

## Detecção de edificações em áreas urbanas por meio de classificação de pontos LiDAR

Leonardo Rodrigues de Deus<sup>1</sup>  
Felipe Augusto Ventura da Silva Alfaya<sup>1</sup>  
Ulisses Denache Vieira Souza<sup>1</sup>  
Lívia Rodrigues Tomás<sup>1</sup>  
Leila Maria Garcia Fonseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{ldedeus, leila}@dpi.inpe.br  
{felipe, ulisses, livia}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The recognition of buildings in an urban scene is made difficult by the large diversity of targets, and the occlusion that targets with different heights cause in the scene. These problems make the detection of buildings based on spectral data problematic and it is why the height information registered with LiDAR sensors is an attractive alternative. The objective of this work is draw the existing buildings of the central region of the city of Uberlândia/MG based on LiDAR data, using the classification routines available on *Microstation's* plugin *TerraScan* to filter out the returns of unwanted targets, retaining only the ground and buildings in the scene. The resulting classification was studied to evaluate its precision, making use of a reference map of the buildings in the study area. The errors of omission and commission for each class were calculated, with the relatively high commission error (29.06%) of the Buildings class can explainable by gaps on the reference map. Mapping accuracy was also evaluated using Global accuracy, Kappa and Tau coefficients, respectively 88.68%, 0.7054 and 0.7706, indicating that the classification achieved a good degree of matching with the reference map. The final digital surface model allows for better identification of buildings than the model created using the entire point cloud, and can be more readily used in urban analysis studies.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, digital surface model, urban analysis, sensoriamento remoto, processamento de imagens, modelo digital de superfície, análise urbana.

### 1. Introdução

A detecção automatizada de edificações por meio de dados de sensoriamento remoto é de grande importância em muitas aplicações. Atualização de mapas, modelagem de cidades, análises de crescimento urbano, monitoramento de ocupações irregulares são exemplos de aplicações que se beneficiam amplamente de tais métodos (KHOSHELHAM et al., 2010).

Tradicionalmente a detecção de edificações em dados de sensoriamento remoto é realizada por meio de um intérprete, sendo um processo que demanda grande custo operacional. Por esse motivo, um processo automático reduziria a demanda de trabalho manual necessário para o desenvolvimento da tarefa, aumentando a agilidade e a confiabilidade no processo.

O reconhecimento de edificações sobre uma cena urbana, que contém uma grande diversidade de alvos, tais como estacionamentos, campos, ruas e edificações, torna-se difícil quando se utiliza apenas as propriedades espectrais das imagens geradas por sensores óticos (PINHO et al., 2007). O problema é complicado devido a grande variedade de tipos de telhados das edificações e a oclusão causada por árvores, linhas de energia e outras edificações.

Nesse sentido, a utilização de dados tridimensionais, como os obtidos por sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*), é mais uma fonte de recursos que podem auxiliar na classificação da cobertura do solo, uma vez que a inclusão de dados de altura pode contribuir na discriminação de alguns alvos urbanos que apresentam características espectrais semelhantes.

Gamba et al. (2003) ressaltam que o sistema LiDAR tem sido muito utilizado para análises de altura de edificações em ambientes urbano, uma vez que o sistema fornece

excelentes resultados na obtenção de dados altimétricos em áreas urbanas densas, pelo fato do sistema realizar visadas geométricas próximas ao nadir. Além disso, Visintini et al. (2005) apontam que as técnicas de produção de modelos de superfícies urbanas baseadas em LiDAR, são preferíveis às técnicas fotogramétricas devido a melhor resolução dos dados de origem e maior automação do processo.

