

2 Trabalhos Relacionados

A extração de edificações é uma tarefa complexa. As técnicas de extração de MDS convencionais, como por exemplo o *Least-squares Matching* – LSM (Grün, 1985; Grün & Baltsavias, 1987), fornecem um mapa denso de uma determinada região. Entretanto, esses métodos aplicados em áreas urbanas mostram-se ineficazes no sentido de não conseguir obter corretamente o formato das edificações, uma vez que essas técnicas foram desenvolvidas para serem aplicadas em diversos tipos imagens estéreo. Além disso, o MDS gerado é uma “massa de dados” sem qualquer identificação dos objetos presentes na cena.

De modo a melhorar os resultados de extração do MDS em áreas urbanas, as pesquisas voltaram-se especificamente para a identificação e extração 3D de edificações. Em geral elas se concentram em resolver casos para um determinado tipo de região e em detectar e extrair partes das edificações, como telhados e fachadas. Algumas pesquisas utilizam apenas uma imagem para fazer a extração das edificações; outras utilizam múltiplas imagens e também imagens estereoscópicas. Em alguns trabalhos, dados cadastrais e feições cartográficas extraídas por um operador humano são utilizados como pista para a detecção de edificações. Também se utiliza o MDS obtido fotogrametricamente ou por RADAR ou perfilamento a LASER, na tentativa de fornecer informações que ajudem na tarefa de extração de MDS.

Segundo Flamac, Maillet e Jibrini (2003), diferentes técnicas podem ser empregadas na reconstrução 3D: organização perceptual (Nevatia & Price, 2002), agregação hierárquica (Fischer, 1998), modelos paramétricos (Weidner, 1996) e abordagem estrutural (Fuchs, 2001). Em vista da impossibilidade de se discorrer exaustivamente sobre o tema, este capítulo limitar-se-á a apresentar algumas das abordagens mais relacionadas com o método proposto neste trabalho.

2.1 Reconstrução 3D baseada em telhados

Os trabalhos apresentados nesta seção baseiam-se na extração de edificações através da detecção das linhas de contorno dos telhados e no emprego de teste de

hipóteses através de modelos 3D de telhados pré-definidos.

O ARUBA (Henricsson & Baltsavias, 1997) é um sistema para a reconstrução automática de telhados de construções a partir de imagens aéreas de alta resolução e foi desenvolvido para a reconstrução de classes genéricas de tipos de telhados com alta acurácia métrica. A estratégia emprega fragmentos planos 3D, montados de forma a completar os telhados. Um fragmento geral 3D é não-vertical, estritamente plano e inclui um fechamento de polígono 2D com atributos fotogramétricos e cromáticos similares em torno de suas bordas. O ARUBA baseia-se na geração de hipóteses hierárquicas tanto em agrupamentos 2D como em 3D, e na modelagem de objetos e cores. Os autores afirmam que a regularidade geométrica, embora importante, não pode servir como base sólida para a extração de estruturas complexas, para as quais não existem modelos genéricos.

O sistema proposto por Nevatia e Huertas (1997) é restrito a formas geométricas retilíneas com telhados planos. O sistema também permite uma interação humana por meio da qual os resultados da extração automática podem ser melhorados com relativamente poucas e simples intervenções antes e depois do processo automático. A abordagem utiliza os limites geométricos e projetivos de forma, ao criar hipóteses para detectar a presença de topo de edifícios a partir de feições de baixo-nível e faz a verificação através de algumas pistas em 3D. O sistema é restrito a prédios retilíneos com topos planos, projetando-se em composições de paralelogramos. O sistema utiliza a evidência de sombras e paredes para verificar as estruturas em 3D.

O sistema proposto por (Frère et al., 1997) utiliza quatro passos para a extração dos telhados: detecção de arestas através do algoritmo de Canny (1986) combinado com o ajustamento de retas e o crescimento de regiões a partir de regiões com propriedades cromáticas e fotométricas semelhantes; correlação de segmentos de retas e reconstrução 3D, baseados em dados da câmara; agrupamento 3D, com hipóteses e discussão de algumas características; e a modelagem final dos telhados.

