

# Geração de Modelos digitais de Áreas urbanas

Márcia Codevilla de Moura <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Carlos Loch <sup>2</sup>

UFSC - Departamento de Engenharia Civil  
CEP: 88040-900 - Florianópolis – SC  
[loch@ecv.ufsc.br](mailto:loch@ecv.ufsc.br)  
[ecv3mcd@ecv.ufsc.br](mailto:ecv3mcd@ecv.ufsc.br)

**Resumo:** A geração de um modelo tridimensional da cidade possui grande importância, pelas aproximações que permite à realidade, tornando-se um suporte ao planejamento urbano, devido aos recursos que dispõe ao acompanhamento da evolução urbana e em análises de qualidade ambiental. A partir de uma revisão de literatura o presente artigo tem como objetivo descrever alguns métodos utilizados para geração de modelos digitais e também para obtenção da coordenada z para geração do modelo digital de superfície.

**Palavras-chave:** sistemas de informações geográficas, modelo tridimensional, modelo digital de superfície.

**Abstract:** The generation of a three-dimensional model of the city is covered of great importance, for the approaches that it allows to the reality, becoming a support to urban planning, due to resources that it disposes attendance of urban evolution and in environmental quality analyses. In this work made a literature revision regarding some methods used in the obtaining coordinate z for generation of urban three-dimensional models.

**Keywords:** geographical information system, three-dimensional model, digital surface model.

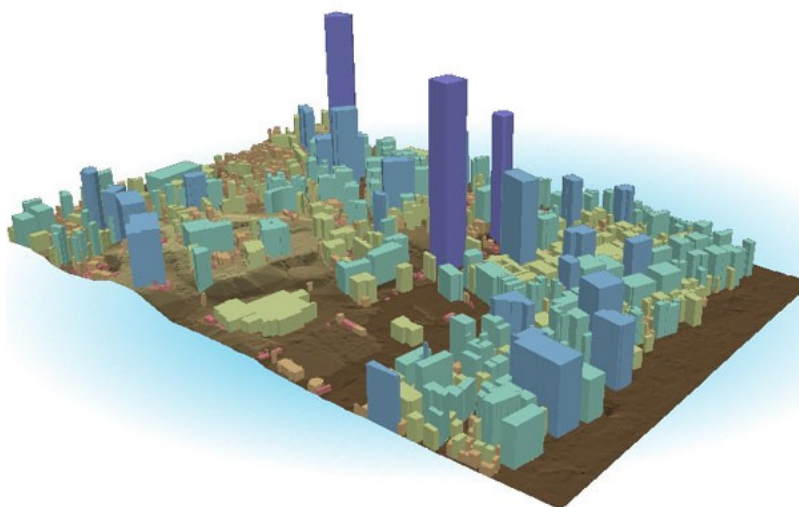
## 1. Introdução

Uma das abordagens utilizadas em SIG é a geração de modelos tridimensionais, os quais são muito úteis para análises de superfícies. Como exemplo, temos a análise de modelos digitais de superfície, a qual engloba funções como: visibilidade, estudo de fluxo em superfícies, construção de maquetes digitais, etc. No tocante ao planejamento urbano esses modelos podem ser utilizados como ferramentas auxiliares ao acompanhamento da evolução urbana, em análises de qualidade ambiental, na visualização dos impactos de novos edifícios e na construção de cenários.

Os modelos tridimensionais urbanos (Figura 1) pretendem ser a representação tridimensional do ambiente urbano, como uma parte do ambiente geral, constituída por edifícios e estruturas construídas pelo homem, em oposição ao campo e mundo natural. Um modelo 3D urbano consiste no modelo digital equivalente a uma cidade real, onde tem lugar a representação dos edifícios, passeios, outro tipo de estruturas aí existentes, assim como árvores e jardins (PEREIRA, MORGADO e GONÇALVES, 2004).

Segundo RANZINGER e GLEIXNER (1997), a visualização tridimensional dada pelo modelo, dá uma impressão mais realista ao usuário e ajuda a identificar áreas com problemas urbanos, que dificilmente seriam identificadas através dos mapas convencionais, além de permitir uma tomada de decisão mais rápida e eficiente.

Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre alguns métodos utilizados para geração de modelos digitais e também para obtenção da coordenada z para geração de modelos digitais de superfície.



