

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA ECONÔMICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE SIG 3D

Marcelo Antonio Nero¹, Rodrigo Amaral Lapa², Simone Sayuri Sato¹

1 : Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia de Cartográfica
Av Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Recife (PE), Brasil
marcelo.nero@gmail.com, simone.s.sato@gmail.com

2 : Universidade Estadual de São Paulo, Escola Engenharia de São Carlos, Arquitetura, São Carlos (SP), Brasil

Résumé

Le développement d'un système d'informations géographiques (SIG) tridimensionnel a besoin d'importer des éléments solides créés en trois dimensions. L'acquisition de ces éléments est généralement effectuée au moyen d'un LIDAR (Light Detection And Ranging). Une autre possibilité est la cartographie des façades de bâtiments, qui en règle générale est réalisée par la prise d'images géocodées au moyen d'un GPS et d'un système inertiel. Ensuite, un laborieux travail d'édition graphique doit être effectué. Evidemment, si le niveau de détail de la représentation des éléments est plus grand, le temps et le coût de l'acquisition de données 3D seront aussi très grands. Cette forme de développement d'un projet de SIG 3D pour les applications comme la distribution d'énergie électrique est encore peu viable pour la réalité brésilienne en raison des coûts élevés d'acquisition 3D. Ainsi, pour rendre viable l'utilisation de ces outils dans un environnement SIG 3D dans une entreprise d'énergie électrique nationale, nous avons développé une méthodologie alternative à bas coût qui sera présentée dans ce travail. L'alternative est l'utilisation de la restitution photogrammétrique et l'utilisation des données suivantes : des photographies aériennes d'archive à l'échelle 1:8.000; une base cartographique plani-altimétrique permettant l'orientation externe d'images à l'échelle 1:2.000 pour l'obtention du modèle stéréoscopique et la restitution des éléments importants; une image multispectrale à haute résolution du satellite Quick BIRD, utilisée comme toile de fond et pour la texturation du modèle numérique du terrain. Le développement du projet a nécessité l'utilisation de logiciels et bibliothèques Opensource comme l'ensemble VTP (Virtual Terrain Project), qui inclut OGR, GDAL, vtdat et vllib compatibles avec MFC (Microsoft Foundation Class), GDI+ (Graphics Device Interface Plus) ainsi que la base de données PostgreSQL. La modélisation des données a été réalisée de manière à simplifier l'acquisition des données tridimensionnelles et donc, réduire les coûts, dans le but d'appliquer le SIG 3D aux réseaux de distribution d'énergie électrique. Des analyses de qualité du positionnement relatif ont ensuite été réalisées, les résultats sont présentés dans cet article.

Mots clés : méthodologie économique, SIG 3D, restitution photogrammétrique, Opensource, acquisition tridimensionnelle.

Abstract

The development of a Geographic Information System (GIS) needs to import 3D solid elements created in three dimensions. The acquisition of these data is done, in most cases, by using a LIDAR (Light Detection and Ranging). Another possibility is the use of mobile mapping, integrated GNSS and inertial system (IMU). Subsequently, we conducted a thorough editing job. Certainly, if the scale of the project is larger, the amount of detail is greater and hence the cost and time of acquisition will be higher. Thus, the development of a GIS project for 3D applications, such as for the area of power distribution is still impractical for use in Brazil due to the high cost of 3D acquisition. Thus, to make the use of these tools in 3D GIS environment feasible an alternative methodology for cost reduction was developed. The alternative presented here was the use of an existing collection of photos, in this case referring to coverage on the scale 1:8000. Additionally, it used the 1: 2000 base map and a high resolution image from the QuickBird satellite (used as a backdrop and applied as texture in digital terrain model). On developing the project, we used the Opensource software, complete VTP (Virtual Terrain Project), including the libraries OGR, GDAL and vtdat vllib compatible with MFC (Microsoft Foundation Class), GDI + (Graphics Device Interface Plus), and the database PostgreSQL (free database). 3D data modeling was done in order to reduce costs for an application to electricity distribution. Finally, we performed an analysis of the relative positional quality, and obtained satisfactory quantitative results, as presented in the text below.

Keywords : economical methodology, 3D GIS, photogrammetric restitution, Opensource, three dimensional acquisitions.

Resumo

O desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (GIS) 3D necessita da importação de elementos sólidos criados em três dimensões. A aquisição desses dados é feita, na maioria dos casos, por meio do uso da tecnologia do escaneamento aéreo (LIDAR - Light Detection And Ranging). Outra possibilidade é o emprego de mapeamento móvel, o qual é integrado ao GNSS e sistema inercial (IMU). Posteriormente, é realizado um exaustivo trabalho de edição. Certamente, se a escala do projeto for mais detalhada, a quantidade de feições será maior e, consequentemente o custo e o tempo de aquisição serão superiores. Desta maneira, o desenvolvimento de um projeto SIG para aplicações 3D, tais como para a área de distribuição de energia elétrica ainda é impraticável para a realidade brasileira, devido aos elevados custos de aquisição 3D. Assim, para tornar viável o uso destas ferramentas no ambiente do SIG 3D foi desenvolvida uma metodologia alternativa para redução de custos. A alternativa aqui apresentada foi a da utilização de acervo de fotos existentes, que neste caso referem-se a uma cobertura na escala 1:8.000. Adicionalmente,

foram empregadas a base cartográfica 1 :2.000 e a imagem de satélite de alta resolução QuickBird (utilizada com pano de fundo e aplicada como textura no modelo digital do terreno). No desenvolvimento do projeto, foi utilizada a biblioteca de códigos abertos (software Opensource), VTP completo (Virtual Terrain Project – Projeto de Terreno Virtual), que inclui as bibliotecas OGR, GDAL e vldata vllib compatíveis com MFC (Microsoft Foundation Class), GDI + (Graphics Device Interface Plus), além da base de dados PostgreSQL (banco de dados livre). Foi definida uma modelagem de dados 3D para SIG de modo que se obtivesse uma maneira mais econômica possível e que atendesse à área de distribuição de energia elétrica. Finalmente, foi realizada a análise da qualidade posicional relativa, sendo obtidos resultados quantitativos satisfatórios, conforme apresentados ao longo do texto.

Palavras-chave : metodologia econômica, SIG 3D, restituição fotogramétrica, Opensource, aquisição tridimensional.

1. Introdução

Com a crescente evolução da computação gráfica, segundo (Haala, 2005), tem se tornado cada vez mais viável a visualização em tempo real de dados mais complexos em três dimensões, com grande influência do desenvolvimento dos programas de jogos do tipo videogames 3D. Isso hoje em dia já é uma realidade no ambiente do próprio Google Earth. No contexto de aplicações de SIG 3D e na criação de maquetes virtuais 3D, o que tem ocorrido é uma integração das tecnologias do mapeamento de perfilamento aéreo à laser (Light Detection And Ranging – LIDAR) com mapeamento móvel e videografia com sistema de posicionamento GPS/GNSS e inercial (Früh e Zakhor, 2004). No entanto, o mapeamento de perfilamento à laser é ainda uma alternativa de alto custo, tornando-se inviável economicamente para muitas aplicações de SIG 3D. Trabalho recente desenvolvido em (Nero, 2010) apontava para um custo 36 vezes mais alto que o apresentado nesse artigo, considerando o LIDAR e de 58 vezes, levando em conta o escaneamento laser terrestre.

Um dos exemplos de aplicações relatado pelos autores (Früh e Zakhor, 2004), corresponde ao projeto GISMO, desenvolvido pela Universidade de Stuttgart, baseado em código aberto (Opensource) em plataforma de hardware tipo PC para uma área de 50x50km, contendo cerca de 36.000 modelos de edificações. Um recurso interessante que agiliza a navegação dos objetos 3D é o LOD (Level of detail), o qual possui várias categorias, tais como: LOD 0 que apresenta o Modelo Digital do Terreno (MDT) 2.5D, LOD 1 correspondente a visão de um bloco de modelos para a cidade, LOD 2 que demonstra as edificações com diferentes texturas de paredes, LOD 3 que corresponde aos modelos com arquitetura detalhada e finalmente, LOD 4 que possibilita a navegação no interior das edificações. Todo o projeto emprega o conceito de generalização cartográfica aplicando-se aos objetos 3D, cujos detalhes aparecem e desaparecem de acordo com a proximidade do ponto de vista do observador.

Em termos de métodos de navegação 3D, destaca-se o trabalho apresentado em (Royan et al, 2005) que para uma grande massa de dados como, por exemplo, em uma cidade em ambiente de SIG 3D, empregou uma metodologia de generalização de visualização de elementos urbanos denominada de PBTtree.

Porém, ainda que grande parte do procedimento tenha sido automatizado, existe um grande trabalho de aquisição de dados tridimensionais, edição manual para a filtragem e tratamento dos dados coletados, o que exige o tratamento das texturas e a eliminação de vários elementos, tais como pessoas, carros e outros

objetos não desejáveis na cena. Bons exemplos são apresentado em (Pu, 2010; Elberink, 2010; Jing, 2011).