Spreeuwiers, Schutte e Houkes (1997) propõem um modelo de extração de prédios a partir de múltiplas imagens. O sistema começa segmentando cada uma das imagens. No passo seguinte, melhora os segmentos extraídos através de um conhecimento prévio do formato esperado dos objetos. Em seguida, faz um teste

de hipóteses sobre o objeto extraído em cada imagem, terminando o teste de hipóteses com as múltiplas imagens. Por fim, estima os parâmetros dos segmentos, verificando o resultado final sobre todas as imagens.

Lin e Nevatia (1998) desenvolveram um sistema para detecção monoscópica de edificações. O sistema inicialmente aplica a detecção de contornos e extração de feições. Em seguida, geram-se hipóteses a partir do agrupamento das linhas detectadas, formando paralelogramos. A partir das hipóteses geradas, são escolhidos os paralelogramos com características mais próximas de telhados de prédios. Por fim, as hipóteses são verificadas através da inferência 3D e de uma análise final.

2.2 Detecção de edificações

Os trabalhos apresentados nesta seção baseiam-se na detecção de edificações a partir de técnicas de segmentação.

Jung, Jedynek e Geman (1997) propõem um método que utiliza conjuntos de treinamento contendo diversas imagens com amostras de prédios e do restante da cena. Segundo os autores, estes conjuntos fornecem informação suficiente para discriminar prédios na cena.

Müller e Zaum (1995) desenvolveram um modelo de detecção de prédios baseado em segmentação de imagens. Primeiramente os segmentos são extraídos da imagem através da técnica de crescimento de regiões. Em seguida, são extraídos atributos dos segmentos que servirão de base para a classificação final. Utilizam-se também informações cromáticas dos segmentos para discriminar telhados (vermelhos ou cinzas) de áreas de vegetação.

2.3 Reconstrução 3D a partir do MDS e de dados cadastrais

Os trabalhos apresentados nesta seção baseiam-se na reconstrução 3D com o auxílio de MDS obtidos através de técnicas convencionais e/ou de dados cadastrais obtidos através de restituição fotogramétrica.

O sistema desenvolvido por L  chervy, Louis e Monga (1997) utiliza informações sobre o MDS de forma a detectar a linha da cumeeira dos telhados. Primeiramente, o contorno das edificações é detectado através do método de Canny. Em seguida, a linha de cumeeira   reprojeta na imagem. Aplica-se um filtro de forma a eliminar dos contornos detectados resíduos provenientes da textura dos telhados. Os contornos de cada imagem do par estéreo são pareados através da linha de cumeeira reprojeta na imagem. A partir dos contornos homólogos, obt m-se a informação 3D da edificação.

Haala e Brenner (1997) fazem a reconstrução 3D através da segmentação aplicada diretamente sobre o MDS. Os autores apresentam uma interessante comparação entre o DSM obtido através de sensores LASER com o MDS proveniente de correlação de imagens. O método de segmentação empregado é baseado na direção dos vetores normais   superfície, extraindo os diversos planos de telhado. Os telhados são reconstruídos em 3D através de ajuste de modelos genéricos.

Taillander (2005) desenvolveu um sistema híbrido de detecção de telhados, baseado em dados cadastrais, MDS e modelos paramétricos. Na etapa inicial, o algoritmo faz uma simulação de planos para cada segmento do contorno cadastral. A partir da interseção dos planos, todos os modelos possíveis de prédios são montados e os modelos que estiverem em desacordo com alguns limiares serão podados. O melhor modelo é escolhido através da correlação entre o modelo em questão com o DSM obtido através do pareamento de imagens estereoscópicas.

Durupt e Taillandier (2006) desenvolveram um modelo de reconstrução de edificações utilizando o MDS e dados cadastrais. São duas as propostas de extração. Na primeira proposta, primitivas de planos são estimadas a partir de dois parâmetros: a altura da calha e a inclinação dos telhados. Já na segunda, as primitivas são extraídas diretamente dos limites oriundos dos dados cadastrais e do MDS, aplicando o método RANSAC (Fischler & Bolles, 1981). A segunda proposta apresentou resultados ligeiramente melhores que a primeira.

