
INTEGRAÇÃO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA-RESOLUÇÃO E DADOS LASER PARA DETECÇÃO DE TELHADOS DE EDIFÍCIOS

VANESSA JORDÃO MARCATO

ALUIR PORFÍRIO DAL POZ

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
vanessamarcato@yahoo.com.br, aluir@fct.unesp.br

RESUMO – Esse trabalho apresenta um método para detectar telhados de edifícios em uma imagem aérea de alta-resolução e obter os seus respectivos contornos. Para tanto, inicialmente, é realizada a prévia delimitação de regiões que contém objetos altos na imagem. Essa tarefa é feita através da extração de polígonos representando objetos altos em MDSn/laser, com posterior projeção dos polígonos no plano da imagem. A projeção dos polígonos representando objetos altos na imagem possibilita o isolamento de sub-imagens, que são analisadas separadamente para a extração automática de polígonos representando contornos de telhados. Alguns experimentos preliminares foram realizados e mostraram que o método permite localizar de forma mais rápida os telhados de edifícios com uso dos dados de varredura a laser e obter contornos mais acurados com a imagem.

ABSTRACT - This paper presents a method to detect building roofs in a high-resolution aerial image and get their respective contours. For this purpose, initially, it is performed prior delimitation of areas containing high objects in the image. This task is made by extracting polygons representing aboveground objects in a nDMS/laser, with subsequent projection of the polygons onto the image space. The projection of the polygons representing aboveground objects onto the image allows the isolation of sub-images, which are separately analyzed for extracting polygons representing roof contours. Some preliminary experiments were performed, showing that the method can locate the building roofs faster with use of laser scan data and more accurate contours with the image.

1 INTRODUÇÃO

A extração de feições que compõem as cenas urbanas (edificações, rodovias, vegetação, entre outros) é um problema de bastante interesse para as Geociências. A completa extração desses objetos depende fundamentalmente do tratamento adequado das etapas que compõem todo o processo, que são (GRÜN, 2000): a detecção, reconstrução e descrição. A detecção desses objetos está relacionada com a localização de um ou mais objetos presentes na cena junto com outros objetos indesejáveis. No processo de detecção de objetos não é necessário definir por completo as suas respectivas linhas de contorno. Assim, para detectar um objeto no espaço imagem é suficiente apontar, mesmo que parcialmente, para a sua localização nesse espaço. Somente detectar o objeto muitas vezes não permite extrair os atributos necessários para a etapa de reconstrução, o que torna necessário o refinamento dos resultados obtidos pela detecção, para possibilitar o estabelecimento dos relacionamentos geométricos desse objeto (GRÜN, 2000).

A extração de telhados de edifícios é um problema difícil no âmbito do reconhecimento de objetos, o que está relacionado com a complexidade e a variabilidade da cena e, dessa forma, para minimizar esse problema se torna interessante o desenvolvimento de metodologias que utilizam várias fontes de dados (SOHN, 2004). Nesse contexto, diversos trabalhos veem sendo desenvolvidos nessa área, envolvendo o uso de imagens aéreas, dados laser ou a combinação de ambos os dados. Muller e Zaum (2005) propuseram detectar edifícios em imagens aéreas com uso da segmentação da imagem por crescimento de regiões e posterior separação de regiões entre edifícios e vegetação com base em atributos geométricos e fotométricos associados às regiões previamente segmentadas. Katartzis e Sahli (2008) propõem um método automático para detecção de telhados em imagens aéreas. A abordagem é baseada em um modelo de interpretação de imagem estocástico, o modelo de MRF (Markov Random Field - Campos Aleatórios de Markov), que combina informações de contexto 2D e 3D da imagem. Lafarge et al. (2008) desenvolveram uma metodologia para a extração de edifícios a partir de Modelos Digitais de Superfície (MDS), em que as partes dos edifícios são extraídas