**Figura 1** – Modelo digital de uma área urbana.

Fonte: [http://www.terramatrix.co.jp/product/e\\_03.html](http://www.terramatrix.co.jp/product/e_03.html)

## 2. Geoprocessamento

### 2.1. Sistemas de Informações Geográficas

De modo geral, um SIG pode ser considerado como um instrumento composto, de forma sistêmica e interativa, por um banco de dados (informação geográfica e não-geográfica), por um conjunto de programas (*software*) dedicados à execução de operações sobre os dados e equipamentos (*hardware*) e por pessoal capacitado a operá-los. São sistemas utilizados para armazenar, manipular e visualizar informações geográficas, que são organizadas sob a forma de uma base de dados espaciais, possuindo vastos recursos para análise e operações espaciais complexas, assim como recursos para simulação e otimização. Possuem capacidade para realizar análises complexas em dados geográficos, como estabelecer relações topológicas (conectividade, adjacência e proximidade) entre elementos gráficos, sendo este o grande diferencial entre os SIGs e os sistemas CAD (*Computer Aided Design*). O grande apelo do SIG surge da sua habilidade em integrar grandes quantidades de informação sobre o ambiente e prover um repertório poderoso de ferramentas analíticas para explorar estes dados.

Moreira (2001) afirma que um SIG possui duas características principais, ou sejam:

- permitir inserir e integrar, num banco de dados informações espaciais provenientes de diversas fontes tais como: cartográficas, imagem de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes e de MNT (Modelo Numérico de Terreno) e,
- também oferece mecanismo para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo da base de dados georreferenciada.

Segundo BURROUGH (1993), a principal característica de um SIG é a capacidade para transformar e combinar os dados originais (espaciais e não espaciais) com o objetivo de se determinar respostas às necessidades do planejamento.

O grande diferencial entre os SIGs e os pacotes gráficos (AutoCAD) é a sua capacidade em realizar análises espaciais complexas, ou seja, distribuições hipotéticas podem ser simuladas a partir de parâmetros definidos, enquanto modelos descritivos explanatórios e preditivos podem ser derivados CHOU (1997).

Dessa forma, o SIG é um suporte tecnológico para os trabalhos em planejamento urbano por permitirem armazenar, manipular e visualizar informações geográficas, que são organizadas sob a forma de uma base de dados espaciais e alfanuméricas, possuindo vastos recursos para análise, dinamizando a tomada de decisões.

Para que seja alcançado êxito no planejamento urbano é necessário que existam mapas e dados cadastrais que permitam a compreensão do espaço analisado. Um SIG não faz planejamento, mas antes é apenas um sistema de informações que dá suporte aos processos e ações de planejamento, subsidia a tomada de decisão e facilita a comunicação entre técnicos, analistas e cidadãos não envolvidos diretamente com planejamento, mas afetados por ele.

## 2.2. Sensoriamento remoto

Segundo NOVO (1992), sensoriamento remoto é "a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, naves espaciais, etc., com objetivo de estudar o ambiente terrestre através de registro das interações entre a radiação electromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas diversas manifestações".

De acordo com LOCH (2001) sensoriamento remoto é a captação a distância de registros, dados e das informações das características da superfície terrestre sem o contato direto.

Pode-se observar nas definições analisadas que sensoriamento consiste na aquisição de dados sobre objetos sem o contato físico com eles através de sensores que operam com diversos tipos de energia. Estes objetos de interesse, vegetação, culturas agrícolas, corpos de água, área urbana, além de outros, são genericamente denominados de alvos naturais. Estas informações de interesse são obtidas basicamente através do estudo da interação da radiação eletromagnética emitida por fontes naturais ou artificiais com estes alvos e registradas, sob a forma de imagens.

## 3. Modelos Digitais

Os modelos digitais são definidos por meio de um grande número de pontos plano-altimétricos que, normalmente, estão relacionados na forma de uma grade regular ou numa estrutura *Triangular Irregular Network* (TIN), Estes pontos dão origem a superfícies que, de acordo com a composição dos elementos ou feições integrantes, geram um modelo digital específico (ALEXANDRINI JUNIOR, 2005).

CHOU (1997) comenta que a análise de superfície engloba o estudo da distribuição de uma variável que pode ser representada como dados espaciais em terceira dimensão. Ou seja, além dos atributos locais da feição, ela envolve um terceiro atributo denominado de variável z, a qual representa a variação da superfície registrada num plano cartesiano. Como exemplo mais comum pode-se citar a elevação, porém outros tipos de dados podem ter a mesma característica tais como, precipitação, temperatura, concentração de determinado elemento no solo, etc.

