

# MODELAGEM DE EDIFICAÇÕES UTILIZANDO IMAGENS DE ALTIMETRIA

DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS<sup>1</sup>  
ÁLVARO LIMA MACHADO<sup>1</sup>  
JORGE SILVA CENTENO<sup>1</sup>  
QUINTINO DALMOLIN<sup>1</sup>  
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UFPR - Universidade Federal do Paraná  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
Centro Politécnico – Paraná, Brasil  
{ddsantos;centeno;dalmolin@geoc.ufopr.br}

<sup>2</sup>UNESP - Universidade Estadual Paulista  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas  
Presidente Prudente - SP, Brasil  
tomaseli@prudente.unesp.br

**Abstract.** Automatic building detection and extraction is a topic of growing interest, due to the potential applications, such as cadastral information, cartographic updating, GIS and others. One of the existing strategies for building extraction is the use of the Digital Surface Model (DSM) that is cloud of known points of the visible surface, like trees or buildings. Surface modeling using Stereo-Matching presents some drawbacks, such as the effects of perspective, shadows and occlusions due to building height. Laserscanning is a recently developed technologic tool to collect high precise and well-distributed surface models. The aim of this paper is to present a methodology for building detection, combining an region growing algorithm and line detection methods applied over the DSM.

**Keywords:** Laserscanning; Building Extraction; Feature extraction; DSM.

## 1. Introdução

As elevações de maior interesse para planejamento de áreas urbanas são as edificações. Sua modelagem tridimensional permite aplicações em atualização, cadastro, locação de antenas de rádio e telefonia entre outras. Para representar, na forma digital, as elevações contidas no terreno (superfície física) é necessário gerar o MNE (Modelo Numérico de Elevações), que trata dos pontos que representam as elevações contidas na superfície.

Os efeitos de perspectiva, causados pela geometria da fotografia, sombra, altura das edificações entre outros, dificultam a modelagem correta do MNE por meio de algoritmos de correlação automática de imagens (Santos, 2002). O avanço da tecnologia vem permitindo o desenvolvimento de ferramentas para mapeamento direto da superfície do terreno, bem como das elevações contidas no mesmo (árvores e edificações). O sistema Laserscanning é uma tecnologia emergente que vem suprindo tais necessidades, ainda em fase de testes no país.

O sistema Laserscanning fornece dados a respeito da altura dos objetos existentes na superfície utilizando feixes de laser. Esses dados são quantizados em nível de cinza e representados por meio de uma imagem digital. Os dados assim obtidos possibilitam uma grade de elevações onde os objetos presentes na superfície são representados em função de sua altitude. Com isto, é possível identificar edificações (Ribeiro et al. 2002). Mais ainda, torna-se possível deduzir informações a respeito da forma dos telhados. O objetivo deste trabalho é modelar edificações, através de uma metodologia que ajusta planos aos valores digitais, assumindo que os telhados formam planos inclinados acima do terreno. Para isto, um algoritmo de crescimento de regiões baseado nos parâmetros do plano, que considera uma

base bidimensional da edificação, obtida por meio de um processo de extração de feições, é implementado.

## 2. Determinação de Imagens de Altimetria

O sistema Laserscanning gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície, num curto período de tempo. Este sistema é composto por três componentes principais: GPS (*Global Positioning System*), SMI (Sistema de Medida Inercial) e o Laser (Wehr e Lohr, 1999). Seu princípio de operação é bastante simples. O sistema emite pulsos laser que atingem o objeto e retornam à antena. Medindo a distância entre o sensor e o objeto iluminado, torna-se possível estimar a distância entre o sistema e o objeto, através do tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso.