como objetos retangulares. Estes objetos são posteriormente agregados para gerar modelos 3D completos de edificações. Kabolizade et al. (2010) propõe um modelo snake que foca na extração de telhados de edifícios em imagens aéreas coloridas e dados laser. Galvanin e Dal Poz (2012) utilizaram dados provenientes de varredura a laser em conjunto com o MRF para a extração de contornos de telhados. Em Chen et al. (2012) é proposto um método para detecção de edifícios com uso de dados laser e imagem QuickBird. Os dados laser são utilizados para gerar um MDSn (Modelo Digital de Superfície normalizado) e, assim serem obtidos os candidatos a representar edifícios, em seguida, a vegetação é filtrada com base em informações da imagem. Awrangjeb et al. (2013) apresentam um método para reconstrução automática de telhados 3D através da integração de dados laser com imagem multiespectral. As informações provenientes de ambos os dados são utilizadas para a classificação de retas detectadas na imagem. E Gilani et. al. (2015) que desenvolveram um algoritmo baseado em grafo, que combina imagens multiespectrais e dados laser para extrair contornos de edifícios.

Nesse sentido, esse trabalho visa desenvolver um método que permita detectar telhados de edifícios em imagens aéreas de alta-resolução e ao mesmo tempo obter os respectivos contornos das regiões correspondentes a esses telhados de edifícios. Dessa forma, são aplicadas técnicas de pré-processamento que permitam obter uma única região para cada telhado de edifício. Para a segmentação da imagem em regiões é utilizada uma técnica de segmentação por classificação pixel a pixel disponível no software Halcon 12.0 da MVTec. Esse método depende da prévia delimitação de uma região que contém o edifício de interesse. Isso é realizado, através da detecção do edifício em um MDSn (Modelo Digital de Superfície normalizado) obtido a partir de dados de varredura laser, com posterior projeção dele no plano da imagem, para possibilitar o isolamento de uma sub-imagem. Vale ressaltar que os pré-processamentos realizados, principalmente nos dados laser, não garantem o isolamento de apenas contornos de telhados de edifícios. Foram realizados alguns experimentos preliminares que mostraram bons resultados para a tarefa de detectar telhados de edifícios.

2 MÉTODO

O método proposto para detecção de telhados de edifícios está dividido em duas etapas. Na subseção 2.1 é apresentado o procedimento para detecção de telhados e extração de polígonos a partir do MDSn e na subseção 2.2 o procedimento na imagem.

2.1 Detecção de telhados e extração de polígonos no MDSn

Os dados provenientes da varredura a laser são pontos irregularmente espaçados, representados pelas coordenadas (E, N, h). Neste caso, (E, N) correspondem às coordenadas planimétricas e h é a altitude ortométrica de um ponto. O primeiro passo do método proposto consiste em realizar a filtragem/classificação dos pontos laser. Esse procedimento é realizado no software Inpho 6 da Trimble e um exemplo desse processamento pode ser observado na Figura 1.

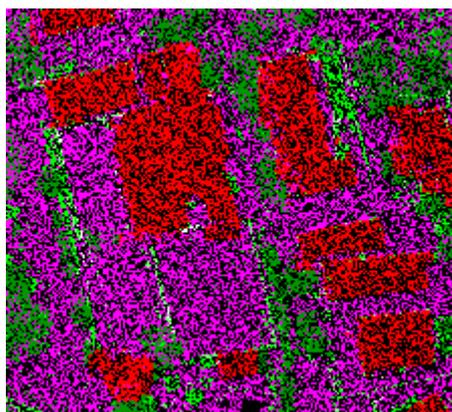


Figura 1 – Classificação da nuvem LASER no software Inpho 6.

Nesse procedimento (Figura 1) as classes são separadas em terreno (rosa), edifícios (vermelho), vegetação baixa (verde claro) e vegetação alta (verde escuro). Inicialmente são retirados os pontos que representam vegetação alta (árvores) presentes nos dados. Em um segundo momento, é aplicado um filtro para eliminar pontos não pertencentes ao terreno. Esses dois procedimentos são realizados para a geração do MDS (Modelo Digital de Superfície) e MDT (Modelo Digital de Terreno), respectivamente (EL-SHEIMY et al., 2005). Os pontos fornecidos pela varredura a laser consistem de uma perfilagem irregular, ou seja, não é conhecido o exato espaçamento entre os pontos da grade gerada. Para a geração de uma grade regular é necessária a aplicação de um método de interpolação para a atribuição de valores de h

as novas posições criadas pela malha. E, assim, o MDS e o MDT em grade regular são obtidos. Para gerar o MDS o interpolador utilizado é o vizinho mais próximo. Esse interpolador tem um comportamento desejável, no caso envolvendo telhados de edifícios, uma vez que não cria valores intermediários e proporciona uma maior nitidez nas bordas do telhado (GALVANIN, 2007). E para gerar o MDT foi utilizado o interpolador krigagem, nesse caso, assume-se um comportamento suave no interior das quadras e esse método de interpolação preserva melhor essas características por manter a continuidade do terreno (BOTELHO, 2007). Para o processo de interpolação foi utilizado o software Surfer 8.0.