Atualmente, a tecnologia mais avançada disponível para o rápido levantamento de dados tridimensionais de uma grande área, como por exemplo, uma cidade, é o perfilamento aéreo a laser (LIDAR) como descrito em (San José et al, 2005). Um avião ou helicóptero equipado com dispositivos de varredura laser faz um sobrevôo sobre a cidade e registra os dados digitais de elevação de superfície do terreno com precisão equivalente ao do modo de levantamento cinemático e/ou semi-cinemático do GPS, porém, com uma rapidez muito maior. Com o LIDAR, podem-se identificar elementos mínimos que se encontram acima da superfície terrestre, tais como cabos e fios elétricos, auxiliando no mapeamento de redes elétricas, por exemplo.

Além dessa técnica, existem *softwares* de fotogrametria que possibilitam a aquisição de dados tridimensionais da superfície do terreno a partir de imagens estereoscópicas de modo automático e interativo. No entanto, ambas as possibilidades são de alto custo, em ordem decrescente. Este alto custo é atribuído aos equipamentos, softwares de processamento e edição e ao trabalho final de manual de filtragem dos elementos desnecessários ao projeto 3D.

Porém, uma alternativa pouco pensada e economicamente viável, reside no uso de fotos aéreas provenientes de câmaras métricas de acervos pré-existentes, reduzindo drasticamente o custo de aquisição de imagens estereoscópicas. Essa é uma alternativa bastante viável em várias aplicações, especialmente para estudos, planejamentos e até gerenciamento de utilitários urbanos. Além disso, se aproveita mão de obra já bem conhecida e treinada no âmbito da fotogrametria, o técnico em restituição.

A alternativa de metodologia mais econômica considerada, neste trabalho, consiste em utilizar fotos aéreas métricas de acervo e uso de pontos de apoio a partir de base cartográfica existente. Posteriormente, se realiza a migração e construção desses elementos em ambiente de software livre.

No trabalho realizado, antes do emprego da metodologia descrita foi realizado um levantamento dos principais métodos utilizados em SIG 3D, bem como a sua modelagem (Stoter e Zlatanova, 2003) (Zlatanova et al, 2002) e *softwares* disponíveis no mercado que se prestam à construção e visualização de ambientes urbanos 3D. No requisito software, foram identificadas as particularidades de aplicação, seus métodos e técnicas de obtenção de dados e procedimentos para a modelagem de elementos para composição do ambiente 3D.

A seguir são apresentados os materiais e métodos, os resultados obtidos e as conclusões a respeito da pesquisa desenvolvida.

2. Materiais e métodos

2.1 Recursos disponíveis

Foram disponibilizados para o desenvolvimento do trabalho os seguintes recursos:

- 1 estação fotogramétrica digital: composta de um computador PC Pentium IV, 1Gbyte RAM, 450 Gbytes de disco, placa de vídeo NVidia Quadro FX 1400, 500 Mbytes e monitor CRT com dispositivo de visualização 3D NUVision;
- 1 computador PC Pentium IV, 1GBytes RAM;
- 1 trena laser DISTO WILD com alcance de 150 metros;
- 1 câmera digital convencional Canon de 8 Megapixels de resolução;
- DVP 5.5042: software para restituição fotogramétrica;
- AutoCAD 2004: para edição em CAD;
- *MicroStation GeoEngineering Academic Suite*;
- ArcGis 9.0: contendo o 3D Analyst para a geração do modelo digital do terreno e refinamento;
- Phtoshop: para a tratamento/manipulação e balanceamento das fotos tomadas das fachadas dos edifícios;
- 3D StudioMax: software para a manipulação e edição de elementos para a introdução no ambiente do VTP (software livre de ambiente 3D);
- MapInfoProfessional 8.0: sistema de informação geográfica de desktop mapping, versão demo, para a manipulação de dados vetoriais e a extração de informações para a determinação de pontos de apoio planialtimétricos (controle);
- VTP/Enviro: Virtual Terrain Project, sistema de informação de SIG 3D *OpenSource* para a implementação do ambiente tridimensional;
- Códigos abertos para customização e programação: bibliotecas abertas utilizadas para a migração dos dados e implementação no projeto ENS 3D, tais como o OGR, GDAL, vtdata et vtlib compatibles avec MFC (Microsoft Foundation Class), GDI+ (Graphics Device Interface Plus);
- Bibliotecas pagas: Microsoft Visual Studio.NET 2003;
- Banco de dados : PostGRE SQL e PostGIS ;
- Base Cartográfica de São Carlos: mapa digital da área urbana do município de São Carlos, compatível à escala 1:2.000 e fornecida pelo CDCC (Centro de Disseminação de Ciências e Cultura da USP – Campus de São Carlos-SP);
- Cartas Topográficas 1:10.000: cartas topográficas digitalizadas das áreas periféricas do município de São Carlos;
- Fotos aéreas métricas preto e branco: 17 fotos aéreas digitais de São Carlos em preto e branco escaneadas a 26 µm, resultantes de acervo de vôo executado em 1997 pela empresa Aeroconsult e que constavam as edificações de interesse;
- Imagem quick bird : imagem de acervo de 2004 da área de interesse de São Carlos-SP.

Percebe-se aqui a diversidade de softwares e recursos. Isso facilita a operação e a agilidade de alguns processos, pois um programa pode ser mais produtivo em determinada operação que outro e vice-versa. Isso

aconteceu, por exemplo, no emprego do MapInfo, MicroStation e do ArcGIS. Assim, reside aqui a inovação no modo de desenvolvimento. Além disso, no processo de restituição foi necessário o trabalho de apenas um operador em escritório numa estação fotogramétrica digital.

2.2 Metodologia aplicada

Este trabalho é uma parte corresponde a um projeto mais amplo, incluindo toda a especificação do projeto ENS 3D, o qual foi financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, empresa de fomento de projetos de inovação no Brasil, processo número: 02/07862-3). Este projeto incluiu a definição dos requisitos de desenvolvimento de software, a implementação da modelagem para SIG 2D e 3D, o estudo dos recursos de SIG e ferramentais para as aplicações de redes elétricas de energia, a pesquisa das bibliotecas *opensource* de desenvolvimento e a criação do ambiente 3D. No entanto, neste artigo, o foco principal é o de apresentar o desenvolvimento da metodologia de baixo custo para implementação de elementos 3D provenientes de restituição fotogramétrica e a migração para um softwre livre de SIG 3D. O esquema geral é apresentado na figura 1.

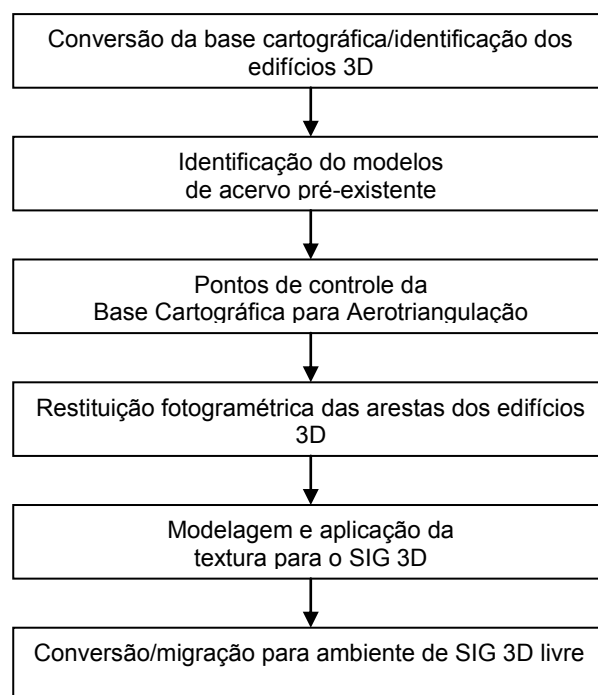


Figura 1: Esquema geral da metodologia.

Como primeira etapa, a partir da base cartográfica em ambiente 2D, foram definidos quais seriam os edifícios a serem restituídos. Para tanto, a base cartográfica da cidade de São Carlos (cidade localizada no interior do Estado de São Paulo, Brasil) na escala 1:2.000 (vide figura 2), foi convertida do AutoCAD para o MapInfo Professional 8.0.

O processo de restituição fotogramétrica permitiu a coleta das arestas principais do topo das edificações e pontos de referencia no solo, permitindo a obtenção de todas as alturas das edificações. Os pontos de referencia e bases no solo de cada edificação também

fornecidas no processo de restituição permitem a integração dos dados ao Modelo Digital do Terreno.



Figura 2: Base Cartográfica da área urbana e vizinhanças de São Carlos. Fonte: (Nero et al., 2010).