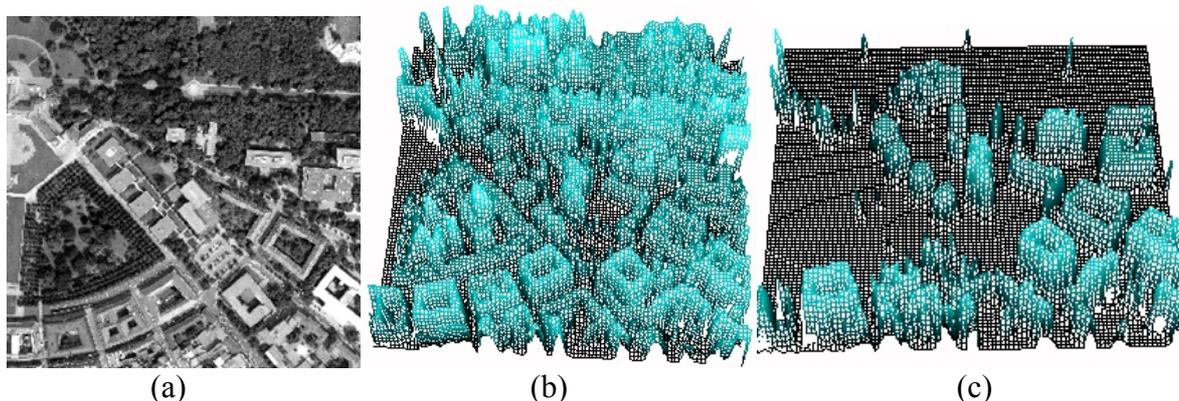
Existem dois tipos de sistemas de varredura laser, isto é, sistema estático e dinâmico. As imagens utilizadas neste trabalho são oriundas de sistemas dinâmicos, por isso será apresentado apenas o funcionamento deste tipo de sistema. O sistema dinâmico utiliza um feixe ótico de alta potência e bem direcionado, coerente no espaço e no tempo, para garantir a qualidade da medição da distância, e funciona em princípio como um medidor de distâncias.

A posição do sensor no momento da medição de cada ponto é determinada mediante um sistema de GPS diferencial (dGPS). Um segundo sistema de apoio, a unidade de medição de inércia (SMI) é encarregada de calcular a inclinação do sensor nas três direções (*roll, pitch, heading*).

Na prática, segundo (Wehr e Lohr, 1999), conta-se com sistemas com precisão menor que 10 cm em posição e menor que  $0.02^\circ$  em atitude. O conjunto de medições de apoio (dados do SMI; e dados do dGPS), são medidos e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema laser.

Ao atingir a superfície dos objetos, o feixe é refletido e um pulso retorna ao sistema. O sistema mede o pulso e registra o tempo decorrido entre a emissão e a captação do mesmo. O dado mais relevante é o tempo decorrido entre a emissão e o registro do pulso, que permite calcular a distância entre o sensor e o objeto.

Para os objetivos deste trabalho, as imagens de altimetria utilizadas foram adquiridas pela empresa Toposys. A figura 1 mostra as imagens do primeiro e o último pulso do laser na cidade de Karlsruhe, localizada na região sudoeste da Alemanha.



**Figura 1** - (a) Fotografia aérea; (b) Imagem 3D de dados laserscanning do primeiro eco; (c) Imagem 3D do último eco.

As imagens de altimetria são obtidas através de um processo de quantização dos dados brutos em escala de níveis de cinza. As edificações aparecem em ambas imagens (figura 1b e 1c). Isto se deve ao fato de que o primeiro e o último eco coincidem. No caso das vegetações

o mesmo não ocorre, pois o primeiro eco corresponde ao topo da vegetação, enquanto que o último é causado pelo terreno, uma vez que parte do pulso emitido consegue penetrar a vegetação (figura 1c).

