
PERFILAMENTO A LASER: UMA ALTERNATIVA RÁPIDA E PRECISA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES NA SUPERFÍCIE

DENISE RODBARD FALAT

ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A
<http://www.esteio.com.br>
denise@esteio.com.br

RESUMO - A velocidade das transformações e do crescimento urbano coloca em evidência a necessidade de constante detalhamento e atualização da “anatomia da superfície”. Esta demanda requer resposta rápida para a elaboração de relatórios técnicos, que incluem elementos referenciados espacialmente. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo identificar alterações na superfície utilizando dados derivados de perfilamentos com sensor LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) aerotransportado, realizados em épocas distintas em uma área de estudo. Esta técnica vem sendo utilizada com êxito em inúmeras aplicações, porém na maioria delas são utilizados dados LASER combinados com outros produtos cartográficos, geralmente derivados da fotogrametria. 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. Com a comparação automática das coordenadas altimétricas, tornou-se possível a identificação das alterações ocorridas na superfície ao longo do período decorrido entre os dois levantamentos. Com base na configuração das áreas alteradas, a análise criteriosa dos resultados permitiu distinguir os diversos tipos de alterações ocorridas, tais como: a remoção de árvores, a pavimentação de vias, além do surgimento de áreas edificadas, que podem ser comprovadas por imagens fotográficas obtidas nas mesmas épocas.

ABSTRACT - The speed of transformations and of urban growth makes clear the need for constant detailing and updating of the “surface anatomy”. This demand requires a quick answer for the elaboration of technical reports, which include spatially referenced elements. In this way, this work seeks to identify changes in the surface making use of data derived from airborne LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) scanings, carried out in different times in a area of study. This technique has been successfully used in countless applications, however, in most of them, LASER data are combined with other cartographic products, usually derived from photogrammetry. 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. Based on the configuration of the altered areas, the discerning analysis of the results allowed us to distinguish the several types of changes occurred, such as the cutting of trees, the paving of roads, besides the emerging of construction areas, which can be confirmed by the photographic images available, obtained in different times.

1 INTRODUÇÃO

A velocidade das transformações e do crescimento urbano coloca em evidência a necessidade de constante detalhamento e atualização da “anatomia da superfície”. Conhecer a tendência de ocupação do processo de urbanização da cidade, quanto ao volume, densidade e qualidade do urbanismo, de modo a programar a expansão dos limites da área urbana e o planejamento da ocupação de novas áreas urbanizáveis é uma das necessidades da administração municipal.

Estas demandas requerem respostas rápidas para a elaboração de relatórios técnicos, que incluem elementos referenciados espacialmente. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo identificar alterações na superfície, utilizando dados derivados de perfilamentos com sensor LASER aerotransportado, realizados em épocas distintas, em uma determinada área de estudo.

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

2 SISTEMA DE PERFILAMENTO A LASER

Sistema de perfilamento a LASER (ALS - Airborne Laser Scanning), VLA (Varredura Laser Aerotransportada), Sistema Aerotransportado de Laser para Mapeamento do Terreno (ALTM - Airborne LASER Terrain Mapper), LIDAR (Light Detection and Ranging), Sistema de Varredura LASER (Laser Scanner) ou simplesmente Perfilamento a LASER, são algumas das variações encontradas na literatura para denominar o sistema de sensoriamento remoto ativo, com funcionamento baseado na utilização de um feixe de LASER, que é emitido em direção ao terreno para obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície.

2.1 Princípio de Funcionamento

O princípio básico de funcionamento deste sistema é a obtenção de registros contínuos de coordenadas espaciais, as quais constituem os elementos primários para modelagem do terreno e geração de um mapa topográfico derivado destas informações. Segundo Brandalize, A. (2001), o pulso LASER de alta precisão é direcionado para o solo por uma abertura no bojo de uma aeronave ou por um conjunto de sustentação aplicado à lateral de um helicóptero.

Durante o levantamento, o sistema emite pulsos LASER em determinada frequência, que são dirigidos para o solo por meio de um conjunto ótico móvel. O sistema faz uma varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, sendo registrada também a posição inercial do conjunto, de modo a conhecer a inclinação de cada feixe em relação à vertical do lugar.

Brandalize, A. (2001) comenta que normalmente, o conjunto de pontos apresenta-se como uma nuvem cuja distribuição depende do padrão de varredura utilizado.



Figura 1 - Reflexão do primeiro e último retorno (BRANDALIZE, M. C, 2004).

Uma das principais características do sistema é a medição do primeiro e do último retorno de cada pulso, além da detecção de reflexões múltiplas oriundas de objetos pequenos como fios e cabos suspensos acima do solo.

Um mesmo pulso pode atingir vários objetos em seu trajeto até a superfície levantada. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasionará um retorno mais rápido (primeiro retorno) (fig. 1).