Maune et al., 2001 citado por BRANDALIZE (2004) classifica os modelos digitais em:

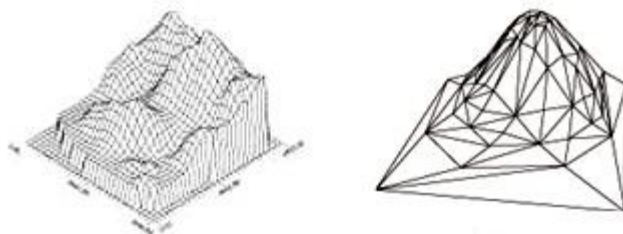
- Modelo Digital de Elevação (MDE): grade de valores de elevação (z) regularmente espaçada (em x e y), referenciada a um datum (horizontal e vertical) e a um sistema de coordenadas, que representa a superfície nua do terreno (exclui a vegetação e as feições artificiais).
- Modelo Digital de Terreno (MDT): similar ao DEM, incorpora valores de elevação (z) de feições topográficas importantes e irregularmente espaçadas (divisores de água, fundos de vale, estradas, pontos cotados) a fim de caracterizar melhor a superfície nua do terreno.
- Modelo Digital de Superfície (MDS): similar ao DEM e DTM, incorpora valores de elevação (z) das feições naturais e artificiais que se encontram acima da superfície nua do terreno, como edificações, árvores e torres de energia.

Vários são os métodos empregados na geração desses modelos, porém, os mais usados são os que utilizam grades (malha quadrada, triangular). O processo de geração de um modelo consta de três etapas: aquisição dos dados, edição dos dados e geração do modelo. Em sistemas vetoriais a variável z pode ser armazenada nas formas que se seguem, dependendo da natureza da fonte dos dados:

- ela pode ser representada por um conjunto de pontos distribuídos irregularmente;
- uma estrutura baseada no modelo matricial pode ser usada para representar uma superfície por meio de um conjunto de pontos distribuídos regularmente, denominado *lattice*;
- pode ser representada por um conjunto de contornos digitalizados como feições de linhas;
- e, também por meio de uma rede irregular triangulada (TINs).

Dentre os modelos disponíveis nos sistemas de informações geográficas para geração de MDE e MDS são as grades regulares e as grades triangulares.

As grades regulares ou *grid* são representações matriciais onde cada célula da matriz armazena as coordenadas de localização e um valor numérico associado, no caso valor de altitude (Figura 2a). No caso das grades triangulares também conhecidas por TIN, o modelo é uma representação do tipo vetorial (arcos e nós). Representa a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas, na forma de triângulos, onde cada nó do triângulo armazena as coordenadas de localização x, y e z (Figura 2b).



**Figura 2** – Grid (a) e TIN (b).

Fonte: CÂMARA, MONTEIRO, PAIVA, 2000

Dessa forma, os dados utilizados para a geração dos modelo tridimensionais são dados planialtimétricos (dados de altitudes do terreno e das feições de interesse e também, a delimitação das feições de interesse)

### 3.1. Obtenção da coordenada z das edificações

A geração de um modelo digital de superfície requer a obtenção das coordenadas xyz de todas as feições de interesse. Atualmente existem várias técnicas que podem ser utilizadas para extrair essas informações. Neste trabalho daremos maior ênfase no tocante a coordenada z.

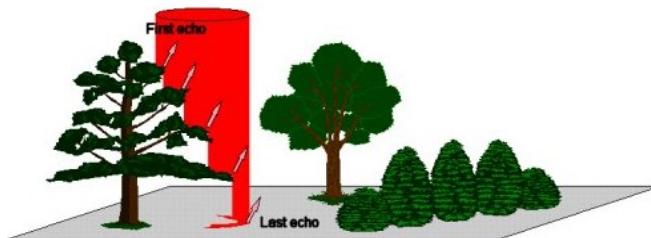
Dentre as diversas técnicas disponíveis para a obtenção da coordenada z das edificações destaca-se o *laserscanner*, a restituição fotogramétrica, técnicas topográficas como estação total ou GPS ou informações no cadastro das Prefeituras.