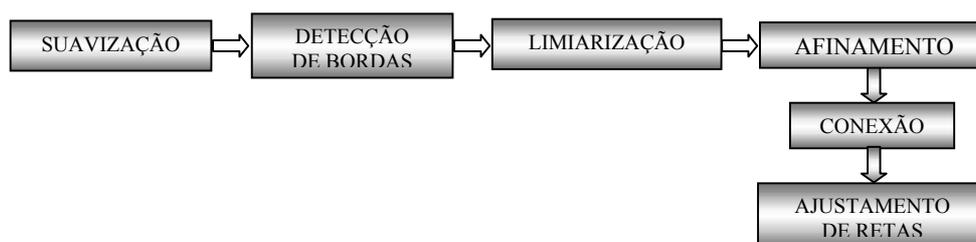
### 3. Extração de Feições de Base

As edificações são as feições mais importantes no planejamento urbano, porém, sua modelagem por meio de algoritmos de correlação automática de imagens é um processo muito complexo, devido à presença de sombras, geometria perspectiva e outras características que dificultam o processo (Santos, 2002). Além disto as formas das edificações são bastante diversificadas, (cumes planos, com duas ou mais águas, entre outros tipos) dificultando também, a definição de um fluxo computacional robusto.

Com a utilização da tecnologia Laserscanning é possível modelar as edificações, pois a mesma fornece dados altimétricos dos objetos presentes na superfície.

Neste trabalho é utilizada uma técnica de crescimento de regiões baseada em parâmetros do plano, com apoio de um plano de base, para a modelagem de telhados de vários tipos (plano, duas águas ou várias águas).

Para a determinação do plano de base utiliza-se uma seqüência de etapas para extrair semi-automáticamente as feições existentes na imagem de altimetria (figura 2).

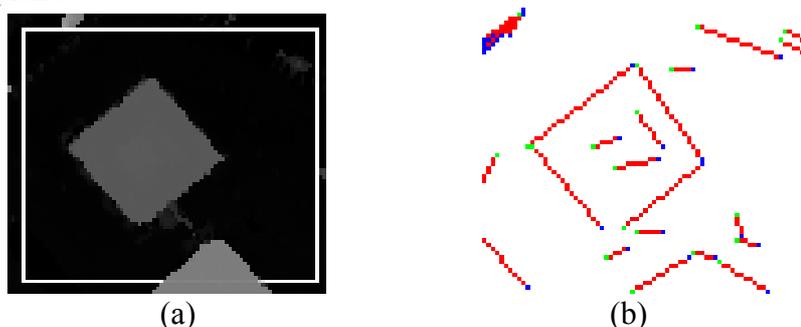


**Figura 2** - Seqüência utilizada para extração de feições (Artero, 1999) e (Tommaselli, 1999).

### 4. Crescimento de Regiões

Trata-se de um procedimento que agrupa pixels que apresentam características semelhantes. Neste processo, inicialmente um pixel pertencente à região a ser segmentada é fornecido (pixel semente) e a partir deste se inicia todo o processo de agregação (crescimento) anexando a ele os pixels vizinhos com características similares (Gonzales e Woods, 2000).

Existem vários métodos para crescimento de regiões, tais como, método da divisão e fusão, método da perseguição de contorno etc. Neste trabalho é utilizada uma técnica que combina as retas extraídas semi-automáticamente (figura 3) com a determinação dos parâmetros do plano.

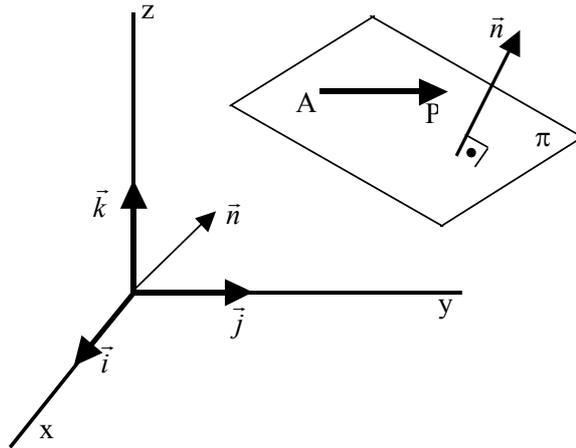


**Figura 3**– (a) Recorte de uma edificação com telhado plano dado pela imagem de altimetria. (b) Retas extraídas semi-automáticamente.

