

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N<sup>o</sup> 67/7: 1413-1420  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## SEGMENTAÇÃO DO ESPAÇO URBANO POR MEIO DE DADOS LIDAR AEROTRANSPORTADO

*Segmentation of Urban Space through Airborne LiDAR Data*

**Flávia Renata Ferreira<sup>1,2</sup>, Ana Paula Camargo Larocca<sup>3</sup>  
& Jorge Pimentel Cintra<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> **Universidade de São Paulo – USP**

**Escola Politécnica da USP – EPUSP / Departamento de Engenharia de Transportes – PTR**  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 380, travessa 3, Butantã, São Paulo/SP, CEP: 05508-010, Brasil  
{flavferreira, jpcintra}@usp.br;

<sup>2</sup> **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**

**Divisão de Cartografia – DICART**  
Av. Pasteur, 404, Urca, Rio de Janeiro/RJ, CEP: 22290-240, Brasil  
flavia.ferreira@cprm.gov.br

<sup>3</sup> **Universidade de São Paulo – USP**

**Escola de Engenharia de São Carlos – EESC / Departamento de Engenharia de Transportes – STT**  
Av. Trabalhador São-carlense, 400, Pq. Arnold Schmidt, São Carlos/SP, CEP: 13566-590, Brasil  
larocca.ana@usp.br

*Recebido em 13 de Março, 2015/ Aceito em 13 de Outubro, 2015*  
*Received on March 13, 2015/ Accepted on October 13, 2015*

### RESUMO

O LiDAR (Light Detection And Ranging) vem-se consolidando como tecnologia de mapeamento, contribuindo para a ciência da informação geográfica. O presente trabalho realizou um processamento de dados LiDAR pelo software TerraScan com o objetivo de extrair edificações a partir de uma nuvem de pontos. A comparação da posição e dimensões das edificações obtidas pelo LiDAR, com as posições e dimensões das feições homólogas provenientes de uma base cartográfica de referência, proporcionou que as diferenças entre os dois produtos fossem quantificadas. Foi, então, realizado um controle de qualidade cartográfica do produto LiDAR que pudesse classificar esse produto quanto ao padrão de exatidão cartográfica digital. O produto obtido pelo LiDAR atendeu às classes C e D da norma brasileira para produtos digitais na escala 1:5.000 e a partir da classe B na escala 1:10.000. Recomenda-se a utilização criteriosa desse produto em função da escala do mapeamento e das necessidades do usuário.

**Palavras chaves:** LiDAR, Extração de Edificações, Controle de Qualidade Cartográfica.

### ABSTRACT

LiDAR (Light Detection And Ranging) has been consolidated as mapping technology, contributing to the of geographic information science. This paper conducted a LiDAR data processing by TerraScan software in order to extract buildings from a point cloud. The comparison of the position and dimensions of the buildings obtained by LiDAR processing with the positions and dimensions of the corresponding features derived from a cartographic reference base, provided

that the differences between the two products were quantified. It was then carried out the quality control of cartographic LiDAR product in order to classify this product as the standard for digital cartographic accuracy. The product obtained by LiDAR met the classes C and D of the Brazilian standard for digital products at the 1:5,000 scale and from class B at the 1:10,000 scale. We recommend careful use of the product depending on the scale of mapping and user needs.

**Keywords:** LiDAR, Extraction of Buildings, Cartographic Quality Control.

## 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tem sido muito utilizada para aquisição de dados altimétricos, principalmente com o objetivo de obter um modelo digital de terreno. Ela também tem sido utilizada para a obtenção de um modelo 3D de cidades, em que as feições urbanas como edificações, viadutos, torres, linhas de transmissão e vegetação podem ser extraídas da nuvem de pontos. O presente trabalho apresenta a aplicação do LiDAR (dado discreto) aerotransportado para a extração de edificações e realiza uma avaliação da exatidão posicional desse produto.

A extração das edificações é comumente realizada num subconjunto dos dados LiDAR, o qual é resultante da eliminação dos dados correspondentes à superfície do terreno (solo exposto) e à vegetação. O processo conhecido como classificação dos pontos em *ground* e *non-ground* é a primeira filtragem. A segunda, partindo do *non-ground*, elimina aquilo que é vegetação.