LiDAR é um sistema topográfico que se baseia na emissão de milhares de pulsos laser de luz infravermelha por segundo e no registro do retorno do sinal. O sistema realiza tarefas como: medir as distâncias, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros de atitude do feixe (azimute e elevação), podendo assim determinar com precisão as elevações da superfície (JENSEN, 2009). O resultado final deste processo é uma nuvem de pontos denominada de forma genérica de Modelo Numérico de Superfície (TOMMASELLI, 2003). A partir desta nuvem de pontos, diferentes produtos podem ser gerados como, por exemplo, os modelos digitais de elevação.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho consiste em identificar as edificações existentes na área de estudo a partir da classificação de uma nuvem de pontos LiDAR.

## 2. Metodologia

A área de estudo é composta por uma porção central da cidade de Uberlândia-MG, abrangendo os bairros Centro e Fundinho, e parte dos bairros Martins, Osvaldo Rezende e Tabajaras (Figura 1). Esta área de estudo coincide com a região da cidade que apresenta a maior aglomeração de edificações verticalizadas (TOMÁS, 2010).

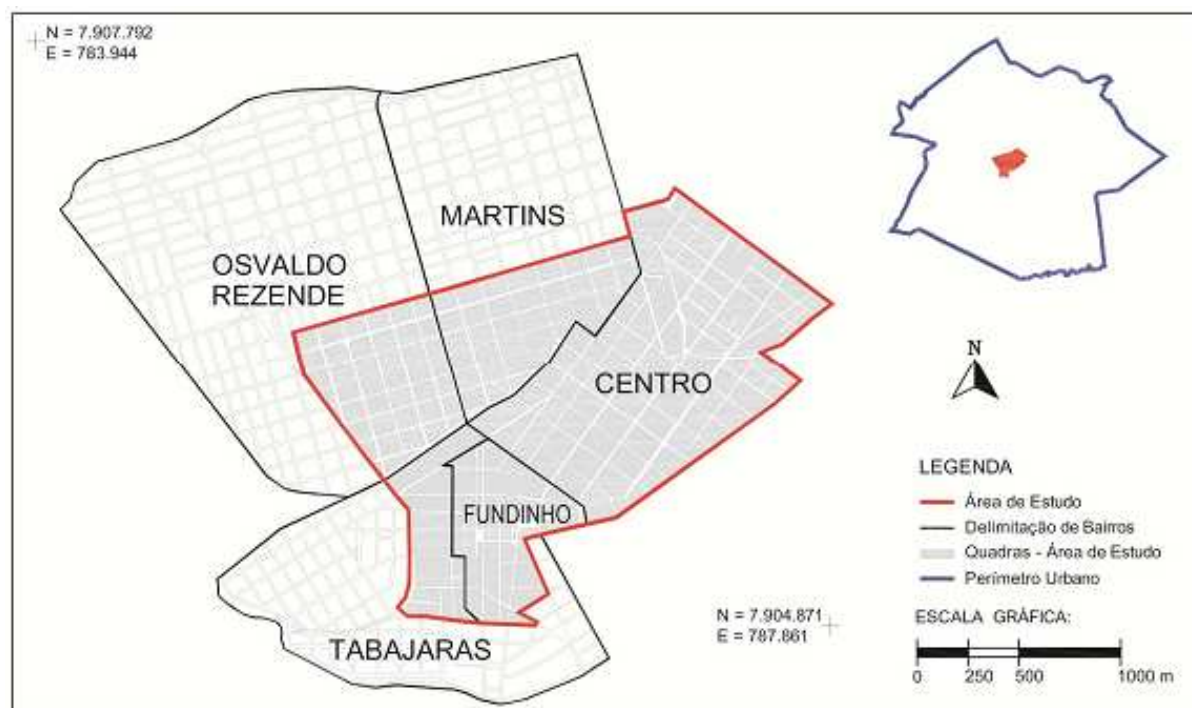


Figura 1. Delimitação da área de Estudo.

Fonte: Tomás (2010).

Os dados LiDAR (*Light Detection And Ranging*) utilizados no estudo foram obtidos pela empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamento S.A., em um levantamento realizado entre os dias 02/02/2004 a 18/06/2004, com o uso do aparelho ALTM 2025 (*Airbone Laser Terrain Mapper*) do fabricante canadense Optech Inc. O sensor ALTM 2025 trabalha com uma precisão altimétrica de aproximadamente 0,15 m para dados brutos (LEONARDI, 2010).