## 5. Determinação de Pontos em um Plano

Considerando  $A(x_1, y_1, z_1)$  um ponto pertencente a um plano  $\pi$  e  $\vec{n} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$ , com  $\vec{n} \neq (0,0,0)$  um vetor normal (ortogonal) ao plano. O plano  $\pi$  pode ser definido como sendo o conjunto de todos os pontos  $P(x, y, z)$  do espaço tais que o vetor  $\vec{AP}$  é ortogonal a  $\vec{n}$  (figura 4). O ponto  $P$  pertence a  $\pi$  se, e somente se:

$$\vec{n} \cdot \vec{AP} = 0 \quad (01)$$



**Figura 4**– Representação do vetor  $\vec{AP}$  ortogonal a  $\vec{n}$  (Steinbruch e Winterle, 1987).

Tendo em vista que  $\vec{n} = (a, b, c)$  e  $\vec{AP} = (x - x_1, y - y_1, z - z_1)$  a equação (01) assume a seguinte forma:

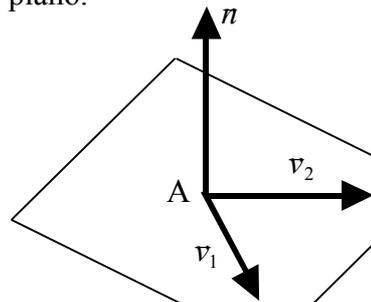
$$ax + by + cz + d = 0 \quad (02)$$

Onde,

$$d = -ax_1 - by_1 - cz_1 \quad (03)$$

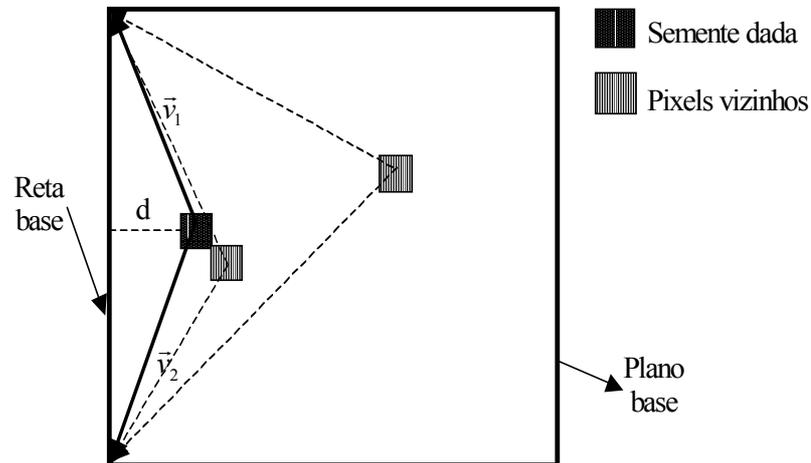
A (02) é a equação geral ou cartesiana do plano  $\pi$ . É importante observar que os 3 parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  da equação geral do plano representam as componentes de um vetor normal ao plano. O vetor  $\vec{n}$  é também normal a qualquer plano paralelo a  $\pi$  (Steinbruch e Winterle, 1987).

Existem várias formas para a determinação de um plano considerando pontos e vetores normais, tais como, o plano é determinado se passa por um ponto  $A$  e é paralelo a dois vetores  $\vec{v}_1$  e  $\vec{v}_2$  não colineares, onde neste caso  $\vec{n} = \vec{v}_1 \times \vec{v}_2$ . A figura 5 representa o ponto e os vetores normais para a determinação do plano.