O processo de detecção de edificações pode também ser parte do algoritmo de filtragem utilizado e, para tanto, o resultado da filtragem deve incluir uma classe referente à *Edificação*. Alguns algoritmos de detecção de edificação são executados sobre conjuntos de dados raster obtidos pela amostragem dos pontos LiDAR numa grade regular. A grade regular permite, com mais facilidade, o uso de algoritmos de processamento de imagens a fim de analisar esses dados juntamente com as ortofotos. O software utilizado no presente trabalho adotou esse procedimento.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação da exatidão posicional das edificações extraídas a partir de uma nuvem de pontos LiDAR por meio do software comercial TerraScan, comparando-as com vetores homólogos provenientes de um aerolevante na escala 1:1.000. Pretende-se verificar em que escalas é possível utilizar esse produto mantendo um padrão de qualidade compatível com a norma

brasileira, o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Depois dos pontos referentes às edificações serem selecionados da nuvem de pontos LiDAR, a reconstrução das edificações pode ser realizada por meio de métodos baseados em modelos geométricos. Esses métodos são fundamentados no pressuposto de que as edificações podem ser representadas a partir de modelos paramétricos. Cada edificação que estiver na nuvem de pontos é comparada com modelos predefinidos e seus parâmetros são estimados.

Os modelos predefinidos podem ser modelos de edificações retangulares simples ou modelos poliédricos mais complexos. Esses últimos consideram os blocos de edificações como conjuntos de polígonos fechados com restrições de ortogonalidade nas bordas de vizinhança.

Verma *et al.* (2006) desenvolveram algoritmos que permitem modelar edificações a partir da união de tipos de telhados paramétricos mais simples. Com isso, os autores estabeleceram um grafo topológico como uma dupla estrutura de telhado, de tal forma que cada superfície plana é representada por um vértice. E a seguir as edificações são modeladas com um algoritmo que busca sub-grafos a fim de encontrar e combinar o conjunto de formas simples de telhados paramétricos.

Já Lafarge *et al.* (2008) criaram uma biblioteca de blocos 3D de formas de telhados mais comuns, incluindo monoplanos, multiplanos e elementos curvilíneos com algumas variantes específicas de cada forma.

Huang *et al.* (2011) melhoraram essa abordagem permitindo a sobreposição das primitivas de telhados de tal forma que se possa modelar telhados de formas diversificadas.

Após a segmentação dos pontos coplanares pertencentes aos planos dos telhados, os métodos procuram identificar vértices, linhas de quebra, bordas, e segmentos juntamente com suas topologias, a fim de realizar a reconstrução das

edificações.

Dorninger e Pfeifer (2008) geraram contornos de edificações usando o  $\alpha$ -shapes, que é um algoritmo que gera superfícies por densificação da triangulação de Delaunay parametrizada por um número real  $\alpha$ . Em seguida, é aplicado um algoritmo de generalização com base nos desvios nas direções angulares dos segmentos do polígono. A regularização dos polígonos é realizada aplicando-se condições de paralelismo e ortogonalidade.

Cheng *et al.* (2013) apresentaram um algoritmo para a detecção automática de edificações a partir dos dados LiDAR, chamado algoritmo de Morfologia Matemática Iterativa Reversa (RIMM). Nesse método a iteração reversa faz com que os limiares de diferenças de alturas, possam ser determinados de uma maneira simples garantindo a aplicabilidade desse algoritmo em casos mais complexos. Numa região de teste de 2,8 milhões de pontos LiDAR, os valores médios dos erros de comissão e de omissão foram de 5,7% e 8,7%, respectivamente, conferindo confiabilidade ao algoritmo proposto.

Zhai (2015) apresentou uma nova técnica para detectar edifícios complexos. O método combina o atributo elevação a partir dos dados LiDAR, o atributo visibilidade proveniente do Modelo Digital de Elevação e o atributo radiométrico proveniente das aerofotos. Nessa combinação, os pixels com alturas, visibilidades e respostas espectrais semelhante são classificados como uma edificação. O resultado na área de estudo chegou a 95% de acurácia.

Maiores detalhes sobre a extração de edificações podem ser vistos em Ferreira (2014).