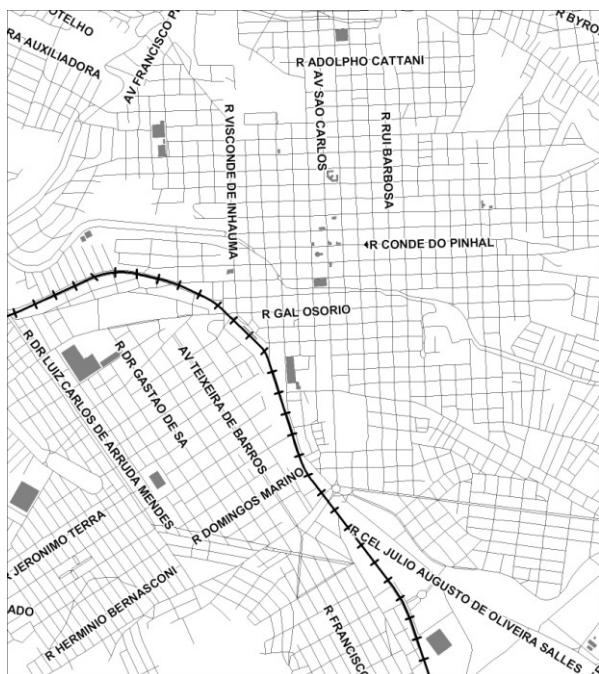


Figura 3: Exemplos de elementos 3D básicos restituídos.

Posteriormente, os edifícios correspondentes aos elementos 3D básicos obtidos do processo fotogramétrico, tiveram suas fachadas fotografadas em

campo para a aplicação de textura e sendo gerados arquivos no formato 3DS, do 3D StudioMax.

Com o emprego da trena a laser, croquis de desenho e câmera digital foram registrados os aspectos e dimensões da construção.

Para a aplicação das texturas foi necessário, previamente, o desenvolvimento de técnica de coleta na qual a imagem utilizada como textura fosse capturada perpendicularmente à superfície do material, de modo que não ocorressem deformações de perspectiva na imagem. Outra preocupação foi com a iluminação de modo homogêneo, de maneira a se evitar diferenças gritantes entre zonas de luz e de sombra, possibilitando menor esforço no processo de tratamento de imagens.

Foram utilizados dois tipos básicos de texturas: as *single textures* e as *tile textures*. As primeiras foram criadas para recobrir toda a face de um objeto, sem repetições. Já a segunda foi utilizada para o recobrimento de áreas ou faces extensas de objetos através da repetição da textura. A preparação de texturas para repetição foi um processo mais complexo que exigiu um trabalho muito maior na composição da textura padrão. Assim, foram realizados alguns testes de modelagem arquitetônica em bairros da avenida principal da cidade, buscando aperfeiçoar as técnicas, de modo a se verificar o tempo de desenvolvimento e a qualidade gráfica obtida.

Como não havia a disponibilidade de plantas ou desenhos técnicos das construções, foi realizado o registro fotográfico das fachadas e algumas medições. Para saber as dimensões do volume principal das edificações e as características de sua cobertura, foram utilizadas algumas das fotos aéreas. Essas imagens foram utilizadas como plano de fundo no 3D StudioMax e sobre elas capturados os contornos da edificação e as características de sua cobertura. Esse método foi considerado bastante demorado e não apresentou grande precisão de medidas, mas demonstrou uma boa qualidade gráfica final e coerência de escala e proporções entre os edifícios, podendo ser visualizado na figura 4. Para a modelagem de uma quantidade não muito grande de edificações em um projeto no qual a precisão das medidas não seja um dado essencial, este método pode ser utilizado perfeitamente e foi aprimorado em conjunto com as técnicas de restituição.



Figura 4: Resultado visual da metodologia de aplicação de textura sem a restituição.

Para a implementação dos elementos 3D com textura foram visitados todos os 25 edifícios restituídos no

processo fotogramétrico, sendo realizada a tomada de fotos das fachadas. Assim, foi realizado todo um trabalho de conversão e introdução desses elementos no ambiente do VTP/Enviro.

A partir dos elementos 3D básicos, criados no processo de restituição aerofotogramétrica, foram criados os elementos 3D básicos no ambiente do 3D StudioMax, como apresentado na figura 5, sendo esse resultado já a primeira fase da integração dessa metodologia com a aerofotogrametria.

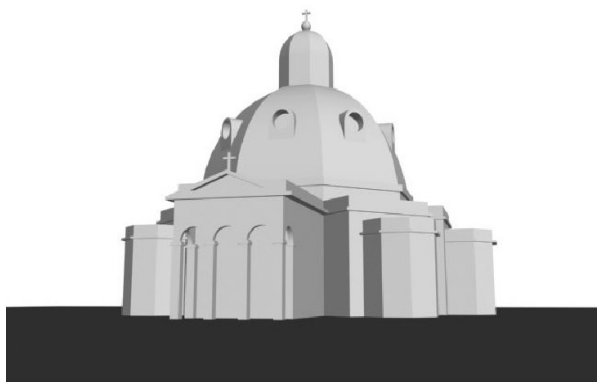


Figura 5: Modelos básicos no 3D StudioMax na primeira etapa da integração com a aerofotogrametria.

Já na etapa final de criação dos elementos 3D, foram aplicadas todas as texturas, sendo retratadas as características dos edifícios o mais próximo possível do real, o que pode ser visualizado no exemplo apresentado na figura 6.

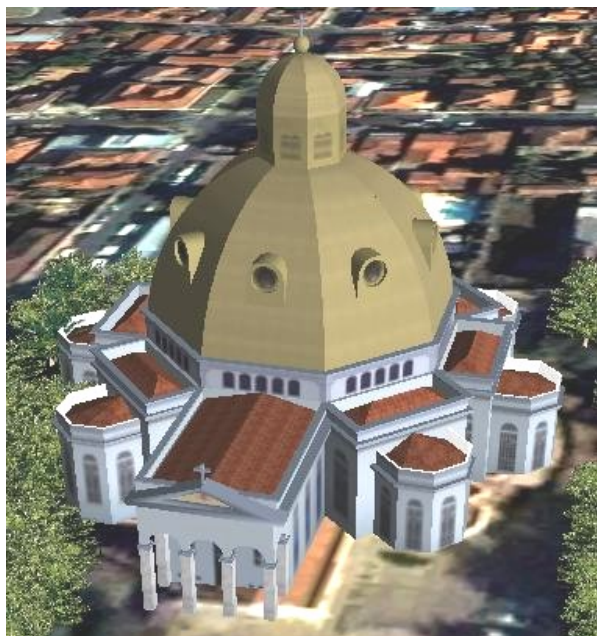


Figura 6: Modelo detalhado no ambiente do VTP/Enviro – Catedral de São Carlos. Fonte: (Nero et al., 2010).

Outra atividade dentro da construção dos elementos 3D foi a definição dos elementos tridimensionais específicos da área de distribuição de energia elétrica, ou seja, os postes e as redes de distribuição de energia. Estes foram padronizados para a aplicação

específica de SIG 3D e são abordados com detalhe em (Nero et al, 2010).

Antes da migração dos elementos 3D apresentados no item anterior foi criado o MDT (modelo digital do terreno, ver figura 7), a partir das curvas de nível com equidistância de metro em metro e pontos contatos, provenientes da cartografia digital 1:2.000. Já nas áreas periféricas os dados do MDT foram obtidos a partir da cartografia 1:10.000. Este foi elaborado primeiramente no ambiente do *MicroStation GeoEngineering*, sendo migrado para o 3D Analyst do ArcGIS 9.0 e criado no formato GRD, cujo resultado pode ser visto na figura 7.

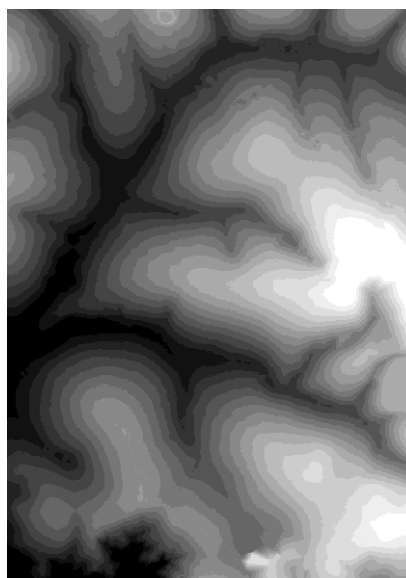


Figura 7: Modelo digital do terreno. Fonte: (Nero et al., 2010).

A seguir a imagem de alta resolução Quick Bird, de acervo de 2004, que pode ser vista na figura 8, foi aplicada como textura no ambiente VTP/Enviro (vide Figura 9).

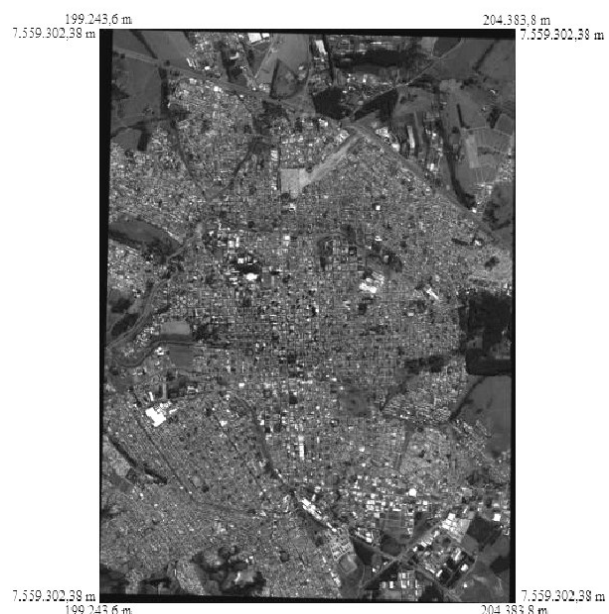


Figura 8: Imagem de satélite de alta resolução (Quick bird) de São Carlos. Fonte: (Nero et al., 2010).