Segundo Tomás (2010), como a altura dos vôos que transportam sensores laser são realizados entre 50 e 5.000 metros, o espaçamento entre os pontos medidos varia de 0,25 a 10 metros.

A Figura 2 mostra uma visão lateral da nuvem de pontos registrada pelo sensor, sendo possível observar as formações tabulares dos topos dos prédios, além de uma torre presente na área de estudo.

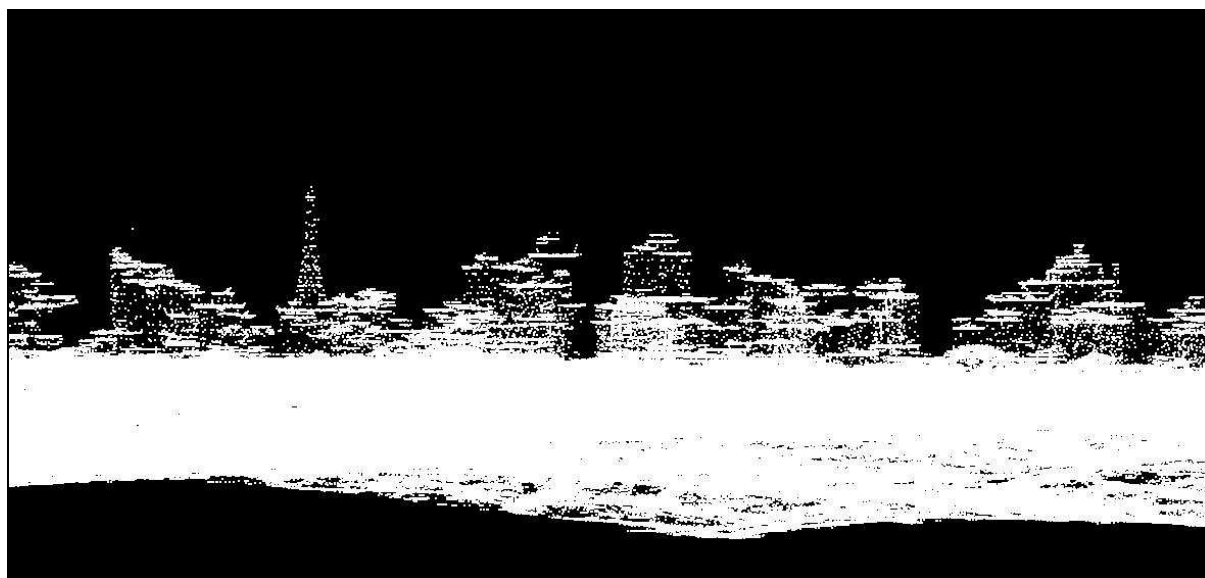


Figura 2. Nuvem de pontos LiDAR da área de estudo.

A ferramenta utilizada para classificar os pontos LiDAR foi o aplicativo *TerraScan* da *TerraSolid* (TERRASOLID, 2010). Este aplicativo é um plugin para o software *Microstation* que permite a leitura dos pontos LiDAR e a classificação dos mesmos em pontos de terreno, árvores, edificações, dentre outros, e a visualização destes pontos em 3 dimensões.

Para realizar a classificação dos pontos correspondentes aos retornos de edificações e eliminar os pontos errôneos da nuvem foram utilizadas as rotinas disponíveis no módulo *TerraScan*.

São considerados pontos errôneos (TERRASOLID, 2010), pontos isolados que se situam abaixo ou acima da média dos pontos da superfície local, ou ainda aqueles que não possuem um número mínimo de vizinhos dentro de um raio definido pelo usuário. Estes pontos devem ser removidos, pois provavelmente são originários de problemas no registro de suas coordenadas por parte do sistema de detecção, ou reflexões do laser em partículas atmosféricas como fuligem.