Com o intuito de evitar os efeitos da topografia, calcula-se o MDSn, que corresponde à diferença entre o MDS e o MDT. O MDSn é uma representação no plano dos objetos acima da superfície topográfica.

Para a obtenção dos polígonos representando as regiões altas o MDSn é segmentado. Esse processo é feito através da obtenção da imagem de alturas obtida a partir do MDSn e uma limiarização automática baseada no histograma da imagem, disponível no software Halcon 12.0 da MVTec. Na sequência, as regiões altas passam a ser representadas por polígonos. Para tanto, é aplicado um algoritmo de perseguição de contornos (JAIN et. al, 1995) seguido da poligonização (DOUGLAS e PEUCKER, 1973), com algoritmos disponíveis no Halcon 12.0.

2.2 Detecção de telhados e extração de Polígonos na imagem

Em seguida, projeta-se na imagem os polígonos representando objetos altos, obtidos na etapa anterior, com o objetivo de fornecer parâmetros para realizar a segmentação da imagem em regiões. A projeção desses polígonos é usada para isolar as regiões na imagem que os contêm através de recortes nessa imagem (sub-imagens). Essa sub-imagem deve ser gerada com certa tolerância, a fim de garantir o enquadramento do correspondente objeto na imagem. E, dessa maneira, a segmentação é aplicada somente nessas sub-imagens.

Nesse trabalho foram utilizados operadores disponíveis no software Halcon 12.0 da MVTec. O processo de detectar superfícies inclinadas, como o caso do telhado de edifício, em imagens é bastante desafiador devido às diferentes reflexões da luz no momento da tomada da imagem, que causam uma alta descontinuidade em intensidade/cor em uma única estrutura (COTE E SAEEDI, 2013). Dessa forma, com vista a solucionar possíveis problemas relacionados à segmentação de um mesmo telhado de edifício em várias regiões, optou-se por trabalhar com o espaço de cor YUV (NETRAVALI E HASKELL, 1995), mais próximo da percepção humana e que torna possível remover a influência da componente intensidade.

Em um primeiro momento, foi realizada a transformação das componentes RGB para o espaço de cor YUV (DEVO E MANDOWARA, 2012). A componente Y determina a intensidade da cor e as componentes U e V são a cor propriamente dita. A seguir, na Figura 2, pode-se observar uma imagem RGB e suas componentes YUV.

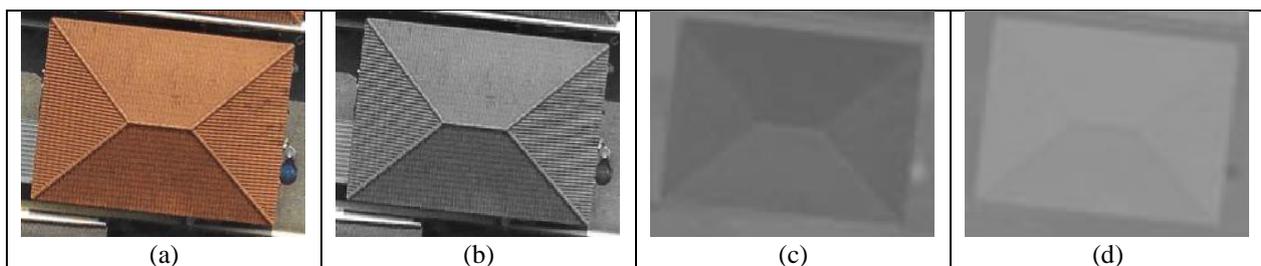


Figura 2- Espaço de cor YUV. (a) Imagem RGB; (b) componente Y; (c) componente U e; (d) componente V.

