

1

Introdução

A partir dos meados do século XX, teve início um processo migratório da população rural para áreas urbanas, principalmente nos países em desenvolvimento. Alguns fatores podem explicar o fenômeno do êxodo rural, como o surgimento de maquinários que substituíram o trabalho manual e o monopólio de terras por parte dos grandes fazendeiros. Em busca de melhores oportunidades de vida, os trabalhadores rurais se viram forçados a procurar empregos nas grandes cidades. Entretanto, o crescimento urbano começou a não comportar mais o grande número de pessoas que chegavam dos campos e como consequência, começou a faltar empregos e moradias para essa população. Um dos fenômenos observados foi a construção de moradias informais de custo baixo, geralmente em áreas de risco, que não oferecem a infra-estrutura urbana básicas tais como saneamento básico, hospitais e demais serviços.

No contexto brasileiro, métodos convencionais de levantamento de informações como o Censo, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), são dispendiosos e se fazem com grandes intervalos de tempo, geralmente de 10 em 10 anos. Atualmente, existem recursos tecnológicos e conhecimento científico, tal como o Sensoriamento Remoto, que podem ser utilizados como auxílio para a estimativa de crescimento populacional (Liu & Clarke, 2002; Souza, 2003; Oliveira & Simões, 2005; Almeida et al., 2007; Brito et al. 2008; Thomás, 2010).

O Sensoriamento Remoto é a aquisição de informação sobre fenômenos ou objetos, através de sensores que não estão diretamente em contato com o objeto ou alvo (Lillesand & Kiefer, 2007). Há dois tipos de sensores remotos: os passivos e os ativos. Nos sensores ativos, os dados coletados são provenientes da radiação natural emitida ou refletida pelos objetos analisados. Como exemplos de sensores passivos tem-se a imagem fotográfica aérea. Nos sensores ativos, os dados coletados são provenientes da reflexão da energia gerada pelo próprio sensor sobre os objetos em análise. Os dados coletados por intermédio do uso de sensores do tipo RADAR e LASER são alguns exemplos de Sensoriamento Remoto ativo.

Por não haver a necessidade de contato com os objetos a serem analisados, o Sensoriamento Remoto apresenta uma grande vantagem em relação aos métodos

de estimativa populacional convencionais. A análise de regiões remotas ou de difícil acesso é viabilizada por esta tecnologia. Outro fato relevante diz respeito à redução de custos, uma vez que o deslocamento de pessoal para o levantamento desses dados é reduzido ou até mesmo eliminado.

Outro problema na questão de levantamento de dados de construções urbanas, principalmente nas áreas de assentamento informal, é que além do crescimento horizontal observado, há também o crescimento vertical. Isto se deve principalmente ao fato de que quando há saturação da ocupação do espaço horizontal, o crescimento passa a ser verticalizado. Neste caso, há necessidade de fazer uso de técnicas para a reconstrução do espaço-objeto a partir de imagens sensoriadas remotamente.

A Fotogrametria é a ciência que estuda a reconstrução do espaço 3D a partir de imagens 2D. A Fotogrametria Digital preocupa-se em automatizar a Fotogrametria, principalmente levando-se em conta que os equipamentos de computação hoje em dia permitem o rápido processamento do grande volume de dados que são gerados em consequência do avanço das técnicas de Sensoriamento Remoto. Um dos ideais que norteiam o desenvolvimento da Fotogrametria Digital é a criação de uma “máquina de mapeamento automático” (Schenk, 1999), capaz de reconhecer automaticamente as feições do terreno, tais como prédios, pontes e outras construções e extrair as formas do relevo da região a ser mapeada.