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, mostrada na Figura 1, compreende 0,702 Km<sup>2</sup>, e situa-se no município de São Paulo. Esta área abrange um trecho do Rio Pinheiros e uma região residencial com expressiva presença arbórea, nas imediações da ponte da Cidade Universitária.

### 4. MÉTODO

A densidade dos pontos no levantamento LiDAR foi de 1,5 pontos por m<sup>2</sup>, com abertura angular de aproximadamente 42°. Estas especificações que permitem a obtenção de curvas de nível com equidistância de 1 metro,

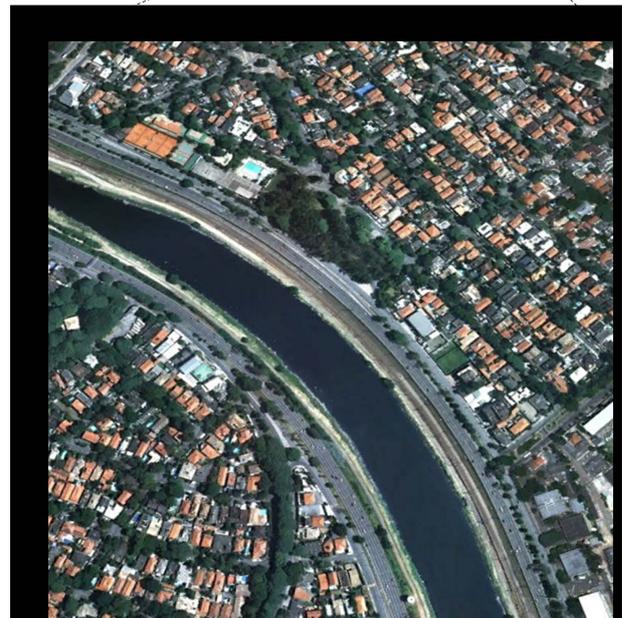
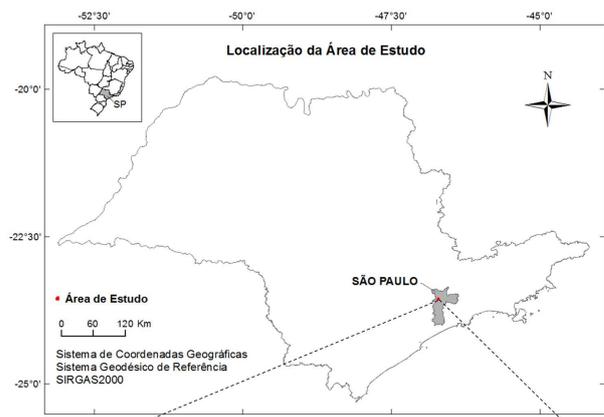


Fig. 1 - Área de estudo.

segundo a nota técnica da empresa que realizou o levantamento.

No momento do registro do pulso laser pelo sensor, os pontos LiDAR são identificados com códigos referentes aos alvos, segundo uma padronização concebida pela *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS, 2013).

Para realizar a classificação da nuvem de pontos no software TerraScan foi utilizada a sequência de operações apresentada na Figura 2. Essa sequência segue a sugestão dada pelo *TerraScan User's Guide* (2013, p. 265) para a rotina de classificação de edificações.

A primeira operação realizada foi a classificação do elemento Solo, mostrada na Figura 3. Essa classificação foi possível porque esses pontos LiDAR foram registrados com o código ASPRS correspondente a solo, diferenciando-se dos outros elementos da nuvem de ponto.

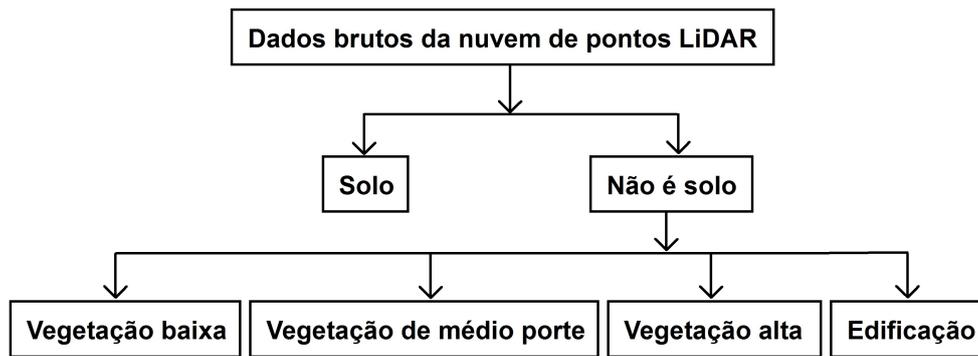


Fig. 2 - Esquema de classificação hierárquica para extração automática de edificações.