Na sequência, as componentes U e V são usadas para gerar um histograma bidimensional. Os tons de cinza da componente U são interpretados como índices do eixo linha e os tons de cinza da componente V como índices do eixo coluna. O valor de cinza de um ponto P (g_1, g_2) da imagem de saída indica a frequência de combinação (g_1, g_2). A seguir, a imagem de saída passa por um processo de suavização pela média, com uma máscara 3x3.

O próximo passo consiste em determinar quais e quantas são as regiões significativas da imagem nesse histograma. Para tanto, foi utilizado o operador *watershed* (GONZALEZ E WOODS, 2000) com uso de limiar. Inicialmente, esse operador segmenta regiões pelo método *watershed* e em seguida funde regiões que são separadas umas das outras por uma *watershed* menor que um limiar estipulado. Dessa forma, esse limiar funciona como um critério de fusão entre as regiões segmentadas. Supondo B_1 e B_2 sendo os menores valores de cinza entre duas regiões vizinhas e W o menor valor de cinza da *watershed* que separa essas duas regiões, duas regiões são fundidas se $\max\{W-B_1, W-B_2\} < \text{Limiar}$.

A seguir, na Figura 2 pode ser observado um exemplo de imagem representando um histograma bidimensional produzido a partir das componentes U e V apresentadas na Figura 2 (c) e (d). Também estão representadas as regiões significativas encontradas pelo método *watershed* com uso de limiar. O valor de limiar utilizado foi igual a 50.

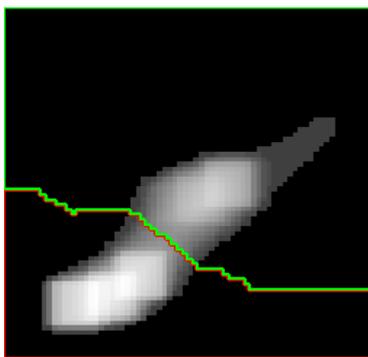


Figura 3- Histograma bidimensional e as linhas *watersheds*.

As linhas *watersheds* encontradas delimitam regiões significativas da imagem no histograma, por exemplo, na Figura 3 foram encontradas duas regiões significativas (uma região delimitada pela linha verde e a outra pela vermelha). Esse resultado é então utilizado para segmentar a imagem a partir de um operador de classificação por pixel de duas dimensões. As dimensões consideradas são as componentes U e V da imagem.

Dessa forma, para cada ponto da imagem são considerados dois valores de cinza (um da componente U e outro da V) e então é feita a comparação com as *watersheds* encontradas a partir do histograma. Assim, seja P um ponto com coordenadas (L, C), $g(l)$ o valor de cinza na posição (L, C) da componente U e $g(c)$ o valor de cinza na posição (L, C) da componente V, busca-se no histograma com base nas *watersheds* encontradas em qual das regiões o ponto deve ser agregado.

Segmentada a imagem, é aplicado um operador de preenchimento de buracos. Esse operador elimina pequenas regiões através da comparação do pixel com sua vizinhança.

Também são calculadas as áreas de cada uma das regiões segmentadas na imagem. Por fim, conserva-se o contorno da região de maior área, uma vez que espera-se que o telhado de edifício seja o principal objeto de uma região pré-selecionada. Cada polígono resultante da segmentação da imagem envolve um objeto alto.

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesse trabalho foi utilizada uma imagem de alta-resolução (com parâmetros de orientação) do ano de 2011 e uma nuvem de pontos laser com 8 pto/m² ano 2013. Com uso da nuvem de pontos laser foram selecionadas duas áreas da cidade de Presidente Prudente/SP próximas a FCT/UNESP.

Na Figura 4 é apresentado o primeiro experimento, uma área composta por dois edifícios. Na Figura 4 (a), são apresentados os polígonos, obtidos a partir da segmentação do MDSn/laser, projetados na imagem aérea. Foram extraídos quatro polígonos dos dados de varredura a laser, que compreendem os dois edifícios que compõem a cena (Polígonos 2 e 4) e mais dois polígonos que envolvem vegetação alta (Polígonos 1 e 3), conforme previsto no método, os pré-processamentos realizados nos dados laser não garantem existência de somente telhados de edifícios no resultado. Verifica-se que (Figura 4(a)) os polígonos projetados apresentam uma forma bastante irregular e em alguns casos incorporam a vegetação alta próxima ao telhado de edifício. Dessa forma, pode-se notar que os polígonos 2 e 4 apontam corretamente a localização dos telhados de edifícios, no entanto não definem bem seus contornos.