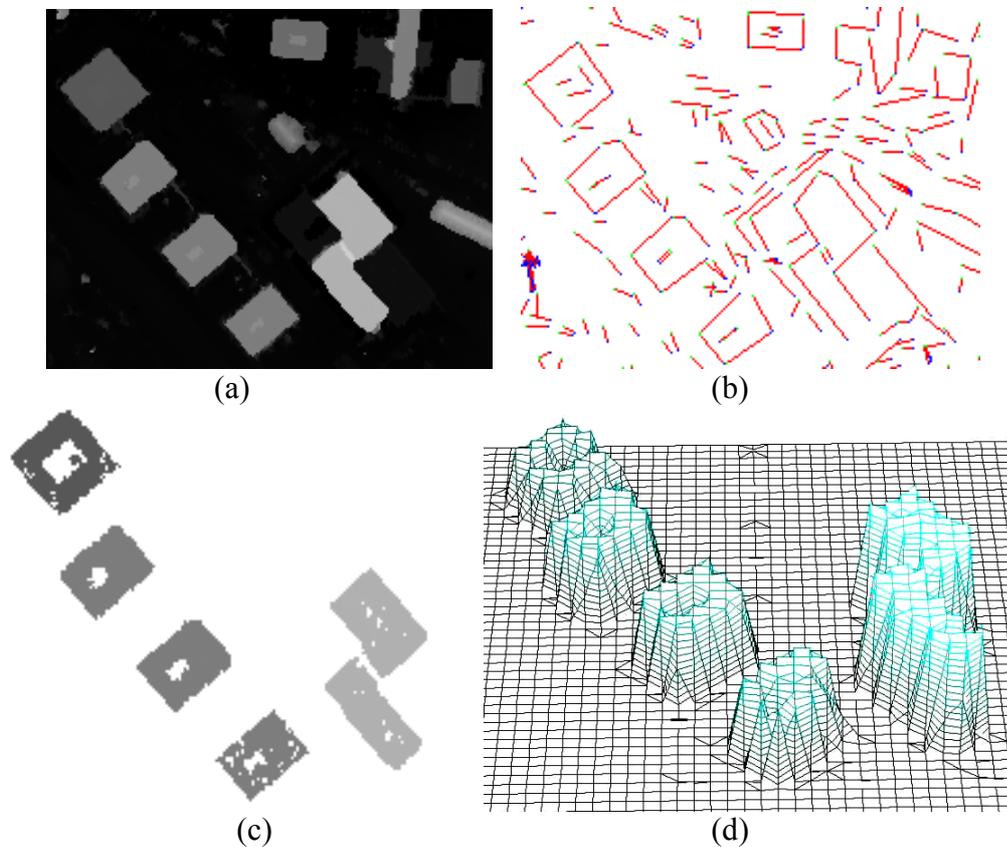
**Figura 5** – Ponto e vetor normal para determinar o plano.

Para determinar os pontos que pertencem ao plano requerido, o operador lança um ponto semente sobre o telhado que se deseja modelar. O algoritmo busca a reta base mais próxima do ponto dado e a mesma é utilizada para determinar se os pontos vizinhos devem ser agregados ou não ao ponto semente (figura 6). Para isto, são calculados os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  dados na equação (02).