#### 3.1.1. Laserscanner

O *laserscanner* é um sistema de sensoriamento remoto ativo usado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. O princípio do sensor consiste na emissão de ondas na faixa laser do espectro eletromagnético. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser que é disparado em direção dos objetos refletido por eles e novamente captado pelo sistema. A partir do sinal de retorno e o tempo decorrido entre a emissão e o registro do eco, informações como a distância entre o sensor e o objeto podem ser calculadas. Utiliza uma faixa estreita do espectro, sendo comum à faixa operacional entre 800 a 1600nm. A faixa do espectro a ser utilizada é condicionada por questões de segurança, pois devido à alta potência da energia utilizada, o feixe pode ser nocivo para os olhos humanos (CENTENO, STEINLE e VÖGTLE, 2000).

A figura 3 mostra o princípio de ação dos feixes de laser. A energia emitida é refletida pelo solo (último pulso) ou o primeiro corpo (primeiro pulso) e recebida pelo sensor. Em objetos que não são completamente sólidos, a vegetação por exemplo, parte do feixe passa pelo objeto e é refletido posteriormente (último pulso). O laser scanner armazena dados tanto do primeiro como também do último retorno.

No entanto, com a difusão desta nova tecnologia em vários países, a aplicação inicialmente prevista para os dados laser, hoje está bem



**Figura 3** – Esquema mostrando o primeiro e último pulso

Fonte: <http://www.toposys.com>

diversificada. Uma delas é definição de volumes em áreas urbanas. Estes volumes, que compõem o MDS, podem ser facilmente distinguidos em um perfilamento a laser com uso de algoritmos desenvolvidos para este fim, sem determinar um acréscimo significativo de tempo ou custo (FALAT, 2004).

O *laserscanner* não mede a altura dos objetos mas somente a sua altitude, assim é necessário calcular, a elevação dos objetos em relação à topografia do terreno.

No *laserscanner* a altimetria é representada com precisão muito superior aos demais métodos conhecidos até o momento, no entanto, é baixa a resolução planimétrica e existe uma indefinição dos limites das edificações, bem como uma dificuldade de se identificar elementos qualitativamente diferentes com altitudes iguais (JUBANSKI, MITISHITA, 2005).

Deve-se afirmar que 15 centímetros é um grande avanço nas medições altimétricas urbanas, pois a maioria das cidades normalmente tem cartografia até a escala 1/1000, ou 1/2000. Considerando que a Cartografia 1/1000 permite no máximo uma precisão altimétrica de 50 centímetros, e os mapas 1/2000 precisão altimétrica de 1 (um) metro.

Existem sensores laser aerotransportados que permitem avaliações altimétricas com precisão de até 5 centímetros, enquanto os exemplares que existem no Brasil garantem medidas com precisão altimétrica até 15 centímetros.

É preciso mencionar que o *laserscanner* além de permitir medidas altimétricas de precisão para as edificações, permite também que se façam medidas da altura das árvores, o que se torna uma revolução em termos paisagísticos e ambientais, o que pode ser visto na Figura 3, onde o primeiro pulso mede o topo da árvore e o segundo pulso mede a base do objeto de interesse, possibilitando a medição da altura e mesmo do volume do corpo de interesse.

Em pesquisas realizadas no laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento ficaram bem evidente que o *laserscanner* é a grande revolução tecnológica neste campo, onde, se tem alternativas para mostrar a visualização a avaliação 3D, desde todo o espaço urbano a algumas zonas urbanas, até a avaliação individual de um edifício, ou mesmo detalhes dele.

Maiores informações podem ser obtidas nos trabalhos de CENTENO (2001); VOSELMAN (2003); CENTENO, STEINLE e VÖGTLE (2000); ROTTENSTEINER, BRIESE (2002); HAALA, BRENNER, ANDERS (1996); BRANDALIZE (2004).

### 3.1.2. FOTOGRAMETRIA

Os primeiros trabalhos utilizando fotogrametria datam do início do século XIX, com algumas imagens tomadas de balões; é a técnica mais utilizada na criação de produtos cartográficos.

Considerando a fotografia como fonte essencial de informações, nasceu a fotogrametria, definida segundo KRAUS (1993), como técnica ou ciência aplicada que tem por finalidade determinar a forma, as dimensões e a posição dos objetos contidos numa fotografia. Essa definição baseia-se, no caráter de medições, entretanto, a habilidade de interpretar a fotografia é tão importante quanto a de medi-la. A fotogrametria tem como objetivo a medição sobre fotografias.

A estereoscopia é um dos processos para obtenção da visão tridimensional, para que a mesma seja possível é necessário um par de fotografias de uma mesma cena ou região, adjacentes e recobertas.