Figura 4 - Experimento1. (a) Polígonos extraídos dos dados laser e projetados na imagem; e (b) Polígonos extraídos da Imagem.

Na Figura 4 (b) pode ser observado o resultado obtido com a segmentação da imagem. Verifica-se que os contornos dos telhados de edifícios foram melhorados significativamente e se apresentam mais acurados. Verifica-se que o método apresentou um bom resultado, uma vez que segmentou os telhados de edifícios em uma única região e, dessa forma, foi capaz de lidar com as diferenças em textura e iluminação presentes nas estruturas dos telhados. Um dos lados de contorno de telhado de edifício representado pelo polígono 4 (Figura 4 (b)) apresenta parte oculta por vegetação alta e dessa forma, não ficou bem definido. Assim, foram detectados e obtidos os contornos dos dois telhados de edifícios presentes na cena e ocorreu a presença de dois objetos indesejáveis. No entanto, o objetivo do método para esse experimento foi cumprido, uma vez que se objetivava detectar todos os telhados de edifícios presentes na cena.

A Figura 5 mostra o segundo experimento, composto por uma quadra. Nesse experimento, um fator que deve ser considerado é a incompatibilidade das datas entre a tomada da nuvem de varredura a laser (2013) e a imagem aérea (2011), uma vez que pode-se notar (Figura 4(a)) a partir da projeção dos polígonos extraídos do MDSn/laser na imagem que foram extraídos um polígono que compreendia vegetação alta (Polígono 9) e quatorze polígonos representando telhados de edifícios (demais polígonos) dos quais dois telhados não aparecem na imagem aérea e um edifício está em fase de construção. Devido os dados disponíveis essa é uma limitação encontrada, no entanto nota-se que os telhados de edifícios foram bem localizados a partir dos dados de varredura a laser.



Figura 5 - Experimento2. (a) Polígonos extraídos dos dados laser e projetados na imagem; e (b) Polígonos extraídos da Imagem.

Na Figura 5(b) são apresentados os polígonos extraídos na imagem. Pode-se observar que os polígonos representando os telhados de edifícios foram melhorados (Polígonos 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 e 15). Os telhados representados pelos polígonos 6 e 8 tem parte de seus lados de contornos que não foram bem definidos, o polígono 6 devido a grande semelhança em cor entre o chão e o telhado e o polígono 8 pela presença de sombra. Devido ao problema relatado anteriormente, com relação as diferentes épocas de aquisição dos dados, os polígonos 1 e 3 na imagem representam vegetação e o polígono 2 se apresenta irregular devido o edifício em fase de construção. O polígono 9 representa parte de vegetação alta e uma espécie de quiosque. O método de segmentação de imagem empregado proporcionou bons resultados. Deve-se ressaltar o benefício do uso do espaço de cor YUV, que foi capaz de contornar o problema relacionado às diferenças em iluminação presentes em uma mesma estrutura de telhado de edifício. Também, o uso do método *watershed* possibilitou a separação adequada dos objetos presentes na cena. Vale ressaltar que o método *watershed* trabalha com detecção de descontinuidades, o que favorece o emprego desse método na detecção de contornos de telhados de edifícios caracterizados como um tipo de descontinuidade. Assim, dentro das limitações encontradas o método funcionou adequadamente na tarefa de detectar os telhados de edifícios na imagem aérea.

4 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve por objetivo detectar telhados de edifícios em uma imagem aérea de alta-resolução e obter os seus respectivos contornos. Esse método depende da prévia delimitação de uma região que contém o edifício de interesse. Isso é realizado através da detecção do edifício em um MDSn obtido a partir de dados de varredura laser, com posterior projeção dele no plano da imagem, para possibilitar o isolamento de uma sub-imagem. Para a segmentação da imagem em regiões é utilizada uma técnica de segmentação por classificação pixel a pixel.