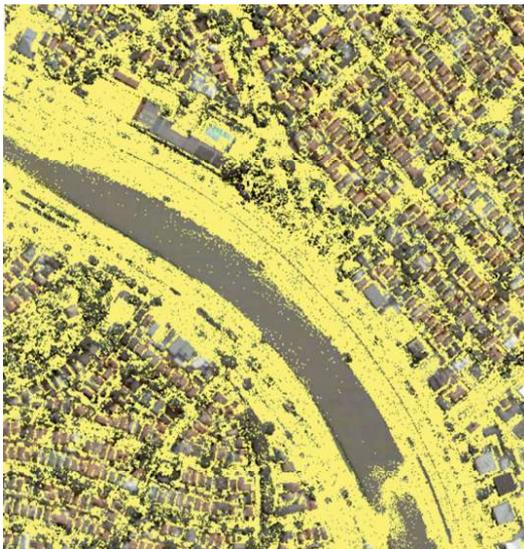


Fig. 3 - Resultado para a classe Solo.

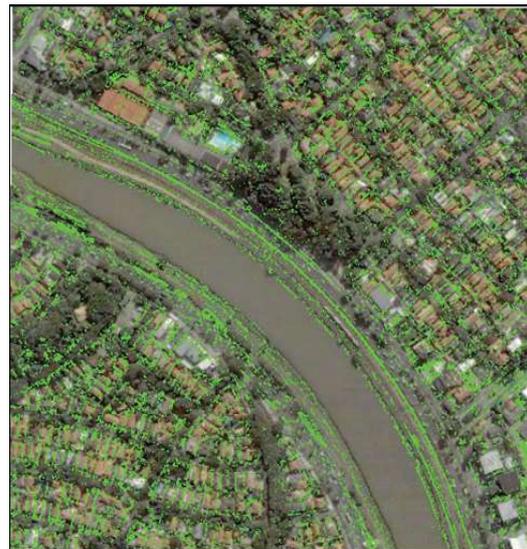


Fig. 5 - Resultado para a classe Vegetação de Médio Porte.

A seguir, foram realizadas as classificações dos três estratos da Vegetação: baixa (Figura 4); média (Figura 5); e alta (Figura 6). Como no caso anterior, esses pontos LiDAR foram registrados com os códigos ASPRS correspondentes a cada um desses estratos.



Fig. 4 - Resultado para a classe Vegetação Baixa.

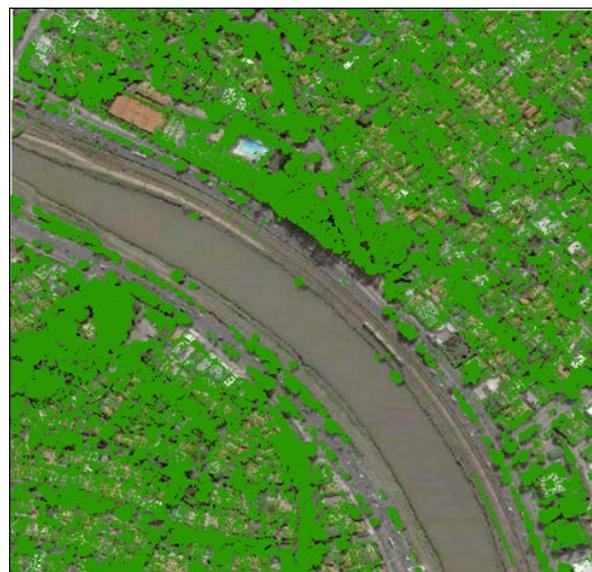


Fig. 6 - Resultado para a classe Vegetação Alta.