Após a remoção dos pontos errôneos, a classificação dos pontos do terreno foi realizada como mostra a Figura 3. Na seqüência, a estratégia de classificação adotada foi a de realizar uma nova redução do conjunto de pontos para remover objetos como carros, arbustos e árvores. Após esta fase, uma rotina foi utilizada para classificar os pontos de edificações.

Para avaliar a exatidão da classificação dos pontos de edificação e os erros apresentados no processo de classificação, uma comparação do resultado obtido com os dados cadastrais (polígonos das edificações) fornecidos pela Prefeitura Municipal de Uberlândia foi realizada. A avaliação da exatidão da classificação foi realizada utilizando a exatidão global e os índices Kappa e Tau, calculados a partir da matriz de erro da classificação.

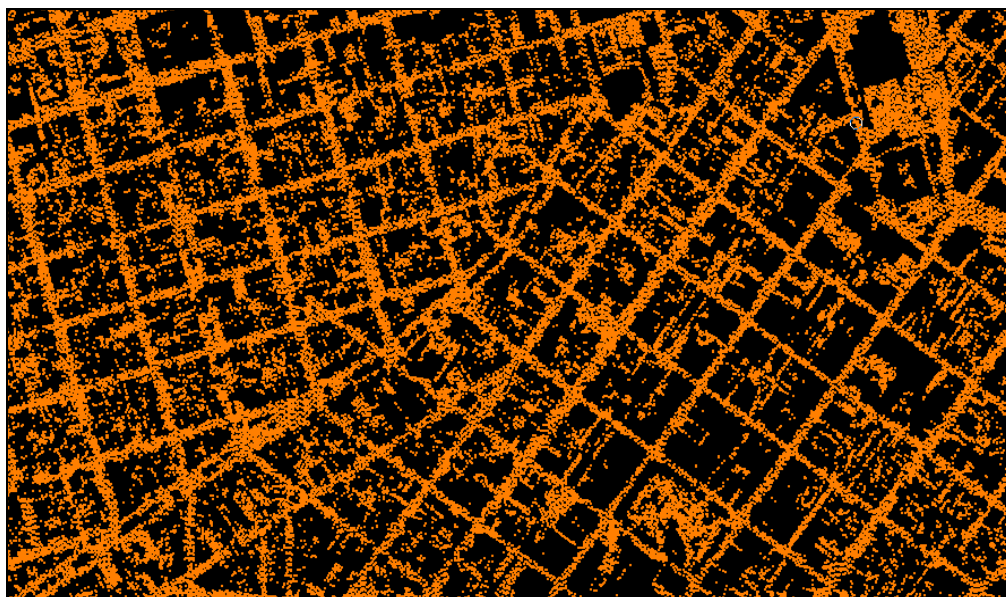


Figura 3. Pontos classificados como terreno pelo *TerraScan*.

### 3. Resultados e Discussões

A Figura 4 ilustra os pontos que foram classificados como edificações em uma porção da área de estudo. Comparando a imagem classificada com uma cena IKONOS pode-se concluir que as edificações, em uma análise visual, foram bem classificadas e que estão condizentes com a delimitação das quadras observadas na imagem.