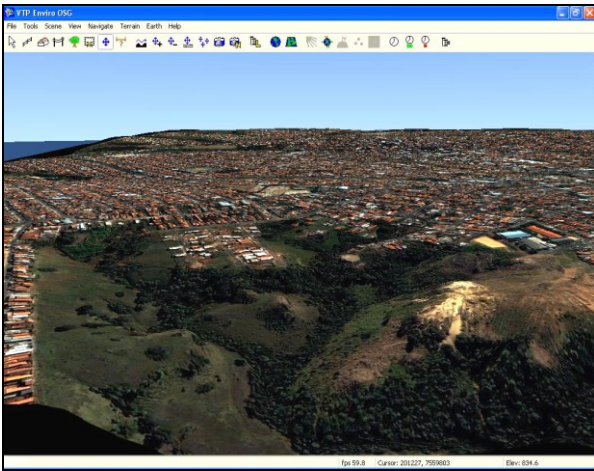


Figura 9: Exemplo de visualização da imagem aplicada ao modelo digital do terreno proveniente da base cartográfica 1:2.000.

Finalmente, foi realizado o desenvolvimento do ambiente do SIG 3D (o ENS 3D), onde foi utilizado o Microsoft Visual Studio.NET 2003. Essa ferramenta foi escolhida pelo fato da sua compatibilidade com as bibliotecas utilizadas na implementação do sistema.

Este processo demandou a integração de um número razoável de bibliotecas. Entretanto, a utilização de componentes de código aberto permitiu a personalização do sistema com mais facilidade. Detalhes dessa implementação do ENS 3D pode ser visto em Nero et al. (2010), não sendo o propósito principal desse trabalho.

3. Análise quantitativa e resultados obtidos

Neste trabalho para a análise quantitativa foi realizada a avaliação da precisão relativa, a qual foi otimizada no seu processo de campo por meio da criação de uma amostragem de medidas.

Nesse processo foram utilizados a trena a laser e a câmera digital, sendo geradas algumas tabelas comparativas de medidas, comentadas a seguir.

Na figura 10 são apresentadas 38 medidas de distâncias, correspondentes à largura de quadras e de ruas. Na coluna "Real" são apresentadas as medidas diretas de campo, na coluna "Base", as medidas realizadas no arquivo digital, na coluna "Diferença" a diferença entre essas medidas, sendo tudo apresentado na unidade métrica "metro" (m). Nessa tabela e no gráfico da figura, constatou-se uma média dos erros baixa, igual a 0.13 m e um desvio padrão pequeno, próximo de 0.63 m. No entanto, devem-se considerar algumas medidas cujos valores foram superiores a 1 m, o que é justificado no campo observação, sendo proveniente de atualização. Mesmo assim, os resultados obtidos foram satisfatórios e atendem plenamente à aplicações (como por exemplo, na área de energia elétrica), pois são melhores que 1 metro em mais de 90 % das medidas realizadas.

Na figura 11 são apresentadas 19 possíveis medidas comparativas de alturas de edificações tomadas tanto em campo (coluna Real) como no arquivo digital

proveniente da restituição volumétrica (coluna Restituição). Nesta tabela e neste gráfico constata-se uma média dos erros relativamente baixa, igual a 0.2 m e um desvio padrão inferior a 1 m, igual a 0.97, os quais são satisfatórios para a aplicação em questão. Deve-se ressaltar ainda, algumas medidas que extrapolam o valor de 1 m e que poderiam ser eliminadas da amostra. Estas constam em vermelho na coluna diferença.

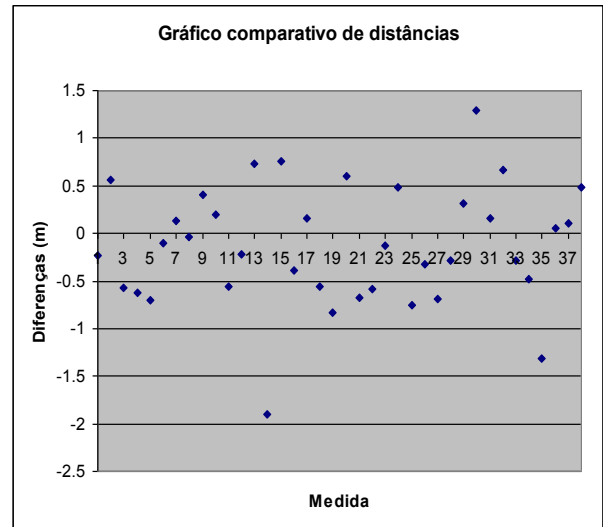


Figura 10: Gráfico comparativo de medidas de distância reais com as obtidas da base cartográfica 1:2.000 de São Carlos.

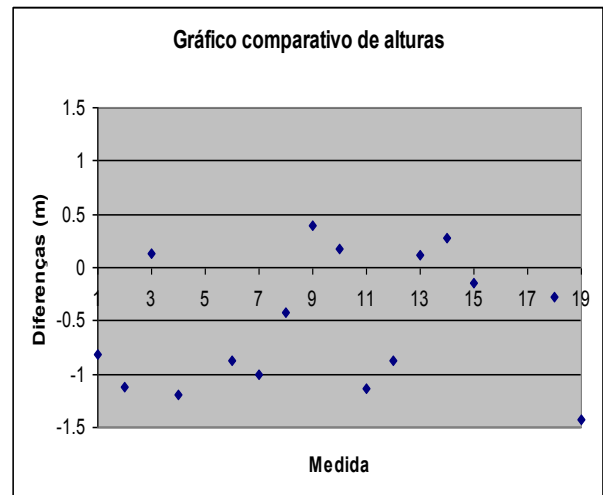


Figura 11: Gráfico comparativo de medidas de altura reais com as obtidas da restituição a partir de fotos aéreas 1:8.000 de São Carlos.

Na figura 12 é apresentada uma análise comparativa de cerca de 25 medidas de lados dos prédios, tanto em campo (coluna Real) como com as obtidas do processo de restituição. Pelos resultados obtidos constatou-se uma média dos erros também relativamente baixa, igual a 0.2 m e um desvio-padrão de 0.64 m, o qual também pode ser considerado pequeno, no que se refere a aplicação na área de energia elétrica. Algumas diferenças ultrapassam 1 m, porém poderiam ser eliminadas da amostra, pois podem ser atualização ou problemas de qualidade da foto aérea.

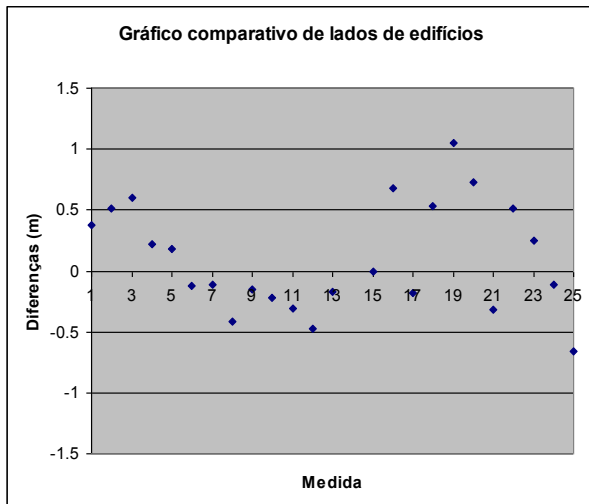


Figura 12: Gráfico comparativo de medidas dos lados dos edifícios obtidas em campo com as obtidas da restituição a partir de fotos aéreas 1:8.000 de São Carlos.

4. Conclusão

A metodologia de aplicação de textura desenvolvida proporcionou a criação de elementos de SIG 3D com qualidade de representação fotorrealista, muito importante quando utilizados em ferramentas de planejamento urbano, onde a contextualização e visualização dos detalhes das fachadas é aplicada na interpretação da paisagem urbana. Neste caso os aspectos visuais e estéticos são parte dos dados a serem analisados na formulação de propostas para futuros empreendimentos. Maquetes eletrônicas são utilizadas para verificar a validade das propostas e simular efeitos provocados pelas intervenções, como impacto ambiental, projeção de sombras, simulação de cores e materiais, entre outros.

Outro ponto de grande importância refere-se ao potencial de aplicação do SIG 3D em mapeamento subterrâneo, levando em conta, por exemplo, que o Município de São Paulo, a terceira metrópole do Mundo, criou a menos de cinco anos uma lei específica que trata do assunto, a Lei nº 14.023, de 8 de julho de 2005 (São Paulo, 2005), que dispõe sobre a obrigatoriedade de tornar subterrâneo todo o cabeamento instalado no Município de São Paulo. Tal lei foi regulamentada pelo Decreto nº 47.817, de 26 de outubro de 2006 (São Paulo, 2006).