Já o ponto mais distante ocasionará um retorno mais demorado (último retorno) (fig.1). Esta característica permite que se faça a distinção de objetos acima do solo, resultando na obtenção de dois produtos distintos: o Modelo Digital da Superfície (MDS), caracterizado pelo primeiro retorno e o Modelo Digital de Terreno (MDT), caracterizado pelos demais retornos classificados.

Outros subprodutos derivados do perfilamento a LASER também podem ser obtidos, tais como:

- Mapa de Intensidade: Esta imagem é formada por uma matriz de pontos cujas posições são determinadas pelas suas coordenadas 2D 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. Esta imagem não substitui a imagem fotográfica, mas pode auxiliar na interpretação das feições.

- Mapa Hipsométrico: A imagem hipsométrica tem como principal objetivo representar as diferenças altimétricas entre as feições, a partir de uma escala de cores correlacionadas às diferenças altimétricas.

- Mapa de Composição: 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.

2.1 Qualidade dos Produtos LASER

De acordo com Maas (2003), a precisão nominal do sistema é de cerca de 10 a 20 cm/EMQ (erro médio quadrático) para altimetria e o fator $h/2.000$ (onde h é a altura de vôo em metros) para planimetria, ou seja, para altura de vôo de 1.000 m, o EMQ para planimetria esperado é de 50 cm. Atualmente, os fabricantes determinam uma qualidade planimétrica de $h/5.000$ até $h/10.000$, com o EMQ esperado entre 10 e 20 cm para a mesma altura de vôo.

Alguns fabricantes estabelecem que as condições de qualidade nominal para seus produtos são obtidas em condições normais de operação e para superfícies planas, onde a reflexão do pulso LASER não é comprometida.

Um estudo realizado em 2004 conclui que, na prática, a qualidade do perfilamento é influenciada por alguns fatores, tais como: tipo do relevo, tipo e densidade de vegetação e até a época do ano.

Contudo, Brandalize, M. C. (2004) afirma que os resultados do laserscanner aerotransportado atendem às especificações de qualidade planimétrica imposta pelo Padrão de Exatidão Cartográfica e apresentam melhores resultados que as tolerâncias altimétricas estabelecidas.

Os sistemas de perfilamento a LASER estão sendo continuamente estudados por subcomitês da ASPRS

(American Society of Photogrammetry & Remote Sensing), visando a definição de normas específicas para calibração e tolerâncias de resultados encontrados, buscando contribuir para minimizar as diferentes interpretações existentes em termos de padrões para estes sistemas.

Sallem (2007) comenta que o mercado de LASER aerotransportado apresenta uma grande agilidade em suas inovações tecnológicas, aperfeiçoando cada vez mais a precisão e a capacidade de emissão de pulsos LASER.

2.2 Aplicações

Introduzido no Brasil em 2001, o sistema de perfilamento a LASER vem sendo utilizado principalmente na geração de Modelos Digitais da Superfície (MDS) e de Modelos Digitais do Terreno (MDT).

Os dados LASER se tornaram um componente integrante no planejamento e projeto de engenharia, bem como avaliações de terra nua, estudos de gerenciamento de risco e levantamentos de faixas de domínio. Os dados podem mostrar detalhes como altura de árvores, mapas precisos de corredores lineares e contornos de edificações em áreas de risco.

Uma outra aplicação que vem sendo explorada pela administração municipal é a definição de volumes derivados de um perfilamento LASER, 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.

Percebe-se que na maioria das aplicações são utilizados dados LASER combinados com outros produtos cartográficos, geralmente derivados da fotogrametria. Contudo, muitas pesquisas estão em desenvolvimento para extração automática de feições a partir dos modelos digitais de elevação.

3 METODOLOGIA

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.

3.1 Características dos Dados Disponíveis

No levantamento de 2004, o modelo do sensor LASER utilizado foi o ALTM 2025, da empresa canadense Optech Inc., com as faixas de vôo dispostas na direção leste-oeste. No levantamento de 2007, o modelo do sensor LASER utilizado foi o ALS50, da empresa americana Leica Geosystems Inc., com as faixas de vôo dispostas na direção nordeste-sudoeste.

A varredura, utilizando tanto o sensor ALTM 2025, como o sensor ALS50, é feita no sentido transversal à direção da linha de vôo, com um ângulo de abertura configurável pelo sistema.

Este ângulo de abertura permite a determinação da largura da faixa abrangida pelo perfilamento a LASER, enquanto a aeronave percorre a linha de vôo planejada. A tabela a seguir apresenta os parâmetros dos distintos levantamentos.