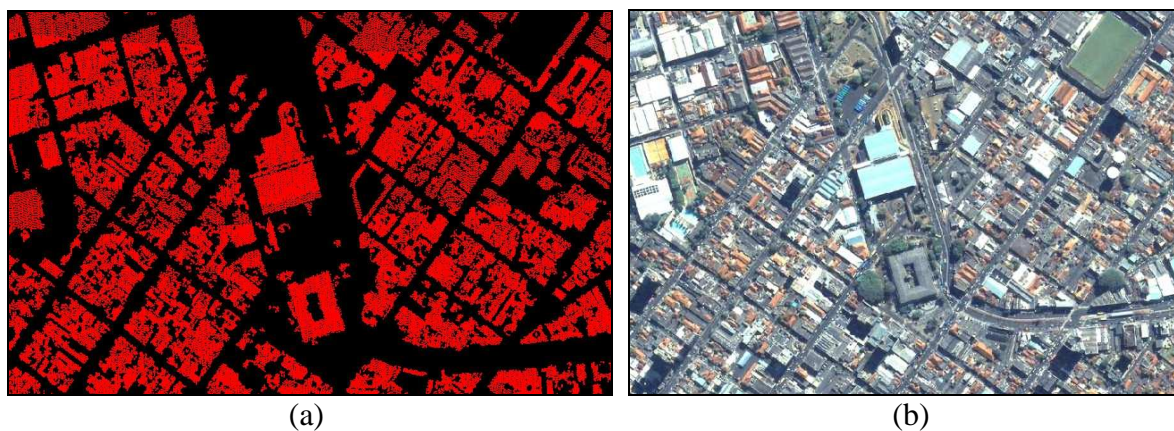


Figura 4. Comparação das imagens (a): pontos classificados como edificações; (b): cena IKONOS da área de estudo.

Ao se utilizar o *TerraScan* para classificar a nuvem de pontos um problema foi identificado. A rotina de detecção de árvores (*Detect Trees*) implementada no aplicativo identifica automaticamente apenas dois tipos de árvores, o abeto e o vidoeiro, espécies nativas de clima temperado do hemisfério norte (TERRASOLID, 2010). Como no cenário urbano existem árvores de diferentes tipos, formas e tamanhos, o aplicativo não conseguiu detectar todas as árvores existentes na área de estudo.

O conjunto total de pontos LiDAR utilizado neste estudo foi classificado em 5 classes, mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado Pontos Classificados pelo *TerraScan*

Classes	Nº Pontos Classificados	% Pontos Classificados
Pontos Errôneos	6.301	0,14
Terreno	1.028.586	22,53
Outros objetos	789.751	17,30
Árvores	425.126	9,31
Edificações	1.568.069	34,34

A tabela 1 mostra que 0,14% dos pontos foram classificados como pontos errôneos. O fato desta classe representar um número pequeno de pontos em relação ao conjunto total de pontos é indicativo de que o levantamento LiDAR foi corretamente realizado.

Os pontos classificados como terreno referem-se a 22,53% do total de pontos classificados. Esses pontos correspondem aos retornos da superfície do terreno, como por exemplo, as ruas ou as praças.

Após classificar os pontos errados e os pontos do terreno, os pontos que não poderiam ser edificações foram eliminados. Desta forma, 9,31% dos pontos foram classificados como árvores pelo detector automático de árvores do *TerraScan* e 17,3% dos pontos foram classificados como outros objetos, os quais correspondem a veículos ou vegetação baixa, como arbustos.

Um problema observado no processo de classificação foi a classificação dos ônibus urbanos, estacionados próximos ao terminal de transporte urbano, como edificações (Figura 5). Como os ônibus possuem altura e forma comparáveis com as edificações de um andar, especialmente quando vários ônibus se encontram lado a lado, eles não são separáveis dos pontos que realmente correspondem a edificações.



Figura 5. Ônibus estacionados próximos ao terminal de transporte urbano e classificados como edificações (os pontos em vermelhos são pontos classificados como edificações).

Finalmente, 34,34% dos pontos foram classificados como edificações e 16,39% dos pontos não foram classificados. Os pontos não classificados correspondem, principalmente, à vegetação não detectada pelas rotinas anteriores e às laterais das edificações, pois o algoritmo de classificação do *TerraScan* se baseia em parâmetros que identificam pontos que definem superfícies planas acima do terreno, as quais seriam os telhados das edificações. Como esperado, a maior parte dos pontos foi classificada como edificação tendo em vista que a área de estudo é uma área bastante urbanizada.