A grande contribuição desse trabalho reside na redução significativa dos custos, devido ao emprego de materiais cartográficos e recursos pré-existentes, que raramente são utilizados a exemplo das fotos aéreas antigas de acervo e os mapas digitais existentes (para a extração de pontos de apoio suplementares sem a necessidade de trabalhos de campo). No entanto, se deve considerar também a restrição de acurácia e aplicação.

Conclui-se que os resultados obtidos atingiram as expectativas e os objetivos do projeto no que se refere à inovação metodológica. Os conceitos e metodologias aqui desenvolvidas servirão de modelo e de base

conceitual para o desenvolvimento de projetos semelhantes que envolvam outros temas, a saber: turismo, meio ambiente, redes subterrâneas, transportes, entre tantas outras aplicações. Representa uma revolução e uma espécie de reciclagem de materiais cartográficos para a produção de novos produtos cartográficos digitais de baixo custo.

Referências Bibliográficas

- 3D Studio Max, 2006. Overview of functions 3D Studio Max 8.0. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet> (Accessed June 18, 2012).
- Früh, C., Zakhor, A., 2004. An Automated Method for Large-Scale, Ground-Based City Model Acquisition. *International Journal of Computer Vision* 60(1), 5-24.
- Haala, N., 2005. Towards Virtual Reality GIS In: *Photogrammetric Week*, pp. 285-294.
- Elberink, S.O., 2010. Acquisition of 3D Topography: Automated 3D road and building reconstruction using airborne laser scanner and topographic maps. *Publications on Geodesy, Netherlands Geodetic Commission, Delft, the Netherlands*, 2010, 183 p.
- Nero, M.A., Medina, N.O., Santos, R.L.G., Lapa, R.A., Silva, S.F., Silva, J.P.M., Brasil, C.R.S., 2010. Desenvolvimento de SIG 3D com open source para a área de distribuição de energia elétrica. *Brazilian Journal of Cartography* 62(1), 23-32.
- Pu, S., 2010. Knowledge based building facade reconstruction from laser point clouds and images. *Publications on Geodesy, Netherlands Geodetic Commission, Delft, the Netherlands*, 2010, 133 p.
- Royan, J., Bouville, C., Gioia, P., 2005. PBTree – A new progressive and hierarchical representation for network-based navigation in urban environments. *Annals of Telecommunications* 60(11-12), 1394-1421.
- San José, J.L., Finat, J., Fernández-Martin, J.J., Martínez, J., Fuentes, L. M., Gonzalo, M., 2005. Urban Lasermetry, problems and results for surveying urban historical centres: some pilot cases of Spanish Plaza Mayor. In: *CIPA International Symposium*, Torino, Italy.
- São Paulo, 2006. Decreto nº 47.817, de 26 de outubro de 2006. Regulamenta a Lei nº 14.023, de 8 de julho de 2005, que dispõe sobre a obrigatoriedade de tornar subterrâneo todo o cabeamento instalado no Município de São Paulo. **Lex:** Coletânea de Legislação Municipal, São Paulo, 2006.
- São Paulo, 2005. Lei nº 14.023, de 8 de julho de 2005. Dispõe sobre a obrigatoriedade de tornar subterrâneo todo o cabeamento ora instalado no Município de São Paulo e dá outras providências. **Lex:** Coletânea de Legislação Municipal, São Paulo, 2005.
- Stoter, J., Zlatanova, S., 2003. 3D GIS, where are we standing? In: *ISPRS Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis*, Québec, Canada.
- VTP, 2006. Welcome to Virtual Terrain Project. Disponível em: <<http://vterrain.org/>> (Accessed May 25, 2006).
- Jing, D.Z.R., 2011. Research on 3D Reconstruction of Urban Features from Data Based on Vehicle-borne Laser Scanning. *Journal of Capital Normal University (Science Edition)*, Beijing, China.
- Zlatanova, S., Rahaman, A.A., Pilouk, M., 2002. Trends in 3D GIS Development. *Journal of Geospatial Engineering* 4(2), 71-80.

COMBINED USE OF QUICKBIRD AND LIDAR DATA FOR MAPPING A URBAN ENVIRONMENT

Naïssa B. da Luz¹, Dalmar J. Dos Santos¹, André L. A. De Mendonça¹, Alzir F. B. Antunes², H. Araki², Qi Chen³

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
CEP 81531-Curitiba/PR - Brasil

1 : naissa@gmail.com; {dalmargeofoto, andremalms}@hotmail.com

2 : {felipe; haraki}@ufpr.br

3 : University of Hawaii at Manoa, Geography Department
2500 Campus Road Honolulu, HI 96822, USA
qichen@hawaii.edu

Résumé

Les images satellitaires à haute résolution et les données aéroportées LIDAR peuvent caractériser la surface terrestre avec des détails sans précédent concernant les aspects spatiaux et structurels. Cependant, la plupart des études les ont employées de façon séparée au lieu de les agréger afin de mieux caractériser la surface terrestre. Etant donné leur nature fortement complémentaire, il faut donc étudier comment leur intégration peut améliorer l'exactitude de la carte d'occupation des sols et d'utilisation des terres. Cet article présente l'utilisation de l'image QUICKBIRD et des données LIDAR pour cartographier l'environnement urbain de la ville de Curitiba, état de Paraná, sud Brésil. Le paysage périurbain se compose de végétation secondaire arbustive, d'herbe et culmine les forêts primaires d'araucaria combinées avec les objets urbains tels que des routes et des bâtiments. Des données aéroportées LIDAR ont été traitées pour produire du MNT, du MNE (Modèle Numérique du Terrain et Modèle Numérique d'élévation). Les MNE ont été produits par les données LIDAR afin d'orthorectifier l'image QUICKBIRD avec des exactitudes photogrammétriques. L'intensité du nuage de points et l'image QUICKBIRD ont été segmentées par une méthode orientée objet. En raison de sa capacité à traiter des données non paramétriques, l'arbre de décision a été choisi afin de sélectionner les caractéristiques les plus appropriées pour établir des règles de classification. On constate que la fusion des deux types de données et des arbres de décision augmentent l'exactitude de la classification de 5 à 15% et par conséquent l'exactitude globale atteint presque 90%. Etant donné l'accessibilité croissante des images QUICKBIRD et des données LIDAR, on prévoit que la méthodologie développée dans cette étude aura des impacts dans le paradigme courant sur la production des cartes d'occupation des sols et d'utilisation des terres (LCLU).

Mots clés : classification par arbres de décision, Quickbird, LIDAR, approche orientée objet, urbain, carte d'occupation des sols et d'utilisation des terres.

Abstract

High resolution satellite imagery and airborne Lidar data can characterize the earth surface with unprecedented details in spatial and structure information, respectively. However, most studies have used them separately instead of in combination for land surface mapping. Considering their highly complementary nature, it is critical to investigate whether and how the integration of both can improve the accuracy of land cover and land use (LCLU) mapping. This study explored the use of Quickbird imagery and airborne Lidar data for mapping a complex urban environment in the City of Curitiba, Paraná State, Southern Brazil, which is composed of secondary shrub vegetation, grass and climax primary Araucaria forests combined with urban objects such as roads and buildings. Airborne Lidar data were processed to generate DEM, DSM (Digital Surface Model), and DHM (Digital Height Model). The DSM generated from Lidar data were used to orthorectify Quickbird image with photogrammetric skills. A large number of metrics are generated from Lidar DHM, Lidar point cloud, Lidar intensity, and Quickbird imagery using object oriented segmentation approaches. Due to their power in handling non-parametric data, decision-tree based approaches were chosen to select the most relevant metrics and build rules for classification. It was found that the fusion of both types of data with decision trees increased the accuracy by 5 to 15% and resulted in an overall accuracy over 90%. Taking into account the increasing accessibility of Quickbird and airborne Lidar data, it is expected the methodology developed in this study has profound impacts in shifting our current paradigm in LCLU mapping.

Keywords : decision tree, Quickbird, LIDAR, object oriented approach, urban, land cover and land use map.

Resumo

Imagens de alta resolução espacial e dados do sensor LIDAR podem fornecer informações espaciais e da estrutura dos objetos da superfície terrestre com um detalhamento sem precedentes. Muitos estudos têm feito uso destes dados individualmente, ao invés de combiná-los para o mapeamento da superfície terrestre. Por sua natureza altamente complementar, é necessária a investigação de quando e como estes dados podem ser integrados de forma a incrementar a

acurácia do mapeamento do uso e da cobertura da terra. Este trabalho explorou o uso de imagens do satélite Quickbird e de dados do sensor aerotransportado LIDAR para o mapeamento de um complexo ambiente urbano na cidade de Curitiba, Estado do Paraná. A área de estudo inclui vegetação arbustiva secundária, gramíneas e Florestas primárias alteradas com Araucária, convivendo com elementos urbanos como estradas e edifícios. Os dados do sensor LIDAR foram processados para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), tais como o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Alturas (MDA). Técnicas fotogramétricas e o MDS gerado a partir dos dados LIDAR foram utilizados na ortoretificação da imagem Quickbird. Um grande número de atributos dos objetos gerados pela segmentação da imagem foram calculados, a partir da imagem Quickbird, do MDA, e da nuvem de pontos e imagem intensidade LIDAR. Árvores de decisão foram adotadas, dada a sua capacidade de lidar com dados não-paramétricos, para a seleção dos atributos relevantes e também para a construção das regras de decisão e classificação da imagem. Foi observado que a fusão dos dados de ambos sensores e a adoção de árvores de decisão permitiu o incremento da acurácia da imagem em 5 a 15%, resultando em acurácia geral superior a 90%. Levando-se em consideração o crescente acesso a dados LIDAR e imagens de alta resolução espacial, espera-se que a metodologia desenvolvida neste estudo tenha profundo impacto na mudança do atual paradigma de mapeamento do uso e da cobertura da terra.