Depois disso, passou-se para a etapa de classificar as Edificações, da mesma forma descrita para as etapas anteriores. O resultado da classificação das edificações é mostrado na Figura 7.



Fig. 7 - Resultado para a classe Edificações.

A partir dos pontos classificados como Edificações, foi feito um processamento para gerar as edificações em 3D, utilizando algoritmos como os vistos na seção 2, acima. Para isso foram estabelecidos alguns critérios adicionais: a área mínima das edificações devia ser de 10 m<sup>2</sup>, com detalhes da construção de no mínimo 2,50 m<sup>2</sup> de área e com um espaçamento mínimo de 2 m entre duas edificações próximas. Para determinar as faces dos telhados, os pontos que estivessem afastados de até 0,15 m de um plano base seriam considerados como coplanares. Nessa etapa, o software requereu uma imagem da área para ser fundida com os dados LiDAR a fim de ajustar as bordas das edificações, e para isso, foi usada uma ortofoto.

O resultado desse processamento é mostrado na Figura 8, e a renderização na Figura 9.

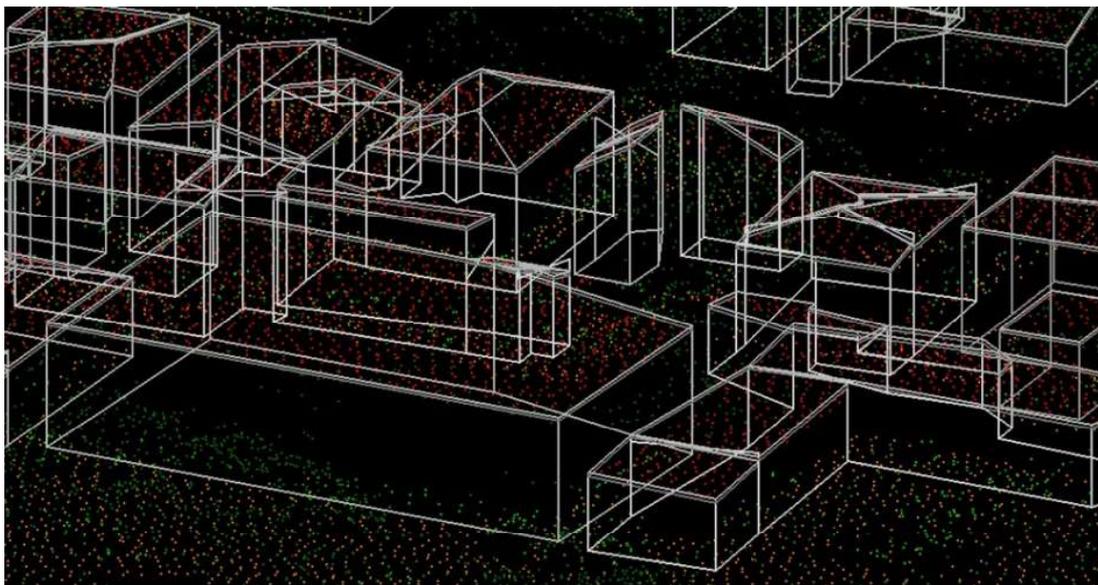


Fig. 8 - Modelo vetorial das edificações em 3D.