Para avaliar a precisão da classificação, o conjunto de pontos classificados e o dado cadastral foram transformados em imagens *raster*, gerando a matriz de confusão mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de confusão correspondente à classificação de edificações

	Classes	Mapa de referência		
		Edificações	Não Edificações	Total
Classificação	Edificações	208.075	85.216	293.291
	Não Edificações	31.725	708.310	740.035
	Total	239.800	793.526	1.033.326

Os valores de Exatidão Global, índice Kappa, índice Tau (MA e REDMOND, 1995; BRITES, 1996), assim como os erros de omissão e de comissão para cada uma das classes são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da avaliação da classificação

Classes	Erro de Omissão (%)	Erro de Comissão (%)	Exatidão Global	Kappa	Tau
Edificações	29,06	13,23	0,8868	0,7054	0,7736
Não Edificações	4,29	10,74			

De acordo com os dados da tabela anterior, o erro de omissão para a classe de edificações foi o mais significativo (29,06%). Este erro relativamente alto se deve ao fato do algoritmo de classificação de edificações no *Terrascan* identificar superfícies planas com dimensões mínimas, o que pode levar a não classificação de partes de telhados irregulares como no caso de prédios ou com as águas muito inclinadas no caso de casas. Então, na classificação, estas áreas não classificadas aparecem como “buracos” e, ao se cruzarem com a imagem verdade, eles acabam sendo classificados como erro de omissão. A Figura 6 mostra exemplo de situações que levaram ao erro de omissão.

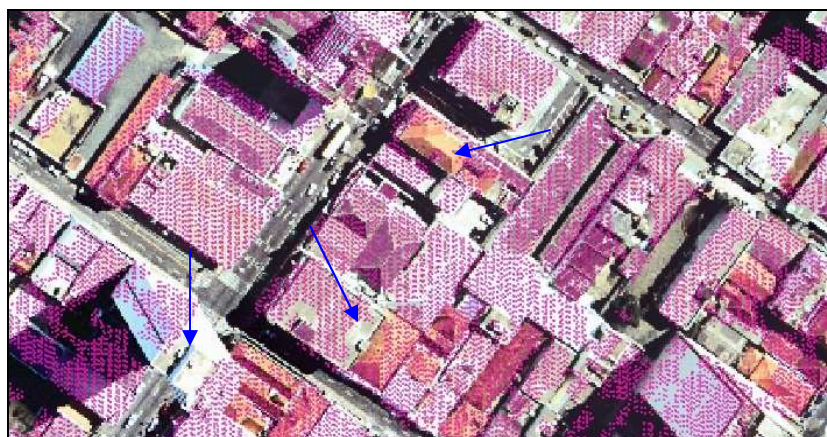


Figura 6. Exemplos de erros de omissão. Os pontos em roxo indicam áreas classificadas como edificações, e é possível observar algumas áreas que são edificações mas não foram classificadas como tal.

O erro de comissão da classe edificações em torno 13,23% foi devido, principalmente, a classificação de objetos que possuem formas semelhantes às edificações, como os ônibus estacionados próximos ao terminal urbano ou a determinadas árvores na área de estudo. Outro fator que contribuiu para este erro foi o fato do arquivo de polígonos das edificações, utilizado

como verdade de campo, não ter incluído todas as edificações presentes na área de estudo, apesar de ter sido obtido na mesma época da aquisição dos pontos LiDAR. Desta forma, pontos que foram corretamente classificados como edificações foram computados a mais, pois as edificações correspondentes não constavam no mapa de referência. Um exemplo desta situação pode ser visto na Figura 7.