Chehata et al. (2008) propõem um modelo para filtrar e segmentar o MDS utilizando o algoritmo de agrupamento *K-means* (Hartigan & Wong, 1979) baseado nas alturas dos pontos. Segundo os autores, a técnica de *K-means* se adapta bem ao processamento de dados LIDAR, onde diferentes atributos podem ser utilizados dependendo do tipo de classe desejado. Os atributos podem ser

geométricos ou de textura quando o dado for uma nuvem de pontos 3D ou espectral, no caso de combinar imagens com dados LIDAR.

2.4

Extração 3D em assentamentos informais

Os trabalhos apresentados nesta seção introduzem uma idéia geral sobre as pesquisas de extração 3D de edificações em áreas de assentamentos informais.

Mason e Baltsavias (1997) desenvolveram uma estratégia para extração de edificações em áreas de assentamentos informais típicas do continente africano, através da utilização de um gráfico de análise dos componentes principais (PCA) para a detecção de sombras, telhados, solo, etc. Em conjunto com isso, eles utilizam um MDS subtraído do MDT de forma a encontrar “bolhas” que indiquem possíveis locais de edificações.

Rüther et al. (2002) desenvolveram uma técnica de extração de edificações em área de assentamento informal, com experimentos realizados na África do Sul e Tanzânia, onde o Modelo Digital de Elevações é utilizado como aproximação inicial na localização das construções e os contornos iniciais dos objetos são determinados. Em seguida aplica-se a técnica de *Snakes* (Kass et al., 1988) de forma a refinar o resultado da extração dos contornos das edificações. Mayunga (2006) desenvolveu uma técnica similar, onde o operador fornece a semente inicial, geralmente no centro da edificação, e através da técnica de *Snakes*, os contornos das edificações são obtidos.

Hurskainen e Pellikka (2004) realizaram um trabalho de extração de edificações em áreas de assentamento informal no Quênia, baseado em uma técnica de segmentação multi-resolução, através do uso do *software* eCognition.

Outro trabalho foi realizado por Brito et al. (2008), onde utilizou-se o método de extração automática LSM na reconstrução 3D de edificações de uma área de assentamento informal no Brasil, a partir de uma série temporal de imagens (de 1975 a 2008), com o objetivo de estimar o crescimento populacional da área estudada.

2.5

Trabalhos de reconstrução de edificações 3D no Brasil

Os trabalhos apresentados nesta seção introduzem uma idéia geral sobre as pesquisas de extração 3D de edificações típicas dos grandes centros urbanos brasileiros.

Santos (2002) propôs um modelo de extração semi-automática de edificações com análise do modelo numérico de elevações. O modelo foi aplicado em edificações isoladas. Inicialmente, os contornos das edificações são obtidos. Em seguida, aplica-se o método de varredura e rotulação para a conexão dos pontos de modo a formar retas. O MDS é aplicado às linhas detectadas de forma a eliminar as linhas insignificantes. As retas são interceptadas de forma que as estruturas retangulares com o tamanho esperado para o topo do prédio sejam mantidas.

Falat (2005) apresenta um estudo para a detecção de construções clandestinas, aplicado ao município de Ibitité (MG), através de Modelos Digitais de Superfície obtidos através de perfilamento a LASER (LIDAR).

Machado (2006) apresenta um método para a detecção de contorno de edificações, a partir da integração de imagens tomadas por câmara digital de pequeno formato e dados LIDAR. O método baseia-se na segmentação da "imagem" LIDAR, agrupando regiões com cores semelhantes, ou seja, valores de Z semelhantes.

Demarqui (2007) desenvolveu um sistema para a determinação monoscópica automática da altura de edifícios em fotografias aéreas digitais, baseando-se no deslocamento radial dos pontos projetados no plano-imagem e na geometria formada no momento de obtenção da fotografia aérea. Na primeira etapa realiza-se a redução do espaço de busca através da detecção das sombras projetadas pelos edifícios, gerando sub-imagens das áreas no entorno de cada sombra detectada. Na seqüência, é realizada a extração de bordas e conexão dos pixels destas sub-imagens. As bordas são analisadas de forma a determinar qual par da extremidade da aresta representa a lateral do prédio.

