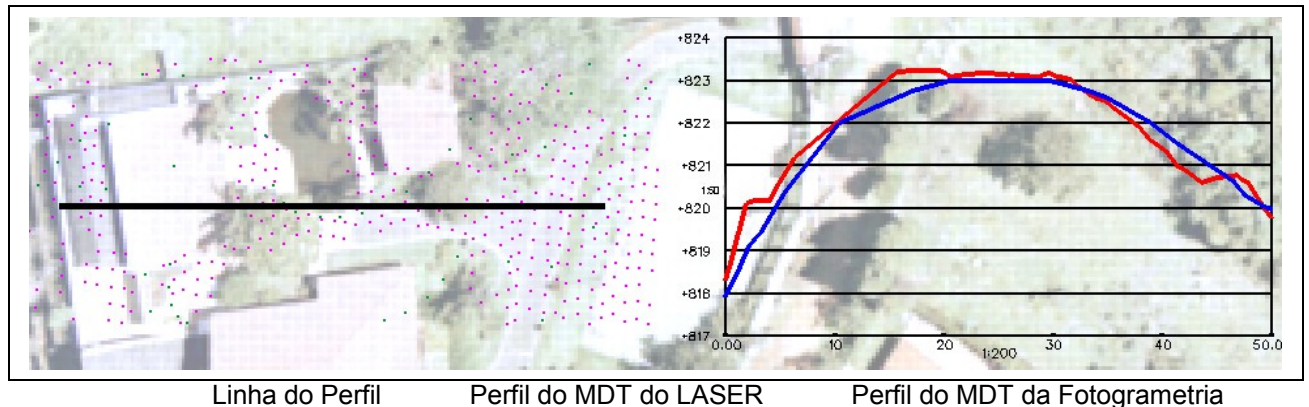
_____ Linha do Perfil _____ Perfil do MDT do LASER _____ Perfil do MDT da Fotogrametria

2.3.3 Comparativo Altimétrico em Áreas Urbanizadas Irregulares



_____ Linha do Perfil _____ Perfil do MDT do LASER _____ Perfil do MDT da Fotogrametria

2.3.2 Comparativo Altimétrico em Áreas Suburbanizadas



3. LASER SUCESSIVOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES NA SUPERFÍCIE

Neste trabalho se propõe uma aplicação específica, buscando a identificação de alterações na superfície, utilizando exclusivamente dados derivados de perfilamentos a LASER, realizados em 2004 e em 2007, no bairro São Benedito, situado no município de Santa Luzia/MG.

Apresenta-se a seguir as características dos dados LASER referentes aos distintos levantamentos e as etapas desenvolvidas após o processamento dos dados LASER, tais como: a geração dos modelos digitais da superfície (MDS), a identificação das áreas que sofreram modificação por meio da comparação automática dos distintos modelos digitais, seguidas das análises visuais e da comprovação dos resultados, mediante apresentação das imagens aéreas retificadas obtidas nas épocas dos distintos perfilamentos a LASER.

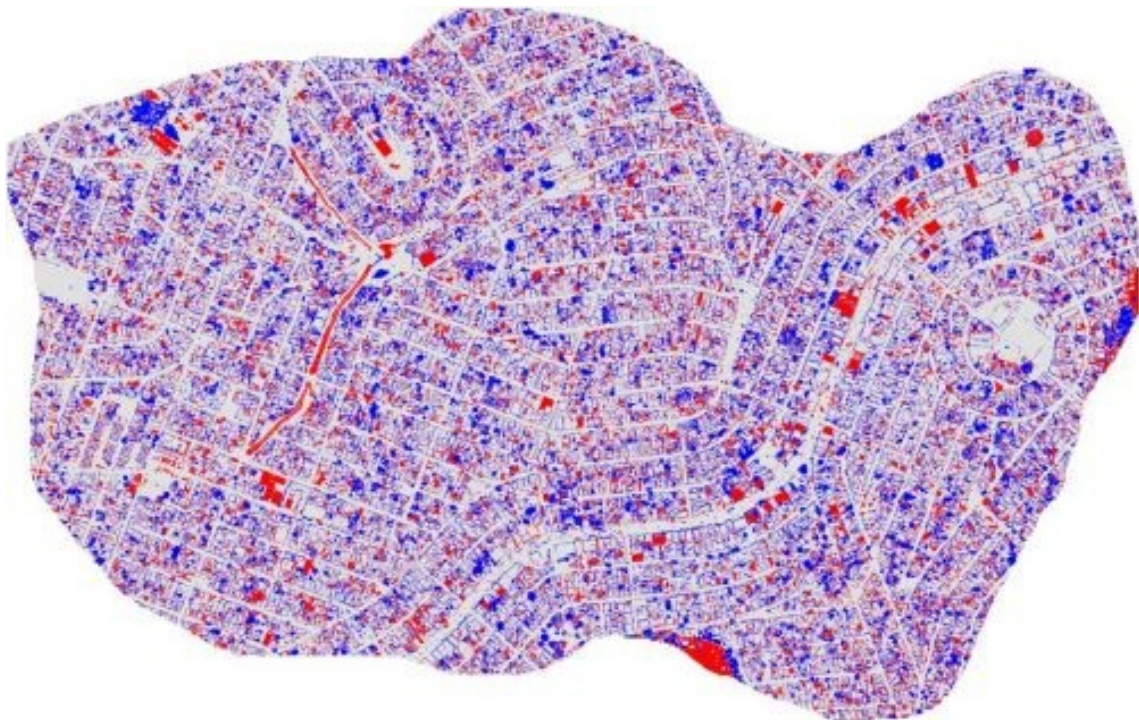


Figura 1 - Resultado comparativo: MDS (2004) x MDS (2007).