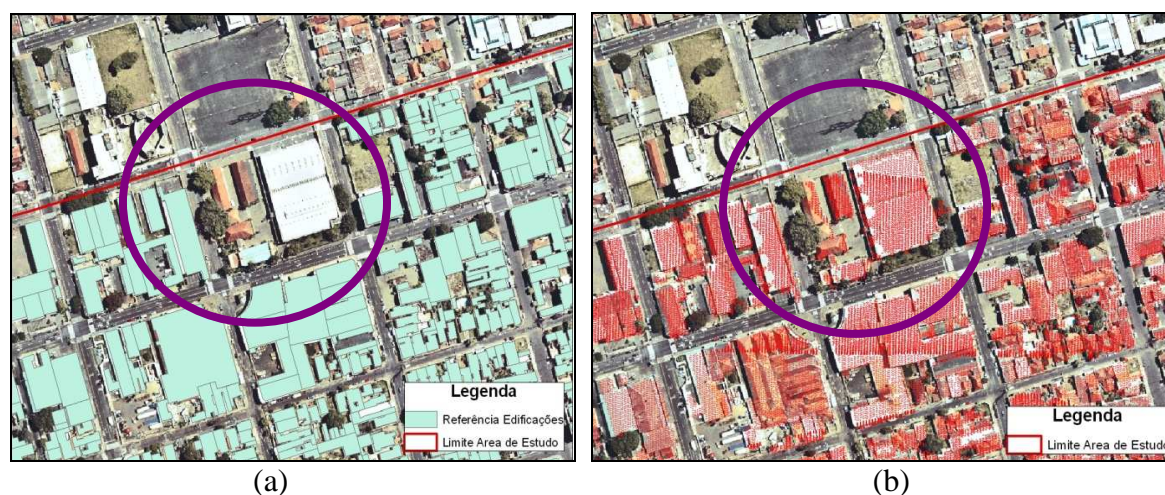


Figura 7. Erro de comissão: (a) edificações presentes na área de estudo não representadas no mapa de referência e (b) pontos LiDAR corretamente classificados como edificações.

Os índices Kappa e Tau, respectivamente 0,7054 e 0,7736, em conjunto com a exatidão global de 88,68% mostram que o resultado da classificação obtida no experimento, apesar dos problemas apontados, está de acordo com a verdade da área de estudo e é satisfatória.

A Figura 8 mostra a comparação entre o modelo de superfície gerado a partir da classificação de todos os pontos da nuvem, excluindo-se apenas os pontos errôneos, e o modelo tridimensional gerado apenas com os pontos classificados como terreno e edificações.

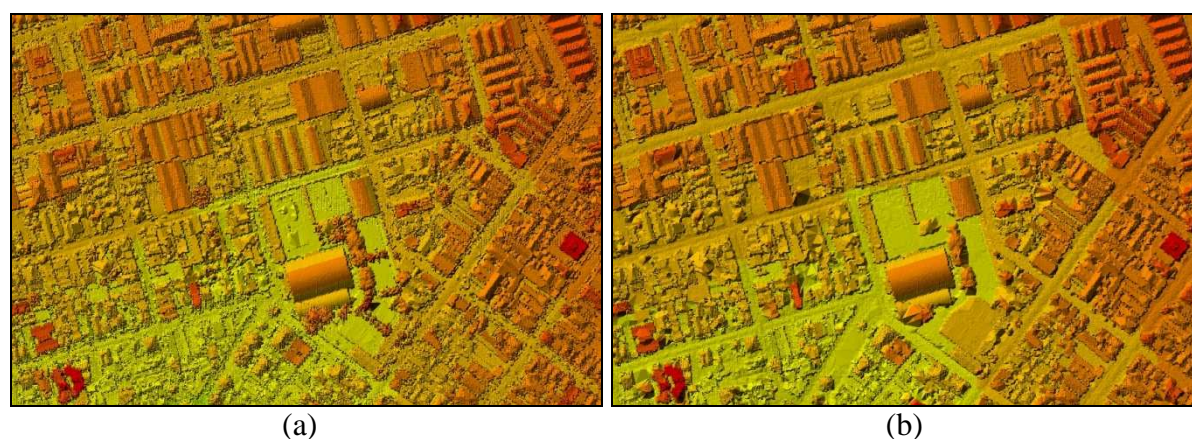


Figura 8. Modelo de superfície gerado: (a) pela classificação de todos os pontos excluindo os errôneos e (b) pela classificação do terreno e edificações.