A técnica que possibilita o conhecimento sobre a componente altimétrica é a restituição, que é baseada em métodos estereoscópicos. A restituição fotogramétrica consiste em obter, de fotografias aéreas ou terrestres, as feições planimétricas e altimétricas de objetos, utilizando-se instrumentos denominados restituidores. Esses instrumentos podem ser: analógicos, analíticos ou digitais.

A Fotogrametria continua com grande potencial, mesmo perdendo em termos de precisão altimétrica, a imagem permite a medição e análise do estado de conservação das edificações, ou então a saúde da vegetação, caracterizando-se como um elemento pericial dificilmente comparável com outros sensores.

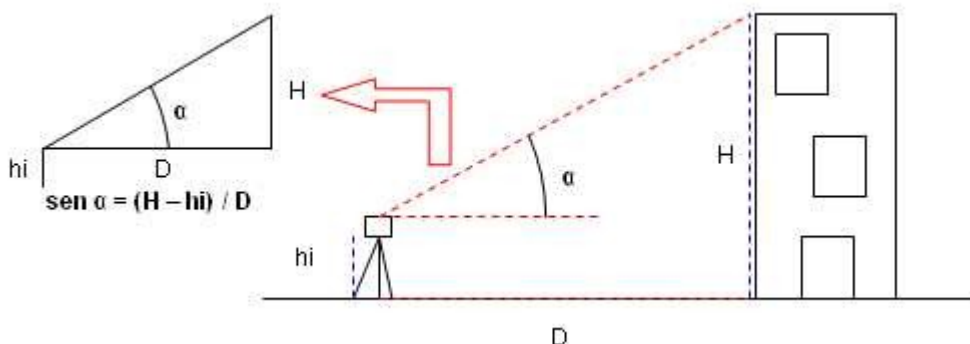
Em experiências que se tem realizado neste campo, tem várias opções de filmes e filtros, merecendo destaque para os filmes infravermelhos, ainda pouco utilizados no Brasil, no entanto levam grande vantagem quando se pretende avaliar elementos da paisagem, seja rural ou urbana.

As seguintes referências bibliográficas trazem conceitos básicos e exemplos de algumas aplicações: KRAUS (1993); ANDRADE (1998); MASON, STREILEIN (1996).

### 3.1.3. LEVANTAMENTO DE CAMPO

É uma das mais antigas técnicas para levantamento da distância entre a base e o topo das feições de interesse, usando instrumentos topográficos.

O princípio é o seguinte: primeiro, obtém-se a altura do instrumento (teodolito), mede-se a distância do prédio até o equipamento. E com o teodolito obtém-se o ângulo até a parte superior do prédio. Obtém-se o triângulo retângulo, obtém-se a altura (H). Depois subtrair pelo (hi) do instrumento (Figura 4).



**Figura 4** – Representação do procedimento

O trabalho de CARMO (2003) traz informações complementares ao tema.

### 3.1.4. INFORMAÇÕES CADASTRAIS

Dependendo do objetivo do trabalho e nível de precisão exigido o usuário pode estimar a altura das edificações através do número de pavimentos de acordo com o pavimento tipo da área de estudo, ou através de informações dos projetos das edificações aprovados na Prefeitura.

Cada um dos métodos citados, para obtenção da coordenada z, possuem vantagens e desvantagens, custos e nível de precisão diferenciada. No entanto, a escolha do método a ser empregado deverá considerar os objetivos e análises que podem ser obtidas no trabalho.

## 4. Considerações

Modelos tridimensionais geram produtos imprescindíveis, permitem a visualização tridimensional de determinadas áreas, auxiliando no processo de planejamento, estudos do comportamento morfológico do terreno, na geração de simulações e avaliação das mudanças temporais em áreas urbanas, dinamizando dessa forma a tomada de decisões.

Com a geração de modelos 3D urbanos pode-se realizar análises e calcular a projeção das sombras dos prédios, tornando-se uma poderosa ferramenta ao poder público, para definir as responsabilidades de um projeto em relação aos direitos de vizinhança, segundo os preceitos do Estatuto das Cidades.

É cada vez mais crescente a solicitação de projetos, ou interessados que desejam informações 3D em nível de imóveis, seja para a avaliação individual daquele imóvel, bem como a relação de um imóvel em relação aos seus confrontantes.

A cidade de Blumenau/SC gerou o modelo tridimensional e a partir deste pode-se visualizar simulações do nível da água em cada imóvel em caso de enchente. Isto passou a ser uma ferramenta imprescindível para o poder público, em cidades passíveis de enchentes, fornecendo à Defesa Civil elementos que podem definir quais as residências que estão entrando em zona de risco conforme a água for subindo.