Este ideal constitui um desafio, uma vez que o espaço 3D não é em geral “bem comportado”. Ao contrário, o relevo da superfície terrestre apresenta-se com inúmeras descontinuidades, o que torna complexo o seu mapeamento de forma automática. Surgem então várias dificuldades, que exigem a interação homem-máquina em vários processos. Hoje em dia, pode-se dizer que o estado da arte em Fotogrametria Digital é o mapeamento semi-automático, ou seja, os métodos atuais ainda exigem a supervisão e eventual intervenção humana (Brito & Coelho, 2007).

1.1

Motivação

As técnicas de Fotogrametria aplicadas em imagens de Sensoriamento

Remoto apresentam-se com grande potencial de contribuição para a estimativa populacional, principalmente nas grandes cidades, através da obtenção dos modelos 3D do relevo do terreno e da geografia urbana.

A obtenção de um modelo de representação tridimensional de um cenário geográfico, como por exemplo, um Modelo Digital de Superfícies (MDS), atualmente se faz através de técnicas manuais ou semi-automáticas de feições, a partir de imagens sensoriadas remotamente.

A extração manual de feições é geralmente mais acurada e confiável que a automática, uma vez que métodos automáticos em geral não emulam com perfeição a habilidade do intérprete humano. Uma vantagem da extração manual é a obtenção de objetos rotulados, ou seja, a atribuição de semântica às feições detectadas. Como desvantagem, tem-se o elevado custo das medições manuais, que envolvem semanas ou até meses, dependendo da cena em questão e da escala de interesse para a representação.

A extração automática de feições, por sua vez, é mais rápida se comparada com o trabalho humano. Por seu intermédio pode-se construir modelos 3D do terreno em minutos ou poucas horas. Entretanto, no estado atual da arte, o resultado da extração automática apresenta algumas inconsistências, principalmente em áreas urbanas, onde o operador deve intervir na edição com considerável frequência. Além disso, boa parte dos métodos empregados na extração 3D gera uma massa de dados que não incorpora qualquer informação sobre a semântica do modelo gerado, somando-se ao fato de que podem apresentar falhas e deformações na geometria dos objetos extraídos, principalmente em áreas urbanas.

Estas limitações seriam parcialmente superadas, se fosse possível identificar individualmente as edificações existentes no cenário geográfico. Numa tal abordagem poder-se-ia explorar restrições quanto à geometria das unidades habitacionais, de modo a produzir MDS mais exatos.

A abordagem proposta nesta Tese segue esta linha e encontra grande potencial de aplicação especialmente em assentamentos informais de baixa renda (favelas), onde as unidades habitacionais têm uma geometria simples e onde se verificam elevados índices de expansão da área ocupada e, conseqüentemente, da população que vive nessas áreas. Apesar de já existirem técnicas de extração 3D mais eficientes do que a extração fotogramétrica convencional, como, por

exemplo, a obtenção do MDS através de perfilamento a LASER (LIDAR) (p.ex: Tomás, 2010), tais tecnologias apresentam alguns problemas como o elevado custo e o fato de não haver séries históricas. Diferentemente, há acervos de imagens fotogramétricas que datam de 20, 40 ou 50 anos.

A tabela 1.1 apresenta os custos para a aquisição dos dados a partir de diferentes sensores e dos processos fotogramétricos necessários para a obtenção do Modelo 3D em uma área urbana. Desta forma, o custo aproximado para a obtenção do MDS através do método fotogramétrico convencional, utilizando-se uma imagem com resolução espacial (ERT) de 0,25 m e um escala de 1:8000 é de R\$ 20.000,00 por Km². A partir de dados orbitais, este custo cairia para R\$ 5.500,00 por Km². Já no caso do perfilamento a LASER (LIDAR), o custo para a obtenção do MDS, utilizando-se uma resolução de 1 ponto por m², é de aproximadamente R\$ 16.000,00 e R\$ 22.800,00 caso esta resolução seja dobrada.