**Figura 6** – Verificação da agregação dos pixels vizinhos ao plano.

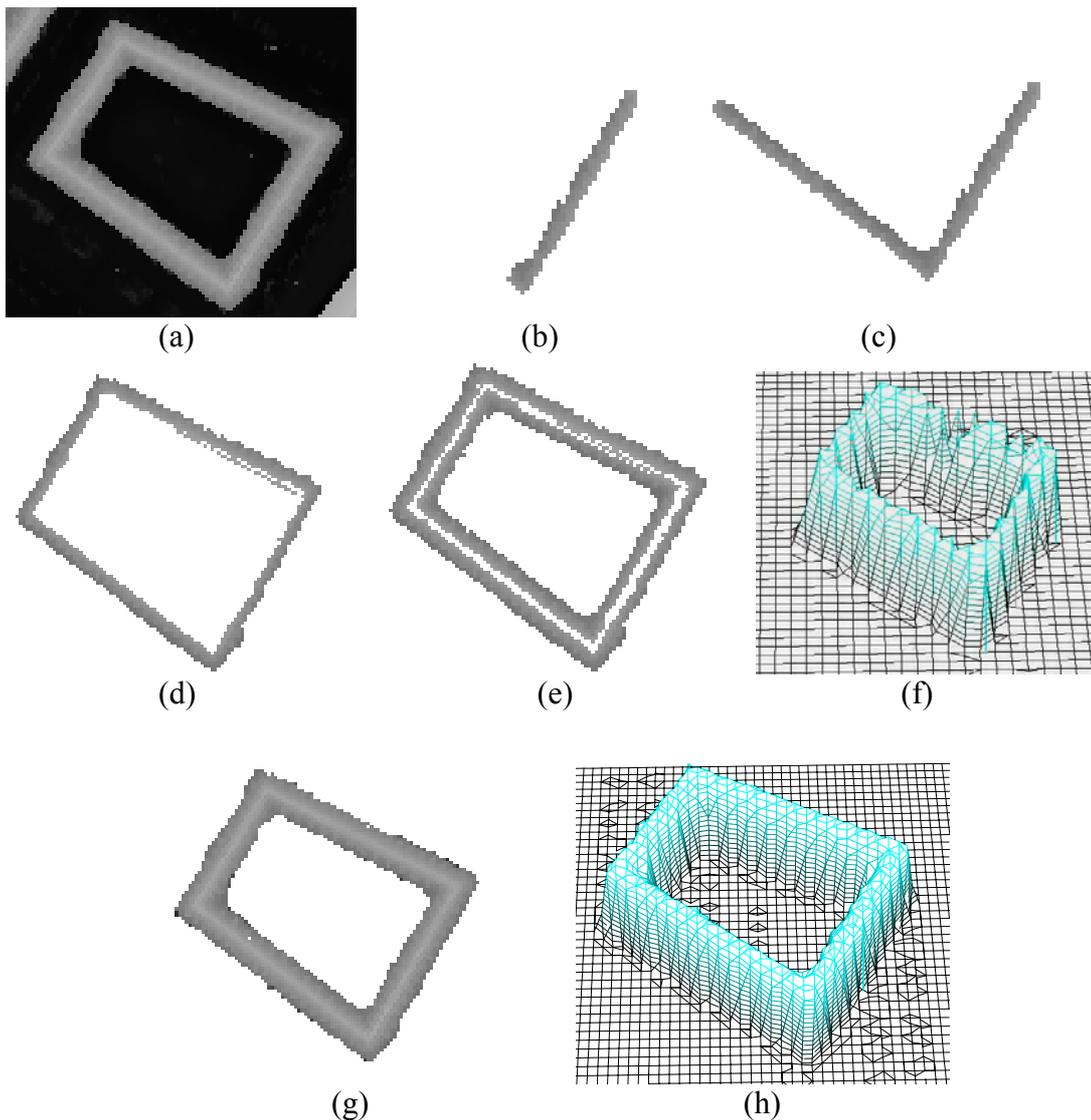
Um limiar, dado pela distância euclidiana entre os parâmetros calculados, define se os pixels vizinhos que devem ser agregados ou não ao pixel semente (figura 7).



**Figura 7-** (a) Imagem de altimetria; (b) Feições extraídas semi-automáticamente; (c) Telhados planos modelados; (d) telhados planos modelados tridimensionalmente

Analisando as figuras 7b e 7c, verifica-se que a eficiência do algoritmo de crescimento de regiões baseado nos parâmetros do plano (modelagem 3D das telhados) depende do processo de extração semi-automática de feições, pois a técnica utilizada baseia-se nos planos de base. Desta forma, não é possível modelar telhados que não são detectados pelo algoritmo de extração de feições.