Palavras-chave : árvores de decisão, Quickbird, LIDAR, abordagem baseada em objetos, urbano, mapa de uso e cobertura da terra.

1. Introduction

Characterized as a swift changing and complex environment, urban areas are presenting increasingly higher growth and expansion rates (Cohen, 2004; United Nations, 2002; United Nations, 2007). Such striking changes require existence of matching geographic information for proper land monitoring and planning.

Many activities related to urban planning and monitoring rely on information acquired by remote sensing. Digital classification of urban environment using remotely sensed imagery is not an easy task. Variability of natural and cultural objects can cause confusion between objects spectral response. Urban areas can be so complex and challenging for digital classification that it can be considered very optimistic to assume that a single sensor will be able to provide all information needed for it to be properly characterized (Gamba et al., 2005 apud Chen et al., 2009).

Lidar data and digital imagery combined have been extensively used in urban areas for building extraction and cadastral mapping (Zhou et al., 2004; Zingaretti et al., 2008; Kabolizade et al, 2010), land cover/land use mapping (LCLU) (Viñas et al., 2006) and trees detection (Secord and Zakhor, 2007). Santos et al. (2010) performed experiments introducing Lidar data in urban LCLU mapping, and found that the quality of the information extraction was higher for every land cover class. According to authors, high resolution sensors can provide spectral information to help identify objects and their boundaries, and LIDAR (Light Detection and Ranging) data can help the characterization of objects structure and geometry.

Although these data open new perspectives in the classification process, the development of classification tools or applications based on objects, instead of individual pixel features, becomes essential (Viñas et al., 2006). Nevertheless, classification of such imagery presents challenges related to spectral variability between classes and amongst objects of the same class. Image classification in this case demands usage of other spectral, shape and contextual characteristics of objects. The Object-Based Image Analysis (OBIA) approach has been the suitable alternative for high spatial resolution image information extraction (Alesheikh and Fard, 2002;

Antunes et al., 2003; Pinho and Kux, 2004). Chen et al. (2009) extracted nine LCLU classes from LIDAR and high spatial resolution imagery with object-oriented classification and reached accuracy up to almost 90%.

Another approach to overcome difficulties in conventional digital classification of multi-source data is decision tree classifiers (Avrithis and Kollias, 1997; Yang et al., 2000; Foody and Cutler, 2002; Park, et al., 2005; Foody, 2006; Nangendo et al., 2007; Camps-Valls and Rodrigo-González, 2008). Great attention has been given to decision trees in the last decade. The satisfactory accuracy obtained when compared to classic statistical classifiers, easiness to use the algorithms, and explicitness of knowledge extracted have attracted attention (Safavian and Landgrebe, 1991; Friedl and Brodley, 1997; Martens et al., 1998; McIver and Friedl, 2002; Pal and Mather, 2003; Marée et al., 2003). Gain of accuracy when decision tree classifier was used in LCLU mapping for urban environments using LIDAR and multispectral imagery was recently reinforced by Chehata et al. (2009) and Guo et al. (2010).

One of the main goals in this work is to explore information extraction of LIDAR data combined with high spatial resolution Quickbird imagery for urban areas LCLU mapping. Another target is association of object oriented approach and decision tree based classifiers investigation, aiming increased map accuracy. This article will present the data source and the study area in the next section, digital image processing techniques and software in Section 3, discuss obtained results in Section 4, and summarize the findings in Section 5.

2. Study area and data source

2.1. Study area

The study area is located in the Paraná State, city of Curitiba, southern part of Brazil. The image used covers part of the Federal University of Paraná campus (25°26'35,90"S and 49°14'20,30"W to 49°14'4,49"W and 25°26'54,60"S), as shown in Figure 1 .

It has a total area of approximately 25 ha of an urban environment with relatively plain topography. It includes an altered forest composed of native species with the

canopy dominated by *Araucaria angustifolia*, a conifer with very distinguished crown and a few Lauraceae species. Included are also areas of urban vegetation, roads, buildings and exposed soil. Due to solar illumination and the nominal angle used for LIDAR data

acquisition, some buildings and higher vegetation presented occluded areas, treated in a similar way as shadows and grouped in a land cover class.

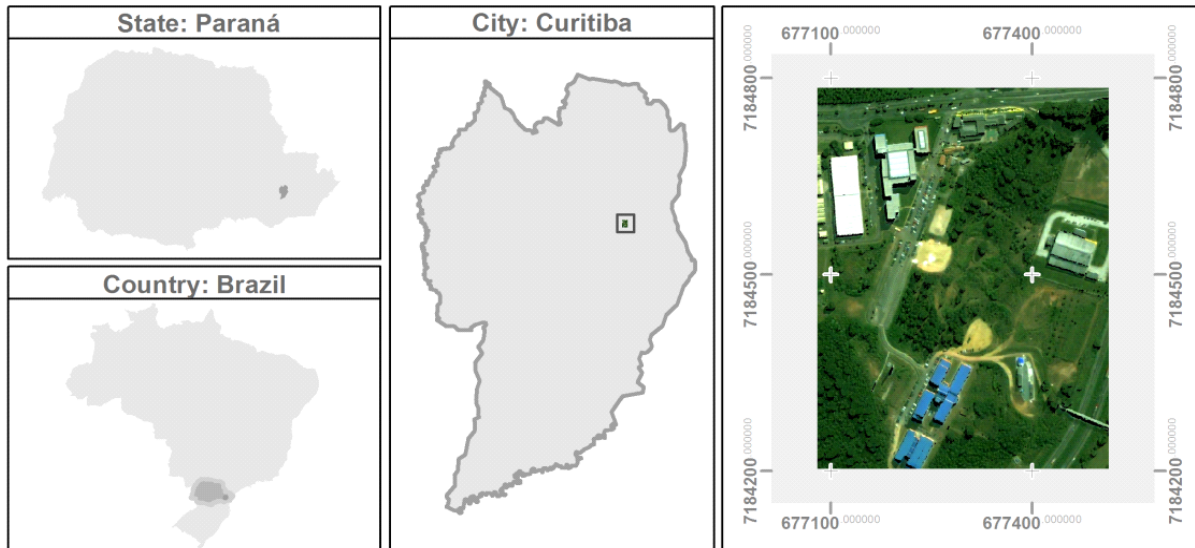


Figure 1: General location of the study area is shown on left and center and exact location on right. Coordinates are shown in UTM under SAD 69 Brazil Datum.

The definition of information classes for Land Cover/Land Use (LCLU) map composition was based on mapping goals, related to University (UFPR) campus surveillance and monitoring activities. Seven classes were considered to represent the most important LCLU classes present in the study area: occluded and shadowed areas (obtained from mask application), buildings, trees, grass, shrubs, roads, sidewalks and exposed soil. Amongst these

classes, spectrally different objects were found, i.e. buildings with rooftop composed of different materials, an object found in both illuminated and shadowed areas and also different forest types. Spectral characterization of such different objects was achieved using 18 spectral classes. Table 1 presents spectral classes and corresponding information classes used for map legend composition.

Spectral Class	Information Class	Spectral Class	Information Class
Dark Rooftop	Building	Needle-leaved Tree	Tree
Bright Rooftop		Broad-leaved Tree	
Blue Rooftop		Grass	Grass
Gray Rooftop		Shadowed Grass	
Dark Blue Rooftop		Shrubs	Shrub
Sidewalk	Shadowed Shrub		
Shadowed Sidewalk	Sidewalk	Flat Road	Road
Bright Exposed Soil		Elevated Road	
Dark Exposed Soil		Shadowed Road	

Table 1: Information layer mean value per spectral class and corresponding information classes.

2.2 Data Source

2.2.1. Quickbird Imagery

In this work Quickbird Imagery and LIDAR data were used in a complementary manner. Quickbird multispectral and panchromatic images were collected on December

2002, with off-nadir view and spatial resolution of 2.5 m and 0.7 m respectively. The principal components of multispectral bands were calculated and the first component was replaced by the panchromatic image through a pan-sharpening method. The final image used has the spatial resolution of 0.7 m and spectral resolution

similar to the original multispectral bands. Near infrared (NIR) and red bands were used to generate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), given by equation 1 below.

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED) \quad (1)$$

2.2.2. LIDAR Data

Lidar (Light Detection and Ranging) data were acquired by ALTM 2050 Optech sensor in September 2003 from a flight height of 1000 m, frequency of 50000 pulses/second and a view angle of 10° off-nadir (20° sweeping view). An application to generate the intensity image and Digital Surface Model (DSM) was developed in Matlab programming language. The final resolution of 0.7 m was obtained. The highest laser pulses within cells were used to generate a DSM.