## 5. Referências bibliográficas

- ALIXANDRINI JUNIOR, M. J.** *Estimativa da altura da vegetação utilizando dados Airborne Laser Scanner*. Florianópolis, 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- ANDRADE, J. B.** *Fotogrametria*. Curitiba: 1998.
- BRANDALIZE, M. C. B.;** Universidade Federal de Santa Catarina. *A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado*. Florianópolis, 2004. 1 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- BURROUGH, P.A.** *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Nova York, Oxford University Press. 1986. 193p.
- CAMARA, G.;** **MONTEIRO, A. M. V.;** **PAIVA, J. A.** *Towards a unified framework for spatial data models*. Journal of the Brazilian Computer Society, 2000, vol.7, no.1, p.17-25.
- CARMO, V. C.** *Representação tridimensional do Centro Politécnico*. Curitiba, 2003. 49f. Trabalho de Graduação (Projeto Final) – Curso de Engenharia Cartográfica, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- CENTENO, J. S.;** **STEINLE, E.;** **VÖGTLE, T.** *Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano*. In: COBRAC, UFSC, Florianópolis, 2000.
- CENTENO, J. S.** *Identificação de prédios em imagens de altimetria obtidas usando laser scanner*. 2001. Disponível em: [http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq\\_2001/cbcg2067.pdf](http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq_2001/cbcg2067.pdf). Acesso em: 12/05/2006.
- FALAT, R. D.** *Perfilamento a laser para detecção de construções clandestinas e determinação de altura de edificações*. In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Macaé, 2005.
- HAALA, N.;** **BRENNER, C.** **Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments**. ISPRS - Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 130-137. 1999.
- HAALA, N., C. BRENNER, K.-H. ANDERS.** *3D urban GIS from laser altimeter and 2D map data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998. vol. 32, part 3/1, pp. 339-346.
- KRAUS, K.** *Photogrammetry: Fundamentals and Standard Processes*. Bonn, Dümmler, 1993. vol 1. 397p.
- LOCH, C.** *A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. 4ªed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. 118p.
- MASON, S.O.,** **STREILEIN, A.** *Photogrammetric Reconstruction of Buildings for 3D City Models*. SA J. Surveying & Mapping. 1996. Vol. 23, No. 5, pp. 244 - 262.
- MAUNE, D. F. et al.** Introduction. In: MAUNE, D. F. (Ed.). *Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual*. Bethesda: ASPRS, 2001. cap. 1, p. 1-34.
- NARUSHIGE S.** *3D urban models: recent developments in the digital modelling of urban environments in three dimensions*. GeoJournal 52, 2001.
- NOVO, E. M. L. de M.** *Sensoriamento Remoto; Princípios e Aplicações*. 2ª ed., Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo. 1992.
- PEREIRA, Z. S.,** **MORGADO, A. M.,** **GONÇALVES, J. A.** *Elaboração de um Arquivo Arqueológico inserido num Modelo Tridimensional Urbano*. In: VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica - 2 a 4 Junho em Lisboa. 2004. Disponível em: [http://www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP\\_files/ESIG\\_2004/p093.pdf](http://www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP_files/ESIG_2004/p093.pdf). Acesso em: 05/05/2006.
- RANZINGER M.;** **GLEIXNER G.** *GIS datasets for 3D Urban planning*. In: Computers, Environment and Urban Systems, Volume 21, Number 2, March, pp. 159-173. 1997.
- ROTTENSTEINER, F.,** **C. BRIESE.** *A New Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution LIDAR Data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002. vol. 34, part 3A, pp. 295-301.
- STAMBOULGLOU, E.;** **SHAN, J.** *Building modeling and visualization for urban environment*. In: Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Symposium sur la théorie, les traitements et les applications des données Géospatiales, Ottawa, 2002.

**VOSSelman, G.** *3D reconstruction of roads and trees for city modeling*. In: H.-G. Maas, G. Vosselman, and A. Streilein, editors, Proceedings of the ISPRS working group IIV3 workshop “3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data”, volume 34, Part 3/W13, Dresden, Germany, 2003. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing Dresden University of Technology.

**JUBANSKI, J. J.; MITISHITA, E. A.** *Monorestituição digital de aerofotos, apoiada por imagens laser scanning, aplicada ao mapeamento de elementos cadastrais urbanos*. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2005.