No caso de telhados com estruturas mais complexas exige um certo cuidado com sua modelagem, pois quanto maior o limiar pré-definido maior será a variação de inclinação dos telhados (parâmetros a, b e c). A figura 8 apresenta uma edificação com telhado de várias águas e sua modelagem.

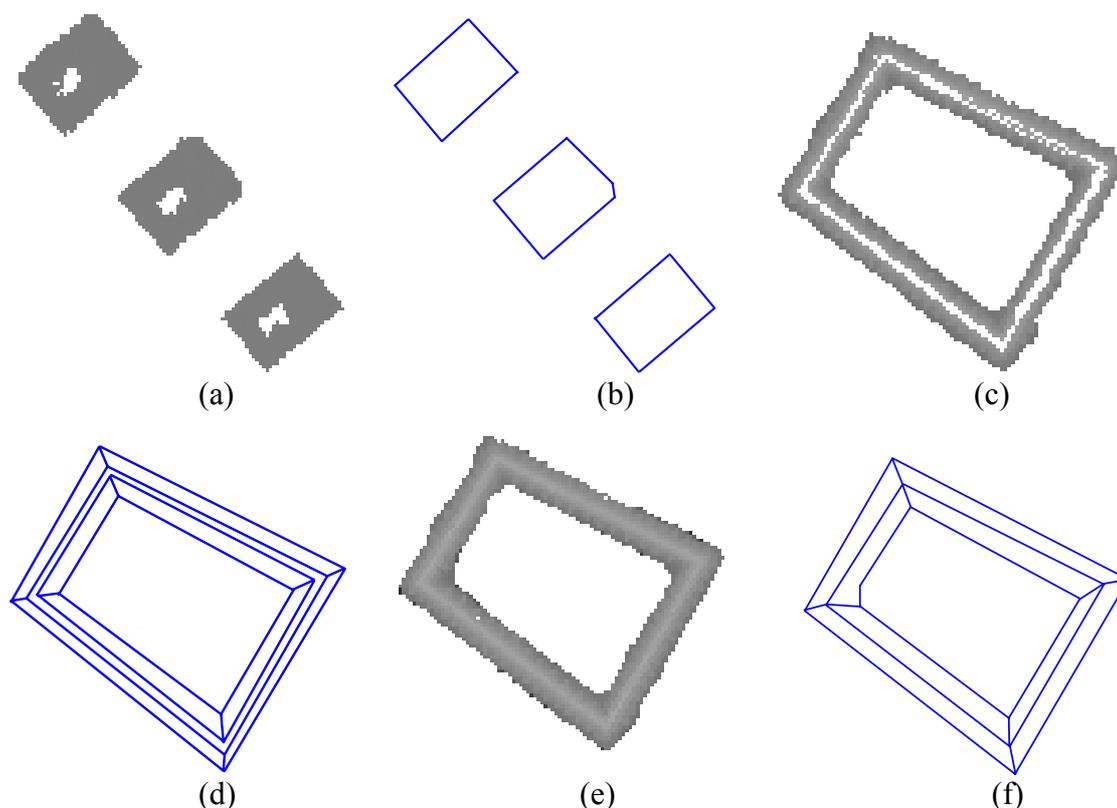


**Figura 8**– (a) Imagem de altimetria de uma edificação com telhado de várias águas; (b) Modelagem de uma das bordas internas da edificação; (c) Modelagem de duas bordas internas; (d) Modelagem externa do telhado; (e) Modelagem do telhado; (f) Modelo da edificação; (g) Resultado melhor da modelagem do telhado; (h) Modelagem 3D da edificação.

Analisando-se a figura 8e, verifica-se visualmente que, o algoritmo de crescimento de regiões baseado nos parâmetros do plano fornece um bom resultado considerando um telhado

de várias águas. Uma imagem de altimetria com uma melhor resolução, ou seja, de escala maior (1:6000, por exemplo) melhoraria a eficiência do algoritmo e o resultados do crescimento de regiões, inclusive na cumeeira da edificação.