Para avaliar o método proposto foram realizados experimentos com duas áreas. Os resultados alcançados indicaram a eficiência do método proposto, em ambos os experimentos foi possível detectar todos os telhados de edifícios presentes nas cenas. A restrição do espaço de busca utilizando a projeção dos polígonos extraídos da nuvem laser é uma boa opção, uma vez que permite trabalhar a segmentação da imagem em pequenas áreas com alta probabilidade de conterem telhados de edifícios. O método de segmentação de imagem empregado proporcionou bons resultados, uma vez que, segmentou os telhados de edifícios em uma única região e, dessa forma, foi capaz de lidar com as diferenças em textura e iluminação presentes nas estruturas dos telhados. Sendo assim, verifica-se que o método proposto permite localizar de forma mais rápida os telhados de edifícios com uso dos dados de varredura a laser e obter contornos de telhados de edifícios mais acurados com a imagem.

Para trabalhos futuros o objetivo é o desenvolvimento de uma função de energia que responda otimamente (com um mínimo) a configurações de polígonos representando, idealmente, somente a contornos de edifícios. Para o reconhecimento de contornos de telhados de edifícios em meio a esses objetos altos devem ser consideradas algumas propriedades relacionadas a esse objeto para assim, definir a função de energia baseada na modelagem MRF.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento dessa pesquisa através de uma bolsa de doutorado (Processo nº 2012/22332-2).

REFERÊNCIAS

AWRANGJEB, M.; ZHANG, C. FRASER, C. S. Automatic extraction of building roofs using LIDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 83, p. 1–18, 2013.

BOTELHO, M. F. Modelagem tridimensional de edificações usando dados do sistema laser scanner e imagem orbital de alta. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná, Curitiba - Paraná, 2007.

CHEN, L.; ZHAO, S., HAN, W.; LI, H. Building detection in an urban area using lidar data and QuickBird imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.33, p. 5135-5148, 2012.

COTE, M., SAEEDI, P. Automatic rooftop extraction in nadir aerial imagery of suburban regions using corners and variational level set evolution. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, v. PP, p. 1-16, 2012.

DEVI, S. M., MANDOWARA, A. Extended Performance Comparison of Pixel Window Size for Colorization of Grayscale Images using YUV Color Space. Paper presented in Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), Gujarat, India, December 6-8, 2012.

DOUGLAS D. H.; PEUCKER T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, v. 10, n. 2, pp. 112-122, 1973.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. Digital terrain modeling: Acquisition, manipulation and applications. Calgary: Artech House Remote Sensing Library, 2005.

GALVANIN, E. A. S. Extração automática de contornos de telhados de edifícios em um modelo digital de elevação, utilizando inferência Bayesiana e campos aleatórios de Markov. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, FCT/UNESP, 2007.

GALVANIN, E. A. S.; DAL POZ, A. P. Extraction of building roof contours from Lidar using a Markov-Random-Field-Based approach. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, v.50, p. 981-987, 2012.

GILANI, A. N.; AWRANGJEB, M.; LU, G. Fusion of LiDAR data and multispectral imagery for effective building detection based on graph and connected component analysis. Paper presented in Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Munich, Germany, Vol. XL, Part 3/W2, pp. 65-72, 2015.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing, Addison-Weslly publishing company, 2000.

GRÜN, A. Semi-automated approaches to site recording and modeling. Paper presented in XIX International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5/1, p. 309-318, Amsterdam, 2000.

JAIN, R.; KASTURI R.; SCHUNCK B. G. *Machine Vision*. New York: MIT Press and McGraw-Hill, Computer Science Series, 1995.

KABOLIZADE, M., EBADI, H., AHMADI, S. An improved snake model for automatic extraction of buildings from urban aerial images and LiDAR data. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 34, p. 435-441, 2010.

KATARTZIS, A.; SAHLI, H. A Stochastic Framework for the Identification of Building Rooftops using a single Remote Sensing Image. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, v. 46, p. 259-271, 2008.

LAFARGE, F.; DESCOMBES, X.; ZERUBIA, J.; PIERROT-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, p. 365-17, 2008.

MÜLLER, S.; ZAUM, D. W. Robust building detection in aerial images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v.36, p. 143-6, 2005.

NETRAVALI, A. N., HASKELL, B. G. *Digital Pictures: Representation, Compression and Standards*. Springer US, 1995.

SOHN, G. Extraction of buildings from high-resolution satellite data and lidar. Paper presented in XX ISPRS CONGRESS, Istanbul, Turkey, 2004.