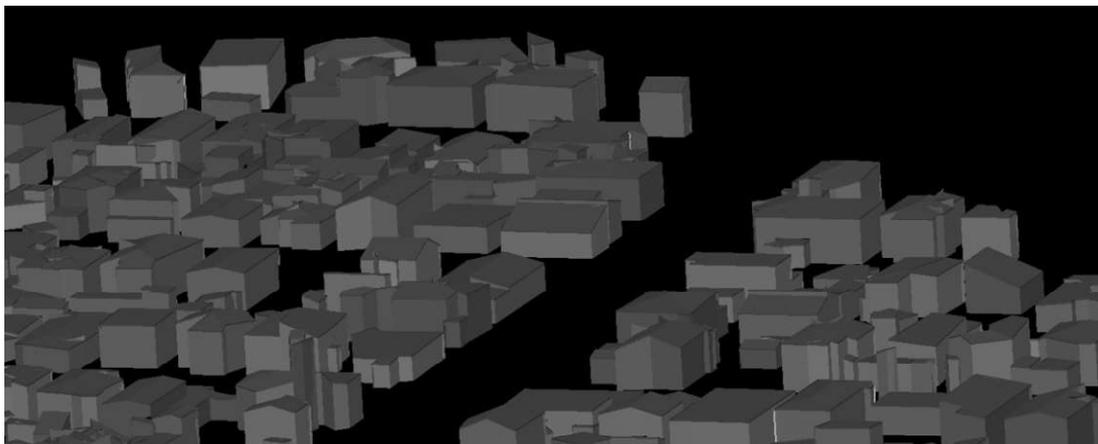


Fig. 9 - Modelo renderizado das edificações em 3D.

## 5. RESULTADOS

Os vetores, correspondentes às edificações, extraídos pelo Software TerraScan foram comparados com um arquivo vetorial das bordas das edificações proveniente da aerofotogrametria executada pelo Consórcio Cidade de São Paulo (CONCIDADE) na escala 1:1.000. Esse levantamento foi produzido em 2006, a partir de fotos de 2002, e disponibilizado em 2013 com o nome de Modelo Digital da Cidade

– MDC, produto que foi usado como modelo de referência.

A Figura 10 apresenta uma amostra dessa comparação visual. As linhas em amarelo são provenientes do MDC, e as linhas em preto são produto do processamento pelo TerraScan. Como se pode ver as bordas de algumas edificações foram determinadas com boa acurácia, incluindo a linha de cumeeira dos telhados; outras bordas se distanciaram da posição do modelo de referência.

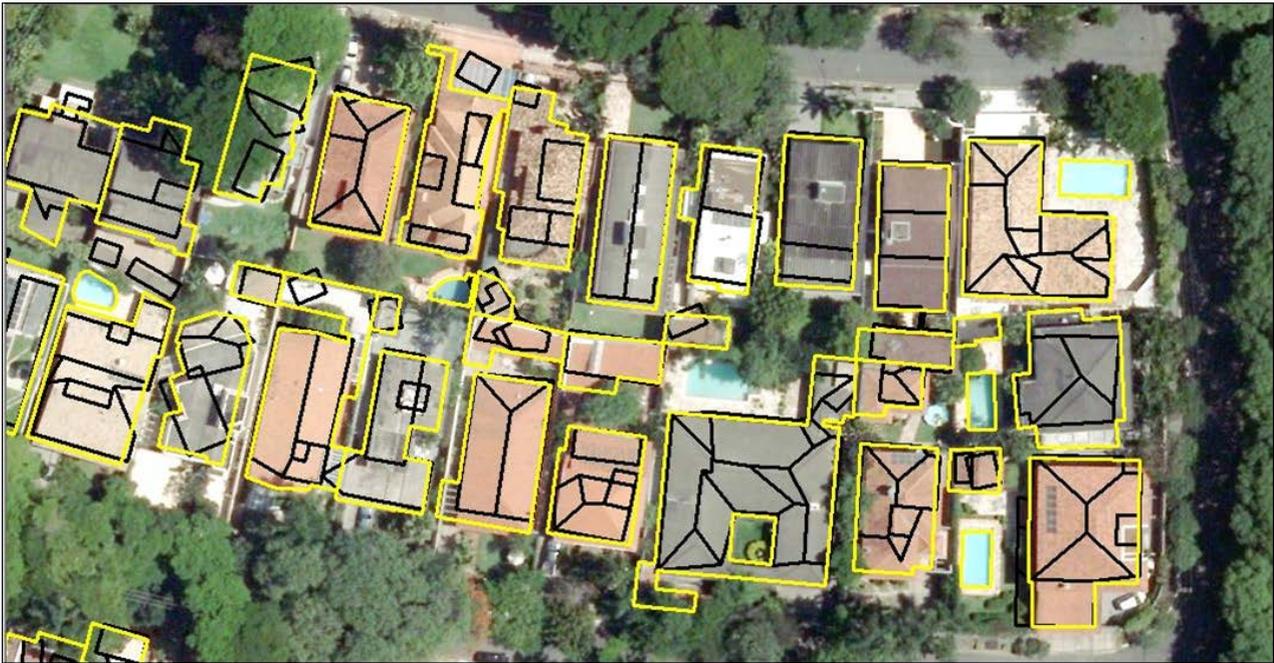


Fig. 10 - Superposição para comparação visual das bordas das edificações (MDC x LiDAR).