Control points from the DSM were used to orthorectify the pan-sharpened image with photogrammetric skills, through projective transformation calculation. A Digital Elevation Model (DEM) was developed using contour lines obtained by photogrammetric restitution of 1:2000 topographic map. These two models allowed generation of Normalized Digital Surface Model (NDSM) using equation 2 below and shown in Figure 2:

$$NDSM = DSM - DEM \quad (2)$$

3. Digital Image Processing

3.1. Image Segmentation

The set of seven images formed by red, green, blue and infrared Quickbird bands, NDVI, LIDAR intensity image and LIDAR derived NDSM were segmented using a multi-resolution segmentation approach. The algorithm FNEA (Fractal Net Evolution Approach) implemented in the e-Cognition software was introduced by Baatz and Schäpe (2000). It is a bottom-up region merging technique in which each pixel is considered a separate object at start. Using heterogeneity minimization as criteria, pairs of adjacent objects are compared and the ones representing the smallest growth of defined heterogeneity are merged. When user-defined thresholds, such as scale parameter and homogeneity criterion are exceeded, the process stops. The homogeneity criterion includes two mutually exclusive properties, color and shape. Shape is further divided into two equally exclusive properties, smoothness and compactness. The scale parameter is a measure for the maximum change in heterogeneity and it controls the size of image object (Baatz et al., 2004).

The thresholds for image segmentation were empirically defined after several tests considering generated polygons spectral homogeneity. Trial and error approach validated by the visual inspection of the output quality is a common technique for segmentation threshold definition (Mallinis et al., 2008; van Coillie et al., 2007; Pu et al., 2011). The goal was to obtain larger polygons with the highest spectral homogeneity possible. In other terms, as pointed out by Neubert et al. (2008), over-segmented images can be further treated using image classification and object merging while under-segmentation is a more

critical problem.

3.2. Object Features

Beyond tone, additional information can be derived for image classification in an Object-based Image Analyses approach. Based on image objects, features describing shape, texture, and context information can be derived. Available features on eCognition are distinguished as intrinsic features, topological features and context features. Intrinsic features are objects physical properties such as color, texture and form of objects. Topological features describe the geometric relationships between the objects or the whole scene. Contextual features describe the objects semantic relationships (Baatz et al., 2004).

Spectral features (42 descriptors) and shape features (40 descriptors) of the resulting image objects were calculated (Table 2). Detailed information on theory behind used object features can be found in Baatz et al. (2004). The dataset of 89 information layers composed of 4 Quickbird original bands, NDVI, LIDAR intensity image, NDSM and the 82 spectral and shape features is shown in Table 2.

Feature selection based on decision tree induction was performed, when spectral and shape features were classified along with the remaining dataset. The 89 information layers submitted to J48 and RepTree algorithms provided smaller datasets for image classification. Decision trees ability for feature selection is a well known characteristic of such approach (Chubey et al., 2006; Rokach and Maimon, 2008; Chan and Paelinckx, 2008; Sesnie et al., 2008; Ke et al. 2010, Clark et al., 2010).

3.3. Experiments

From the original dataset composed of 89 information layers, experiments including different layer combinations were performed, as indicated in Table 2.

Aiming to evaluate the contribution of different types of images to map accuracy, such as LIDAR derived data, segmented images and their descriptors and vegetation indices, several band combinations were tested.

Datasets increasingly larger were formed to test their contribution for final classification accuracy, forming experiments one to eight indicated in Table 2. Each experiment formed by the different datasets was classified using decision trees and also using Maximum Likelihood (ML) and Minimum Distance (MD) algorithms.

Experiment one compared results obtained with algorithms applied to Quickbird imagery, bands 1,2,3 and 4. Experiment two, three and four included NDVI, LIDAR Intensity Image and NDSM, one at a time, respectively. Experiment five included Quickbird data and also LIDAR derived data.

The remaining experiments, six to eight, included image object descriptors of spectral and shape features from multi-resolution segmentation. Experiment eight includes all 89 information layers. Since decision trees have the ability to select the most important information for data classification, results from experiment eight were used to

Image	Information	Experiment								Image	Information	Experiment								
		1	2	3	4	5	6	7	8			1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Quickbird blue band	x	x	x	x	x	x	x	x	46	Standard deviation to neighbors (4)									x
2	Quickbird green band	x	x	x	x	x	x	x	x	47	Standard deviation to neighbors (5)									x
3	Quickbird red band	x	x	x	x	x	x	x	x	48	Standard deviation to neighbors (6)								x	x
4	Quickbird infra-red band	x	x	x	x	x	x	x	x	49	Standard deviation to neighbors (7)									x
5	Normalized Difference Vegetation Index		x			x			x	50	Area									x
6	Laser Scanner Intensity Image			x		x			x	51	Length									x
7	Normalized Difference Surface Model				x	x	x	x	x	52	Width									x
8	Maximum value (1)*						x	x	x	53	Length/width							x		x
9	Maximum value (2)								x	54	Compactness									x
10	Maximum value (3)						x	x	x	55	Elliptic Fit									x
11	Maximum value (4)						x		x	56	Rectangular Fit							x		x
12	Maximum value (5)							x	x	57	Border/length									x
13	Maximum value (6)						x		x	58	Shape Index									x
14	Maximum value (7)								x	59	Density							x	x	x
15	Maximum Difference						x	x	x	60	Main direction								x	x
16	Mean value (1)								x	61	Asymmetry									x
17	Mean value (2)						x		x	62	X center								x	x
18	Mean value (3)						x	x	x	63	Y center									x
19	Mean value (4)								x	64	X min									x
20	Mean value (5)						x	x	x	65	Y min									x
21	Mean value (6)								x	66	X max									x
22	Mean value (7)								x	67	Y max									x
23	Minimum value (1)								x	68	Distance to image border									x
24	Minimum value (2)						x	x	x	69	X distance to image left border									x
25	Minimum value (3)							x	x	70	Y distance to image top border								x	x
26	Minimum value (4)								x	71	X distance to image right border								x	x
27	Minimum value (5)						x	x	x	72	Y distance to image bottom border									x
28	Minimum value (6)							x	x	73	Distance to line 1								x	x
29	Minimum value (7)						x	x	x	74	Length of main line no cycles							x	x	x
30	Ratio (1)							x	x	75	Length of main line regarding cycles									x
31	Ratio (2)						x	x	x	76	Width only main line									x
32	Ratio (3)							x	x	77	Length/Width (only main line)									x
33	Ratio (4)						x	x	x	78	Curvature/length (only main line)								x	x
34	Ratio (5)						x		x	79	Standard deviation curvature (only main line)									x

Table 2: Descriptors of polygon features calculated from resulting multi-resolution segmentation of Quickbird images, NDVI and Intensity image and NDSM altogether.

Image	Information	Experiment								Image	Information	Experiment								
		1	2	3	4	5	6	7	8			1	2	3	4	5	6	7	8	
35	Ratio (6)								x	80	Degree of skeleton branching									x
36	Standard deviation (1)								x	81	Number of segments									x
37	Standard deviation (2)								x	82	Average area represented by segments									x
38	Standard deviation (3)								x	83	Standard deviation of area represented by segments									x
39	Standard deviation (4)								x	84	Maximum branch length									x
40	Standard deviation (5)								x	85	Average branch length							x	x	x
41	Standard deviation (6)							x	x	86	Average Length of Branches of Order 1									x
42	Standard deviation (7)								x	87	Number of branches of length 1								x	x
43	Standard deviation to neighbors (1)								x	88	Number of branches of order 1									x
44	Standard deviation to neighbors (2)								x	89	Number of segments of order 1									
45	Standard deviation to neighbors (3)								x											

* Numbers inside brackets refers to Quickbird bands for which descriptors were calculated.

Table 2 (cont.): Descriptors of polygon features calculated from resulting multi-resolution segmentation of Quickbird images, NDVI and Intensity image and NDSM altogether.

compose experiments six and seven. Experiment six includes information layers selected by RepTree decision tree algorithm, containing 24 layers as indicated in Table 2. Experiment seven includes information layers used by J48 algorithm for decision tree induction, containing 30 information layers.

3.4. Information Extraction

In order to reduce data dimensionality and classify information from different data sources, such as Quickbird imagery and LIDAR data, decision trees were selected. The algorithm is well fitted for data selection, since it applies the gain equation for each layer of the dataset, defining which better separates classes of interest. Due to their power in dealing with non-parametric data, decision tree based approaches were selected to extract information from available data sources. Algorithms J48 and Reptree, available in University of Waikato (New Zealand) WEKA® software, were applied.

Results obtained from these algorithms can be compared to those extracted from classical image classification methods Maximum Likelihood (ML) and Minimum Distance (MD) algorithms using the same dataset. ML was chosen given its wide usage amongst remote sensing users and MD was chosen because of its ability to deal with data presenting a non-normal distribution.

Rules generated from decision trees induction with J48 and Reptree algorithms were converted into if-else code implemented in Matlab software language. The routine was written as an expert system able to classify the pixels and polygons from entry data and produce a LCLU Map.