3.1 COMPARAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DA SUPERFÍCIE

A identificação das alterações ocorridas entre os dois levantamentos tornou-se possível mediante a comparação automática dos respectivos MDSs, utilizando algoritmo comercial.

A Figura 1 apresenta o resultado obtido, contemplando a área total do Bairro São Benedito, no município de Santa Luzia. Em vermelho são apresentadas as alterações “positivas” e em azul as alterações “negativas”.

As alterações positivas identificam as áreas onde ocorreu acréscimo de altitude, a partir de 30,4 cm (1 pé). Da mesma forma, as alterações negativas identificam as áreas onde ocorreu decréscimo de altitude, na mesma ordem, no período decorrido entre os distintos levantamentos.

3.2 ANÁLISE E COMPROVAÇÃO DOS RESULTADOS

As análises são qualitativas e apresentadas a partir das figuras abaixo, que trazem detalhes de exemplos de alteração da superfície, resultante da comparação automática dos distintos MDS.

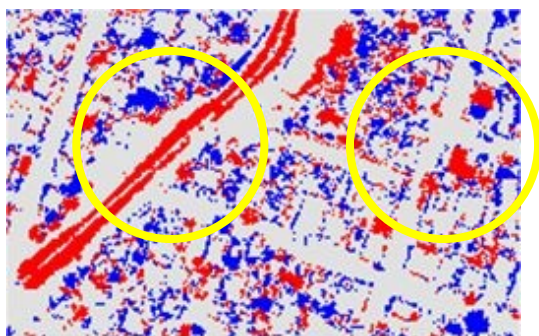


Figura 2 - Detalhe 1: alterações da superfície.



Figura 3 - Detalhe 1 sobreposto à imagem de 2004

As imagens comparativas, respectivamente, comprovam as alterações ocorridas na superfície, tais como: a remoção de árvores, a presença de área de aterro e a pavimentação da via, facilmente identificadas na análise visual do resultado comparativo dos modelos digitais da superfície, derivados dos distintos perfilamentos a LASER.



Figura 4 - Imagem aérea retificada (2004).



Figura 5 - Imagem aérea retificada (2007).

Com base na configuração das alterações é possível distinguir visualmente as áreas edificadas das áreas de vegetação, bem como quanto à presença de novas construções e ampliações de áreas construídas no período decorrido entre os dois perfilamentos a LASER.

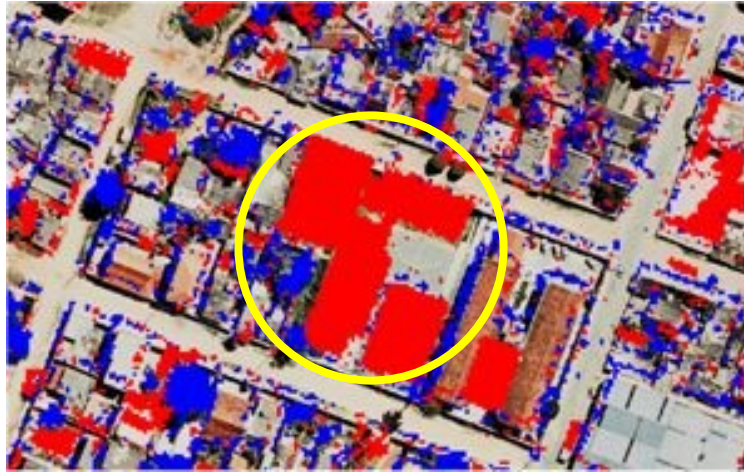


Figura 6 - Alterações da Superfície ocorridas entre 2004 e 2007, sobrepostas à imagem de 2004.



Figura 7 - Imagem aérea (2004).



Figura 8 - Imagem aérea (2007).

A análise criteriosa do resultado permite identificar, além de novas edificações, a remoção e o crescimento de árvores e até situações particulares, como a remoção de árvores para dar lugar à uma nova edificação também podem ser identificadas.



Figura 9 – Identificação automática da remoção de árvore.



Figura 10 – Imagem aérea (2004) com a identificação da árvore.



Figura 11 – Imagem aérea (2007) com a ausência da árvore.