Galvanin (2007) desenvolveu sua Tese de Doutorado em extração automática de contornos de telhados de edifícios em um Modelo Digital de Elevação, utilizando Inferência Bayesiana e Campos Aleatórios de Markov. O

modelo recebe como entrada a nuvem de pontos resultante de perfilamento a LASER e converte os dados para uma malha regular. Em seguida, os dados são segmentados utilizando a técnica de divisão recursiva. Aplica-se então os campos aleatórios de Markov de forma a fundir regiões e por fim geram-se polígonos representando as regiões mais altas.

Polidorio (2007) propôs uma técnica para detecção e discriminação de elementos específicos em dados de imageamento aéreo em regiões urbanas, como sombra, vegetação verde, corpos d'água, rodovias pavimentadas e telhados de edificações. Além disso, o método propõe determinar o nível de elevação desses elementos, de forma a verificar se determinado elemento possui elevação ou está no nível do terreno.

Silveira et al. (2008) propuseram um método para a utilização da técnica de SIFT (Lowe, 2004) de modo a calcular automaticamente as sementes iniciais necessárias como ponto de partida no algoritmo de extração de MDS *Least-Squares Matching* (LSM) (Grün, 1985).

Brito et al. (2008) desenvolveram um método para avaliar o crescimento horizontal e vertical de uma região de assentamento informal no Brasil através da extração e comparação dos modelos digital de superfícies de uma série histórica de pares fotogramétricos, desde 1975 até 2008, envolvendo sensores aéreos e orbitais. O trabalho foi publicado no XXI Congresso do ISPRS em Pequim e concebido no contexto do projeto denominado “Monitoramento de Assentamentos e Florestas Brasileiras Através de Dados de Sensoriamento Remoto Multi-escala, Multi-temporal e Multi-dimensional. Multi-escala”. Este projeto resulta de uma parceria entre o Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto de Fotogrametria da Universidade de Hannover, da Alemanha. A partir deste trabalho, foi possível avaliar os problemas envolvidos na extração do Modelo Digital de Superfícies em áreas de assentamento informal e propor o método desenvolvido nesta Tese.

Thomás (2010) propôs um método de inferência populacional em áreas urbanas, através do cálculo do volume das edificações a partir de imagens IKONOS-2 e dados LIDAR, tendo como área de estudo a cidade de Uberlândia (MG). O método divide-se em duas partes: a reconstrução do modelo 3D e o cálculo da inferência populacional.

2.6

O método proposto

Esta seção apresenta o contexto no qual o trabalho proposto na Tese está inserido. Conforme mencionado no início deste capítulo, a tarefa de extração de edificações é complexa. Porém, quando se trata de assentamentos informais, esta complexidade é consideravelmente aumentada, ressaltando a importância dessa pesquisa.

O método proposto utiliza técnicas de detecção de edificações adaptadas a regiões de assentamentos informais brasileiros, localizando e obtendo uma melhor localização dos contornos dos topos das edificações em relação aos métodos convencionais. Assim, quando for executada a reconstrução 3D, os valores no espaço-objeto das edificações serão mais exatos. Além disso, cada edificação é identificada isoladamente, proporcionando assim a obtenção de aspectos semânticos no MDS gerado. Este método utiliza um MDS obtido através dos métodos convencionais (a intersecção espacial a partir de pares de pontos homólogos obtidos por correlação) como informação auxiliar para a identificação de edificações homólogas no par estereoscópico.

As técnicas de reconstrução 3D baseadas em telhados são focadas em regiões de edificações relativamente isoladas, isto é, separadas fisicamente umas das outras, contrastando com as regiões de assentamento informal, onde há uma grande quantidade de habitações próximas entre si. Este fato acarreta, como consequência, o aumentando da quantidade de contornos extraídos, o que dificulta a identificação das edificações. O emprego de tais técnicas na região em questão seria computacionalmente caro e ineficaz. Entretanto, verificou-se que a maioria dos telhados apresentava altura constante no caso das edificações em áreas de assentamentos informais brasileiros. Desta forma, em vez de utilizar técnicas de extração de contornos dos topos das edificações para a reconstrução 3D, foram utilizados os próprios segmentos de topo, gerados na etapa de detecção de topos de edificação para a reconstrução 3D das edificações. Além disso, o método de reconstrução 3D proposto não necessita de modelos de telhados pré-definidos. Também não há a necessidade da realização dos testes de hipóteses, obtendo-se assim o resultado da extração 3D em um tempo consideravelmente inferior em relação a esses métodos.