Na área da pesquisa foram gerados 1024 polígonos (retângulos, em sua maioria) correspondentes as edificações determinadas pelo TerraScan. Desse conjunto, foram selecionados 100 polígonos para o controle de qualidade planimétrico. Nessa escolha, por sorteio, foram incluídos tanto os casos de boas aproximações como aqueles que apresentavam os maiores afastamentos entre o produto avaliado e o de referência.

O controle de qualidade planimétrico foi realizado por meio de medições entre os produtos, servindo-se de ferramentas disponíveis no software. Quando o modelo de referência ultrapassava o polígono avaliado, essa diferença foi considerada como um delta positivo, e no caso contrário, um delta negativo. O critério adotado para determinar o delta foi a distância mais afastada da face do polígono avaliado, na

direção leste-oeste ( $\Delta E$ ) e norte-sul ( $\Delta N$ ). Os valores medidos ( $\Delta E$  e  $\Delta N$ ) geraram as médias e desvios apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de média e desvio para os deslocamentos dos polígonos

Estatística	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)
Média	1,02	0,99
Desvio	1,56	1,55

A seguir foi feita uma avaliação ponto a ponto. Segundo a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), somente 10% (dez por cento) das medidas tomadas no produto cartográfico avaliado, quando testados no terreno, ou nesse caso, por meio de um produto de referência, poderão apresentar erro superior ao padrão de exatidão cartográfica estabelecida. Com

esse objetivo, foi realizado um teste de qualidade cartográfica levando em conta as especificações para o padrão de exatidão cartográfica dos produtos cartográficos digitais (PEC-PCD), contidos na ET-ADGV. Esse teste apresentado na Tabela 2 mostra a porcentagem

das medidas tomadas ( $\Delta E$  e  $\Delta N$ ) em relação ao valor do PEC-PCD para cada classe nas escalas 1:1.000, 1:2.000, 1:5.000 e 1:10.000. As porcentagens acima de 10% reprovam um produto para a classe e para a escala em que foi testado.

Tabela 2: Teste da Qualidade Cartográfica para o PEC-PCD

Escala	Classe	PEC-PCD		% das componentes superior ao PEC-PCD		Aprovado / Reprovado
		(mm)	(m)	$\Delta E$	$\Delta N$	
1/	A	0,28	0,28	92	99	<b>Reprovado</b>
	B	0,50	0,50	75	84	<b>Reprovado</b>
	C	0,80	0,80	65	67	<b>Reprovado</b>
	D	1,00	1,00	55	51	<b>Reprovado</b>
1.000	A	0,28	0,56	77	78	<b>Reprovado</b>
	B	0,50	1,00	55	51	<b>Reprovado</b>
	C	0,80	1,60	30	28	<b>Reprovado</b>
	D	1,00	2,00	21	18	<b>Reprovado</b>
2.000	A	0,28	1,40	41	33	<b>Reprovado</b>
	B	0,50	2,50	18	11	<b>Reprovado</b>
	C	0,80	4,00	5	5	<b>Aprovado</b>
	D	1,00	5,00	2	2	<b>Aprovado</b>
5.000	A	0,28	2,80	12	6	<b>Reprovado</b>
	B	0,50	5,00	2	2	<b>Aprovado</b>
	C	0,80	8,00	0	0	<b>Aprovado</b>
	D	1,00	10,00	0	0	<b>Aprovado</b>

Dessa Tabela 2 conclui-se que o produto atende os requisitos da classe C na escala 1:5.000 ou B na 1:10.000. São escalas típicas de planejamento e podem ser úteis para muitas finalidades.

Por outro lado, quando essas precisões forem adequadas, mostra-se um produto vantajoso para mapeamento de edificações tendo em vista a rapidez do seu processamento, em relação à restituição aerofotogramétrica. Quando a precisão desejada for maior, e já existir um mapa base desatualizado, mas preciso, ele pode ser indicado para atualização ou complemento de mapeamentos urbanos anteriores. Ele pode ser usado até mesmo para atualização em produtos de escalas cadastrais, em função da escala do mapa base desatualizado existente.