Uma vez modelados os telhados, é necessário aplicar um ajustamento dos planos ajustados (método MMQ), para que posteriormente seja realizada a reconstrução 3D vetorial da construção (Haala e Brenner, 1999). A reconstrução vetorial será realizada mediante a aplicação do algoritmo de extração de feições na edificação segmentada e realizando o fechamento dos polígonos (processo de intersecção de retas) (Santos e Tommaselli, 2002). A figura 9 apresenta algumas partes do telhado de uma edificação de várias águas reconstruídas vetorialmente, porém ainda sem os planos ajustados.



**Figura 9** – (a) Telhados planos segmentados; (b) Reconstrução vetorial do telhado plano; (c) Telhado de várias águas segmentado; (d) Reconstrução vetorial; (e) Segmentação realizada com um limiar maior; (f) Reconstrução vetorial após uma segmentação mais eficiente.

As figuras 9b e 9d, apresentam as edificações modeladas vetorialmente. Para a reconstrução 3D das edificações deve-se considerar os valores de altura das mesmas, dadas pela imagem de altimetria no processo de crescimento de regiões. A figura 9e mostra o telhado de várias águas com uma segmentação melhor, pois definiu-se um pré-limiar maior fazendo com que o algoritmo seja mais eficiente.

## 6. Conclusão

Este trabalho apresentou uma técnica para extração automática de edificações utilizando os métodos de crescimento de regiões baseada nos parâmetros do plano e retas como plano de base. De acordo com os experimentos realizados, pode-se constatar a eficiência desta técnica para modelagem de edificações de qualquer tipo e forma.

O processo de integração do plano de base, obtido pelo algoritmo de extração de feições, e do MNE mostra-se uma técnica que fornece bons resultados na segmentação e modelagem das edificações. O algoritmo ainda não se encontra com todas as etapas implementadas pretendendo-se em trabalhos futuros complementar as ferramentas necessárias e realizar a reconstrução vetorial 3D das edificações.

### **Agradecimentos**

Os autores gostariam de manifestar seus agradecimentos à Universidade de Karlsruhe da Alemanha, por fornecer as imagens de altimetria.

### **Referências**

Artero A., O., Técnicas para a extração automática de feições retas em imagens digitais. Dissertação de Mestrado –Universidade Estadual Paulista, FCT, Presidente Prudente, pp. 117, 1999.

Gonzalez Rafael, C.; Woods Richard, E. Processamento de imagens digitais. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

Haala, N.; Brenner, C. Interpretation of urban surface models using 2D building information. Computer Vision and Image Understanding. Vol. 72, n. 2, November, pp. 204-214, 1999.

Ribeiro, S. R. A; Santos, D. R.; Centeno, J. S. Aplicação da Metodologia de Dados Orientado a Objeto na Classificação de uma Área Urbanizada, Utilizando uma Imagem Digital Obtida por Meio da Tecnologia do Laser Scanner. Presidente Prudente, jul. 2002. *Anais: Presidente Prudente: UNESP – I Simpósio Brasileiro de Geomática*, 2002. p. 144-149.

Santos R., D. Extração semi-automática de edificações com análise do modelo numérico de elevações. Dissertação de Mestrado –Universidade Estadual Paulista, FCT, Presidente Prudente, pp. 108, 2002.

Santos R., D.; Tommaselli A. M., G.. Extração semi-automática de edificações com uso do MNE. Boletim de Ciências Geodésicas, 2002.

Steinbruch, A.; Winterle, P. Geometria analítica. São Paulo. 2 ed. McGraw-Hill. Pp. 292, 1987.

Tommaselli A. M., G. Extração automática de feições lineares em imagens digitais para aplicações cartográficas. Relatório de bolsa de produtividade em pesquisa CnPq, pp. 41, 1999.

Wehr, A.; Lohr, U. Airborne laser scanning – an introduction and overview. *Isprs Journal of Photogrammetric and Remote Sensing* v. 54, op 68-82, 1999.