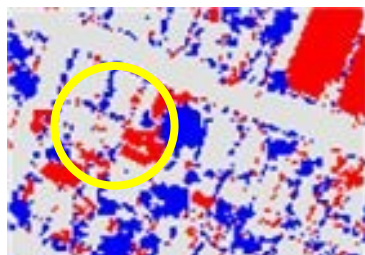


Figura 12 – Identificação automática de remoção de árvore e elevação de área edificada.



Figura 13 – Imagem aérea (2004) com a identificação da árvore.



Figura 14 - Imagem aérea (2007) com edificação no local onde estava a árvore.

3.3 VANTAGENS DO MÉTODO

Em comparação com outros métodos convencionais de identificação de alterações na superfície, tais como: o fotogramétrico ou investigação em campo por área geográfica de atuação, percorrendo os endereços de forma incerta ou em que plantas existentes são comparadas visualmente com imagens fotográficas, são apresentadas as seguintes vantagens a rapidez na obtenção dos resultados, uma quantidade de pontos maior, bem como a redução de custos com levantamento e verificação em campo:

3.4 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Embora a identificação das feições seja perfeitamente possível com a utilização exclusiva de dados LASER, tanto nas imagens de composição, como no processo comparativo de distintos MDS, para a determinação da variação altimétrica das áreas modificadas é necessário utilizar métodos combinados.

4. CONCLUSÕES

Com relação ao mapeamento em São Paulo, a precisão dos pontos medidos se mostrou confiável e compatível com o especificado, que era atingir o PEC Classe A. Com relação às características distintas da ocupação do espaço urbano de São Paulo, os resultados apresentados demonstraram a eficiência do LASER, o qual mesmo em regiões densamente urbanizadas, permitiu um melhor detalhamento do modelo digital do terreno, pela eficácia da penetração dos pulsos LASER.

Os resultados obtidos no município de Santa Luzia validam o emprego de sucessivos perfilamentos a LASER para a identificação de alterações na superfície, principalmente quanto à ocupação territorial. A comparação de dados LASER é um método simples, rápido e de baixo custo, comparado aos métodos tradicionais, podendo ser aplicado por qualquer municipalidade.

Além disso, em função do alto nível de confiabilidade e precisão, os produtos derivados de um perfilamento LASER podem servir de base de informações para outras aplicações, associando outros atributos cadastrais gerenciados por um Sistema de Informações Geográficas (SIG), bem como atender às demandas urgentes de análise, atualização e monitoramento dos efeitos de determinados usos da terra, seja no âmbito ambiental ou para demais necessidade que possam ser atendidas com o uso de modelos digitais ou imagens LASER.

Contudo, com a evolução das pesquisas para a extração automática de feições a partir dos dados derivados de perfilamento a LASER e com a disponibilização comercial destes algoritmos, as metodologias para quantificação das áreas que sofreram modificações, ora dependentes da fotogrametria ou de outras técnicas, poderão ser automatizadas e se tornarem totalmente independentes.

Considerando a evolução dos sistemas de perfilamento a LASER, principalmente com relação à frequência, que permitirá uma maior quantidade de pulsos e conseqüentemente pontos no terreno, combinados com avanços nos algoritmos de classificação automática, utilizados em conjunto com a fotogrametria, os sistemas LASER trarão maior confiabilidade aos dados para os modelos digitais do terreno.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-, ALS50-II Specifications Brochure, Leica Geosystems Inc., 2006.

-, ALS50-II User_Manual_Rev-_060519, Leica Geosystems Inc., 2006.

BRANDALIZE, A. A. **Perfilamento a LASER: Comparação com Métodos Fotogramétricos**. In: XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Anais..., CD ROOM, Porto Alegre, 2001.

BRANDALIZE, Maria C. B. **A Qualidade Cartográfica dos Resultados do Laserscanner Aerotransportado**. Tese de Doutorado. Florianópolis, UFSC, 2004. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0307.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2008.

BRANDALIZE, A. A. **Perfilamento a LASER: 10 anos de evolução....** Apresentação, Geobrasil 2006, São Paulo, julho, 2006.

MAAS, H.G. **Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data - User requirements and system performance**. Proceedings 49 Photogrammetric. Week (Ed. D. Fritsch), Wichmann Verlag, 2003, p.117-125.

SALLEM FILHO, Silas. **As Inovações do LASER Aerotransportado: Suas Vantagens para Mapeamento de Dutos**. In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 2007, Rio de Janeiro, Anais..., outubro, 2007.

Disponível em: http://www.lidar.com.br/trab_geral.htm >. Acesso em: 30 mar. 2008.

ROTH, R., **LIDAR state of the art and ALS50-II brief impressions**, Discussion: LIDAR Digital Elevation Data Acquisition/Processing Flow: A User's Perspective , ASPRS, May, 2006.

ROTH, R. **Airborne LIDAR for Digital Surface Generation overview and highlights of ALS50-II**, Workshop 3, Performance, Accuracy, and Cost-effectiveness of Advanced Imaging Sensing Systems for Digital Surface Generation, ASPRS, May, 2006.

WEVER, C. , LINDEMBERGER, J., **Experience of 10 years of LASER Scanning**, Schriftenreihe de Institute für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, pp. 125-132, 1999.