Contudo, há variáveis adicionais que devem ser consideradas na avaliação geométrica desse produto. Uma delas diz respeito à

densidade da varredura dos pontos que foi de 1,5 pontos/m<sup>2</sup>. Outra variável é o fato de que essas edificações terem sido extraídas por um programa de pós-processamento de pontos LiDAR de forma automática, sem intervenção humana ou edição que pudesse melhorar o resultado. O aumento da densidade de pontos e a interatividade podem melhorar a geometria do produto. Podem ser também combinadas com imagens de sensoriamento remoto e fotos aéreas. São pontos para pesquisas futuras.

## 6. RECOMENDAÇÕES FUTURAS E CONCLUSÃO

Em futuras pesquisas, poderia ser testada uma varredura com densidade de pontos superior a 2 pontos/m<sup>2</sup> (até o limite da tecnologia). Uma densidade maior de varredura melhoraria os resultados obtidos pelos algoritmos utilizados para o processamento de dados LiDAR.

Poderia ser testada também a integração do processamento LiDAR com a utilização de imagens de Sensoriamento Remoto. Isso exigiria grandes esforços computacionais.

Também se poderiam testar outros parâmetros durante o processamento dos pontos LiDAR, como, por exemplo, a determinação de tamanhos variados das edificações. A comparação desses resultados é altamente relevante para se aprimorar essa pesquisa.

O estudo não abrangeu um cenário urbano complexo com ocupações irregulares, portanto, não foi possível avaliar esse aspecto.

Dal Poz (2014) apresenta um método para o refinamento fotogramétrico de contornos de telhados extraídos de dados LiDAR, que pode ser útil para dar continuidade ao presente trabalho, melhorando a definição de bordas e das áreas.

A extração de edificações, de forma automática, pelo programa TerraScan mostrou-se satisfatória atendendo as normas de precisão cartográfica para escalas menores que 1:5.000. Isso pode não ser um fator limitante, devendo-se fazer sempre uma utilização criteriosa do produto em função da escala do mapeamento e das necessidades do usuário.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S. A. pela cessão dos dados e do software TerraScan utilizados nesse trabalho, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Mestrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS). **LAS Specification** 2013. Disponível em: [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf). Acesso em: 22/02/2015.

CHENG, L.; ZHAO, W.; HAN, P.; ZHANG, W.; SHAN, J.; LIU, Y.; LI, M. Building region derivation from LiDAR data using a reversed iterative mathematic morphological algorithm. **Optics Communications**, Vol. 286, January 2013, p. 244–250.

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para a Aquisição de**

**Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV v.2).**

DAL POZ, A. P. Refinamento fotogramétrico de contornos de telhado extraídos de dados de varredura a laser. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 66/5. 2014. p. 1135-1144.

DORNINGER, P.; PFEIFER, N. A Comprehensive Automated 3D Approach for Building Extraction, Reconstruction, and Regularization from Airborne Laser Scanning Point Clouds. **Sensors**, v. 8, n. 11, Nov 2008, p. 7323-7343.

FERREIRA, F. R. **Segmentação do espaço urbano por meio da tecnologia Lidar aerotransportado**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014, 129p.

HUANG, H.; BRENNER, C.; SESTER, M. 3D Building roof reconstruction from point clouds via generative models, **Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems**, 2011, p. 16-24.

LAFARGE, F.; DESCOMBES, X.; ZERUBIA, J.; DESEILLIGNY, M. Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63, n. 3, May 2008, p. 365-381.

TERRASOLID Ltd., 2013. **TerraScan User's Guide**. Disponível em: [http://www.terrasolid.fi/en/users\\_guide/terrascan\\_users\\_guide](http://www.terrasolid.fi/en/users_guide/terrascan_users_guide). Acesso em: 05/04/2013.

VERMA, V.; KUMAR, R.; HSU, S. 3D Building detection and modeling from aerial LiDAR data, **Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, CVPR'06, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2006, p. 2213-2220.

ZHAI, R. Complex building detection through integrating LiDAR and aerial photos. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XL-5/W4, 2015. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Avila, Spain, 2015, p.69-75.