Serviço	Tempo de execução	Custo aproximado (R\$)
Aerolevantamento – Escala 1:8000, ERT 0,25 m	1 a 3 meses	15.000,00 / Km ²
Imagens de acervo fotogramétrica	-	25,00 / cada
Imagens fotogramétricas sensoriadas a nível orbital IKONOS-2	1 a 3 meses	180,00 / km ²
Imagens de acervo IKONOS-2	-	90,00 / km ²
Processamento fotogramétrico digital	1 a 4 semanas	5.000,00 / modelo estereoscópico
Restituição fotogramétrica digital	3 minutos	2,00 / edificação
Perfilamento a LASER com densidade de 1 ponto por m ²	1 semana	16.000,00 / km ²
Perfilamento a LASER com densidade de 2 pontos por m ²	1 semana	22.800,00 / km ²

Tabela 1.1: Tipos de Serviço, tempo de execução e custos das diversas etapas e tipos para a extração fotogramétrica 3D com base na área utilizada nos testes.

Fontes: Empresas Esteio, Engesat e IPP (2011).

1.2 Objetivos

O objetivo geral da presente Tese é propor um novo método para geração de MDS de edificações típicas de assentamentos informais de grandes conglomerados urbanos brasileiros, através da detecção individualizada dos topos das habitações em cada imagem de um par de imagens fotogramétricas digitais.

São objetivos específicos desta Tese:

- o Propor um método automático para a detecção individualizada de edificações em assentamentos informais, a partir de imagens de sensores remotos de alta resolução espacial;
- o Propor um método automático para o pareamento de edificações homólogas através das informações dos segmentos de topo detectados e com o auxílio de um MDS obtido através de técnicas convencionais;
- o Propor um método para a reconstrução 3D das edificações detectadas e pareadas;
- o Avaliar o método proposto em uma área específica de assentamento informal brasileiro; e
- o Construir um aplicativo de *software livre* que implemente o método proposto, beneficiando futuros pesquisadores.

O método proposto pressupõe que o sensor óptico utilizado possua resolução espacial compatível com as dimensões físicas das edificações a serem reconhecidas. Em nosso trabalho admitiu-se que as unidades habitacionais possuam área de pelo menos 25 m². Os experimentos que validaram a presente proposta utilizaram imagens analógicas, onde foram digitalizadas com resolução espacial de 0,3 m.

1.3 **Inovações da Tese**

O presente trabalho também estende o algoritmo de Müller e Zaum (2005), concebido para a realidade da Europa Central, adaptando-o às características próprias de assentamentos informais brasileiros. Dessa forma, a presente Tese apresenta as seguintes novidades:

- o Um novo método para detecção de telhados que prescinde da informação de cor;

- o Um algoritmo que explora a informação de sombras para detecção de falsos positivos (edificações);
- o Um novo método para classificação de segmentos baseado em Análise Linear de Discriminantes;
- o A avaliação de diferentes algoritmos de segmentação para aplicação alvo; e
- o Um novo método para geração de um MDS da área alvo que explora a informação relativa às edificações detectadas.

1.4

Organização da Tese

Esta Tese está dividida em seis capítulos, a saber:

O capítulo 2 apresenta o estado da arte, bem como os principais trabalhos sobre extração do MDS e o contexto em que se insere esta Tese.

O capítulo 3 revisa os aspectos teóricos envolvidos, como as diversas etapas do Processamento de Imagens Digitais, Fotogrametria e os modelos matemáticos envolvidos na questão da reconstrução do espaço-objeto a partir de um par estereoscópico de imagens e os métodos clássicos de extração de um MDS.

O capítulo 4 apresenta o modelo proposto, descrevendo minuciosamente os passos envolvidos e como o segmentador de telhados se encaixa no contexto do modelo.

O capítulo 5 descreve os testes com o sistema implementado e analisa os resultados obtidos. São propostos diversos testes, com o objetivo de averiguar problemas na segmentação de telhados, no pareamento de feições homólogas, na detecção dos contornos das edificações, na geração do polígono envoltório e a validação dos resultados.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e propostas de trabalhos futuros.