A análise da Figura 8 mostra que o modelo gerado apenas com os pontos do terreno e das edificações representa bem as áreas edificadas, possibilitando assim verificar a densidade de ocupações urbanas em uma área, enquanto que no modelo gerado com todos os pontos, a distinção entre quadras e ruas fica mais complicado, sendo também possível observar a presença de várias árvores.

#### 4. Considerações Finais

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a nuvem de pontos captada pelo sensor LiDAR é uma fonte de dados adequada para estudos urbanos, possibilitando a distinção entre as áreas edificadas e os demais alvos urbanos como, por exemplo, vegetação e solo exposto.

De uma forma geral, o aplicativo *TerraScan* neste estudo foi eficiente para classificação de dados LiDAR de áreas urbanas possibilitando, assim, a extração das áreas edificadas.

Por outro lado, um estudo mais detalhado sobre o uso das rotinas do aplicativo *TerraScan*, com uma melhor definição dos parâmetros de cada rotina, é recomendado para diminuir os erros no processo de classificação.

#### Referências Bibliográficas

- Brites, Ricardo Seixas. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeitos de diferentes estratégias de amostragens e avaliação de índices de exatidão**. 1996. 101p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1996.
- Gamba, P.; Dell’acqua, F.; Houshmand, B. Comparison and fusion of LiDAR and InSAR digital elevation models over urban areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 22, p. 4289-4300, Nov 2003.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2<sup>a</sup> ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 598 p.
- Khoshelham, K.; Nardinocchi, C.; Frontoni, E.; Mancini, A.; Zingaretti, P. Performance Evaluation of Automated Approaches to Building Detection in Multi-Source Aerial Data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.65, n.1, p.123-133, 2010.
- Leonardi, Fernando. **Abordagens Cognitivas e Mineração de Dados Aplicadas a Dados Ópticos Orbitais e de Laser para a Classificação de Cobertura do Solo Urbano**. 2010. 164p. (INPE-16708-TDI/1648). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2010.
- Ma, Zhenkui; Redmond, Roland L. Tau coefficients for accuracy assesment of classification of remote sensing data. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**. Betheseda, v.61, n.4, p. 453-459, 1995.
- Pinho, C. M. D.; Almeida, C. M.; Kux, H. J. H.; Rennó, C. D.; Fonseca, L. M. G. Classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos. In: Almeida, C. M.; Câmara, G.; Monteiro, A. M. V. (Ed.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 8, p. 171-192.
- TERRASOLID. **TerraScan user’s guide**. 2010. 308p. Disponível em: <[http://www.terrasolid.fi/system/files/tscan\\_1.pdf](http://www.terrasolid.fi/system/files/tscan_1.pdf)>. Acesso em: 05/07/2010.
- Tomás, Livia Rodrigues. **Inferência populacional urbana baseada no volume de edificações residenciais usando imagens IKONOS-II e dados LiDAR**. 2010. 130p. (INPE-16712-TDI/1651). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2010.
- Tommaselli, A. M. G. **Um estudo sobre as técnicas de varredura a laser e fotogrametria para levantamentos 3D a curta distância**. Geodésia online, n. 4, 2003.
- Visintini, D.; Fico, B.; Crosilla, F.; Guerra, F. A 3D virtual model of the Gorizia downtown (Italy) by matching aerial and terrestrial surveying techniques. In: CIPA International Symposium, 20, 2005, Torino. **Proceedings...** Torino, 2005. Disponível em: <[http://www.geomaticaeconservazione.it/seminario2006/pdfs/Visintini\\_CIPA\\_Torino\\_2005.pdf](http://www.geomaticaeconservazione.it/seminario2006/pdfs/Visintini_CIPA_Torino_2005.pdf)>. Acesso em: 16/08/2010.