Ano	Equip.	Pontos / m ²	Largura da Faixa (m)	Abertura do Feixe LASER (°)	Altitude (m)
2004	ALTM 2025	1,0	300	24	1100
2007	ALS 50	1,5	600	20	1600

Tabela 1 – Especificações do Sensor Utilizado

Em função da utilização de diferentes modelos de equipamentos, bem como dos planejamentos de vôo terem características diferentes, a distribuição e a densidade das informações coletadas são distintas. As figuras 2 e 3 apresentam os pontos LASER sobre a imagem retificada, obtida na época do respectivo perfilamento a LASER. Nestas figuras é possível identificar a área de sobreposição de faixas de vôo LASER.



Figura 2 – Pontos LASER (2004).



Figura 3 - Pontos LASER (2007).

3.2 Geração dos Modelos Digitais da Superfície

Os dados LASER resultantes do processamento realizado por um conjunto de programas e equipamentos que processam os dados brutos do LASER, do GPS e da medição inercial, podem ser classificados de acordo com a elevação, distinguindo os pontos situados sobre o terreno dos demais pontos, situados sobre vegetação ou edificações. Os pontos situados sobre o terreno compõem o Modelo Digital do Terreno (MDT) e a “nuvem de pontos” (*all points*) compõe o Modelo Digital da Superfície (MDS).

Nesta etapa, foram utilizados algoritmos comerciais de filtragem, para a obtenção do MDS referente a cada levantamento.

A figura 4 apresenta uma imagem tridimensional dos pontos LASER, obtidos em 2007, que compõem o MDS. A figura 5 apresenta uma imagem resultante da filtragem e classificação dos mesmos pontos, onde os pontos representados em verde foram classificados como vegetação, os pontos em azul como edificação e os pontos em marrom como terreno.



Figura 4 – Imagem 3D dos pontos do MDS

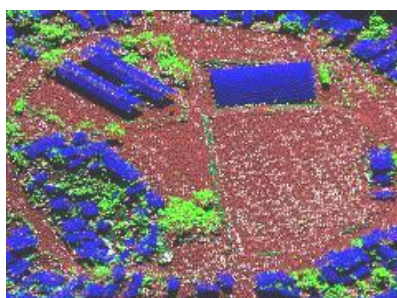


Figura 5 – Imagem 3D dos pontos do MDS Classificados.

3.3 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 6 apresenta o resultado obtido, contemplando toda a área total do Bairro São Benedito. 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.

O programa utilizado permite selecionar determinadas ordens de diferenças altimétricas, em função das alterações que se pretende identificar no processo comparativo. Por exemplo, se o objetivo for identificar novas edificações, a seleção de diferenças altimétricas a partir de 2m é a mais adequada, considerando que a maioria das edificações apresenta altura superior a 2m.

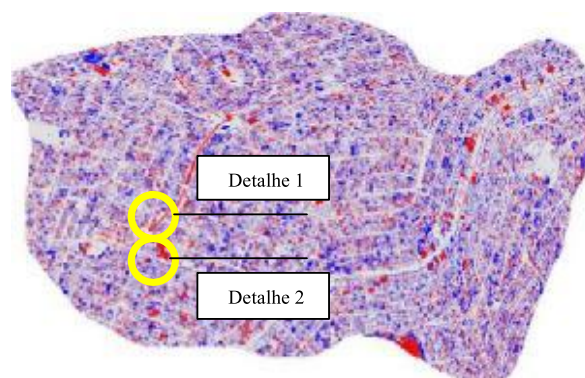


Figura 6 - Resultado comparativo: MDS (2004) x MDS (2007).

4 ANÁLISE E COMPROVAÇÃO DOS RESULTADOS

A figura 7 apresenta o detalhe 1, delimitado na figura 6, com as alterações da superfície resultante da comparação automática dos distintos MDS. A figura 8 apresenta o mesmo detalhe da figura 7, sobreposto à imagem fotográfica retificada, obtida em 2004.

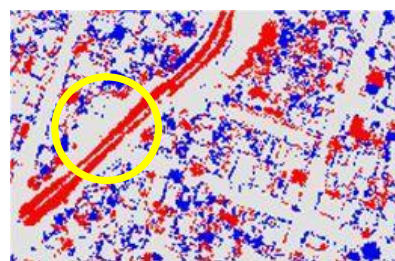


Figura 7 - alterações da superfície.



Figura 8 - sobreposição à imagem de 2004.

As imagens aéreas retificadas, referentes ao detalhe 1, apresentadas nas figuras 9 e 10, obtidas em 2004 e em 2007, 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 9 - Imagem aérea retificada (2004).



Figura 10 - Imagem aérea retificada (2007).

Com base na configuração das alterações é possível distinguir visualmente as áreas edificadas das áreas de vegetação, como pode ser observado no detalhe 2, apresentado na figura 11.

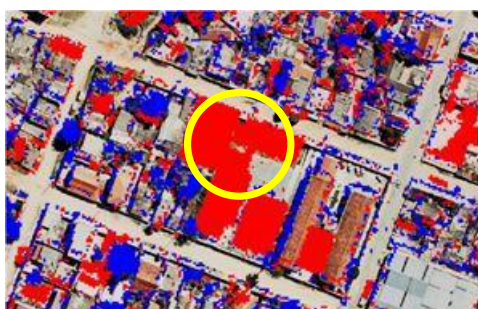


Figura 11 - Alterações da Superfície ocorridas entre 2004 e 2007, sobrepostas à imagem de 2004.

Da mesma forma, as imagens apresentadas nas figuras 12 e 13, comprovam os resultados apresentados no Detalhe 2, quanto à presença de novas construções e ampliações de áreas construídas no período decorrido entre os dois perfilamentos a LASER.



Figura 12 - Imagem aérea (2004).



Figura 13 - Imagem aérea (2007).

A análise criteriosa do resultado permite identificar, além de novas edificações, a remoção e o crescimento de árvores. Um exemplo de remoção de árvore é apresentado na figura 14. Esta situação pode ser comprovada pelas imagens aéreas retificadas, obtidas em 2004 e 2007, respectivamente, conforme figuras 15 e 16.



Figura 14 - Identificação automática da remoção de árvore.



Figura 15 - Imagem aérea (2004) com a identificação da árvore.



Figura 16 – Imagem aérea (2007) com a ausência da árvore.

Situações particulares como a remoção de árvores para dar lugar à uma nova edificação também podem ser identificadas. Um exemplo desta situação é apresentado na figura 17. As imagens aéreas retificadas, obtidas em 2004 e 2007, respectivamente, apresentadas nas figuras 18 e 19, podem comprovar a situação.

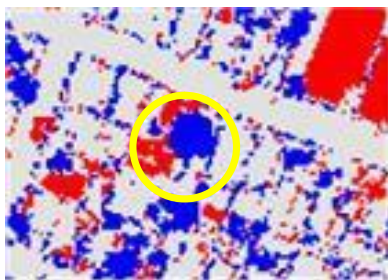


Figura 17 – Identificação automática de remoção de árvore e elevação de área edificada.



Figura 18 – Imagem aérea (2004) com a identificação da árvore.



Figura 19 - Imagem aérea (2007) com edificação no local onde estava a árvore.

Contudo, outras situações que não representam alterações da superfície também são identificadas, como por exemplo, veículos transitando nas vias. Este tipo de “ruído”, inerente ao processo de perfilamento a LASER, foi apontado como alteração na superfície em função do processo comparativo ter sido programado para detectar diferenças altimétricas a partir de 30,4 cm. À medida que se aumenta a ordem das diferenças altimétricas a serem identificadas, a ocorrência de ruídos no resultado comparativo diminui.

5 PRINCIPAIS QUESTÕES

5.1 Unificação dos referências cartográficos

Uma questão que requereu atenção foi quanto às referências cartográficas. Para a comparação precisa de dados posicionais derivados de distintos levantamentos é necessário que todas as informações estejam referenciadas ao mesmo Datum, tanto planimétrico como altimétrico.

Para a realização deste trabalho, apesar de ambos os levantamentos terem sido referenciados ao mesmo Datum, foi necessário realizar alguns ajustes para eliminar resíduos planimétricos, inerentes ao processamento de obtenção de coordenadas.

5.2 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:

- Rapidez na obtenção dos resultados: os resultados são obtidos de forma rápida e precisa.
- Resultados altimétricos mais completos: a quantidade de pontos que configura os elementos que compõem a superfície é significativamente maior que a quantidade de pontos altimétricos levantados por outros métodos.
- Redução de custos de investigações em campo: com a identificação automática das alterações, as investigações são direcionadas e conseqüentemente, o custo com equipes em campo, veículos, uso de equipamentos para medição e registro dos dados é reduzido.

5.3 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 resultado do processo comparativo de distintos modelos digitais ou ainda utilizando algoritmos que permitem identificar feições regulares, para a determinação da variação altimétrica das áreas

modificadas, no período dos distintos perfilamentos, é necessário utilizar métodos combinados. Esta quantificação é possível mediante a subtração das coordenadas altimétricas médias dos pontos situados sobre a feição de interesse, nos distintos perfilamentos. Para a determinação da coordenada altimétrica média é necessário delimitar o polígono de interesse, seja por método fotogramétrico ou pela digitalização manual das feições, o que torna o processo de quantificação das alterações da superfície dependente de outros métodos.

6 RESULTADOS E CONCLUSÃO

Os resultados obtidos 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 a LASER podem servir de base de informações para outras aplicações, associando atributos gerenciados por um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Sendo assim, esta alternativa de mapeamento se apresenta como um meio eficaz e rápido de coleta de informações altimétricas, visando 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.

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.

REFERÊNCIAS

-, 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.

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.