Accuracy for the final map was accessed by verification

samples collected over the image and confirmed from numerous field surveys. These samples were independent from training samples. The training data set was collected at Envi 4.3® software and exported to txt format, to be used in the WEKA® data mining software. The same dataset was used to classify the image by traditional and supervised algorithms available at ENVI 4.3® software.

Two algorithms in C++ language were developed so as to convert the exported txt training data set to arff format, used by WEKA®, and to exchange results obtained from the decision tree algorithms to Matlab language. The Matlab application was written using the if-else structure, based on decision tree rules, used to obtain the LCLU Map.

4. Results and Discussion

The results obtained with the image segmentation are shown in Figure 2. Note that all polygons are homogeneously defined, although over-segmentation can also be observed. This was the goal in defining image segmentation parameters in opposition to under segmentation, where parts of objects from other classes may be included in a unique polygon. Over-segmentation can be solved with correct classification; on the other hand, under-segmentation cannot be corrected on following processing steps. Scale parameter of 40 and an heterogeneity criterion composed by shape/colour factor of 0.1 and compactness/ smoothness factor of 0.5 were adopted.

Figure 2 also shows the best LCLU Map obtained with J-48 decision tree classifier for the selected layers. Image

segmentation, object based approach and decision tree classifiers techniques visually seem to have produced a proper map with no salt and pepper effects and coherent objects definition, overall accuracy results can uphold this aspect (Table 3). Some experiments are missing accuracy values because trees induced with selected

datasets have not been induced one more time with the other algorithm. Values indicated with the * symbol are repeated, because it is impossible to classify all 89 layers with decision trees, since information selection procedures are embedded into the algorithm.

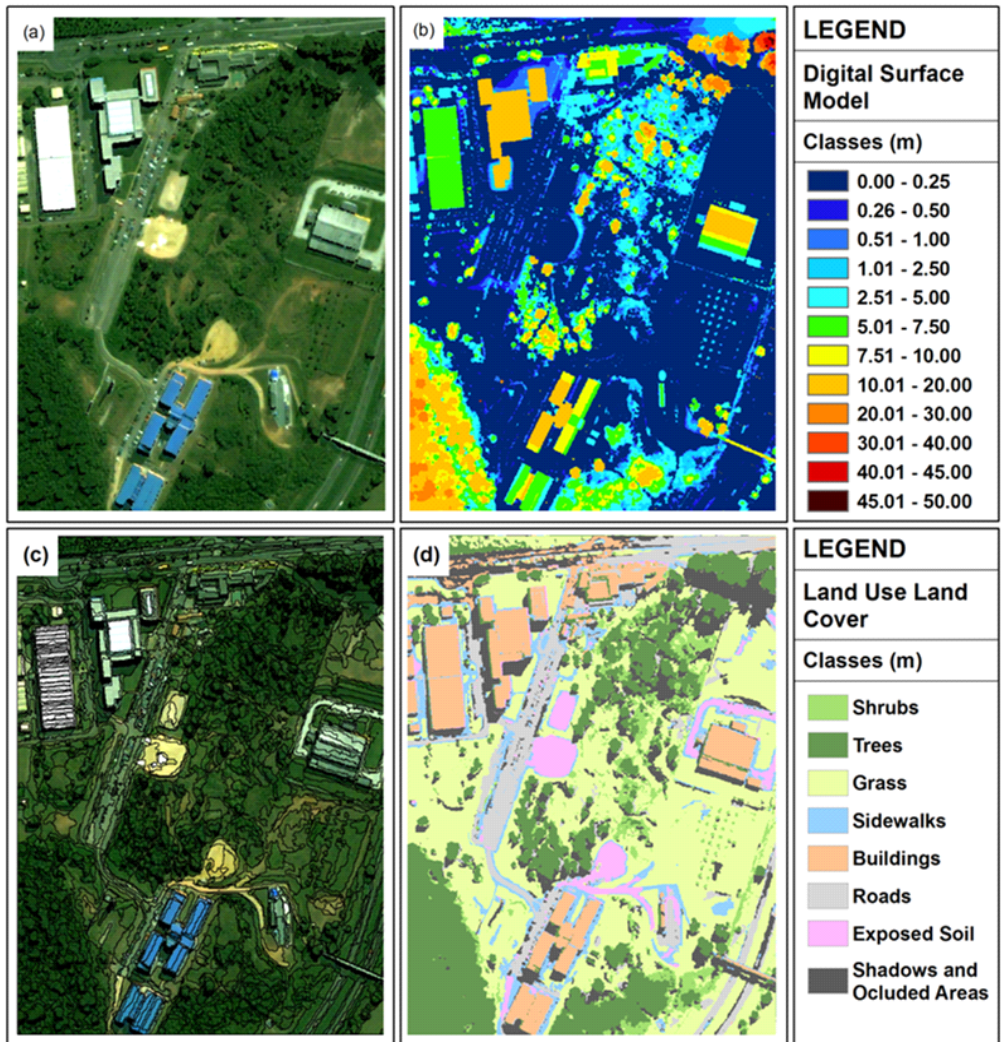


Figure 2: Quickbird natural color image composition with red, green and blue bands in respective RGB channels in (a); NDSM in (b); resulting segmentation in (c) and final LCLU Map in (d).

Algorithm	Experiments							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Minimun Distance	68.58	68.85	82.59	83.89	84.89	58.93	69.11	78.41
Maximum Likelihood	81.77	81.30	88.96	90.55	90.62	68.18	65.31	68.18
Decision Tree (J48)	76.61	77.64	85.22	90.23	92.84		90.11*	90.11*
Decision Tree (Reptree)	75.02	76.89	85.37	89.54	90.53	91.79*		91.79*

Table 3: Image classification experiments results.

Accuracy results for all dataset experiments classified by MD, ML, and decision tree J48 and RepTree algorithms

are shown in Table 3. When Quickbird bands are classified alone (experiment 1), MD performed poorly,

achieving 68.58% accuracy. ML classifier resulted on 81.77%, higher accuracy than other algorithms. Comparison of experiments 1 and 2 show that addition of NDVI to Quickbird bands caused almost no effect on final map accuracy, for all classifiers. Inclusion of LIDAR intensity (experiment 3) image provided better accuracy quality for all classifiers compared to Quickbird bands and NDVI datasets. LIDAR NDSM (experiment 4) have an even stronger effect on map quality, as expected, since object heights is an important data for class separation. All classifiers performed better when NDSM was used along Quickbird imagery.

Even better results were achieved for all algorithms when Quickbird and LIDAR derived data were classified. This was the first experiment resulting on higher quality maps when decision trees were used, otherwise ML presented better performance. Experiment 5 dataset allowed the minimum of 8% accuracy increment for ML classifier and more than 15% for other classifiers. ML achieved 90.62% accuracy, very similar result as RetTree decision tree algorithm. The most promising result for experiment 5 dataset, 92.84% accuracy, was achieved using J48 algorithm.

From the 89 original layers used to build trees, J-48 algorithm selected only 30 layers and RepTree algorithm used even less information layers, selecting 24 layers to classify the dataset.

Inclusion of image object features showed less importance than multi-source data combination. Object features degraded or maintained results obtained with Quickbird and LIDAR data classification, except for a slightly increase when experiment 5 dataset is compared to experiments 6 and 8 classified using RepTree algorithms.

For larger datasets (experiments 6 to 8) decision tree performed better than MD and ML classifiers. Inclusion of object features to image classification degraded performance of MD and ML classifiers. It is important to remember that no object feature showed non-normal statistical distribution.

5. Conclusion

The object oriented approach is an essential tool for high resolution image classification as multi dataset is available. The segmented image obtained was considered to be within expected, with homogeneous polygons and over-segmented classes, but no under-segmented ones. This can be considered a good result since over-segmentation appears to favor image classification more than under-segmentation. Over-segmentation of some classes could be efficiently reduced with correct classification of more homogeneous polygons, instead of producing larger polygons and higher feature variability.

Although decision trees performed well for more than 20 information layers, smaller datasets could be better classified when ML algorithms were used. Larger dataset degraded performance of ML and MD classifiers.

Object features contribution seems not as important as

multi-source data combination. LIDAR derived data provided much greater accuracy increment when added to original Quickbird bands. Inclusion of LIDAR data provided a rich and powerful dataset from which higher accuracy map was obtained. NDSM usage had a higher impact on accuracy (approximately 10% higher) than object oriented approach adoption (increase of 1 to 3%) or application of decision tree based classifier (increase of 2 to 3%).

Accuracy results have shown that decision trees can be used as efficient features selection tools, reducing a dataset to approximately 30% of its original size.

Results obtained demonstrate relevance of multi-source data adoption and application of available object oriented approach and decision tree classifiers techniques for information extraction. The image classification method adopted in this work sounds very promising considering the diversity of classes in urban environment. One must bear in mind that remote sensing image classification techniques should be continuously improved to provide a reliable data for decision-making in urban areas.

References

- Alesheikh, A.A., Fard, F.S.N., 2002. Improving maximum likelihood classification accuracy using a-priori probability. In: Proc. of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing, Kathmandu, Nepal.
- Antunes, A.F.B., Lingnau, C., Centeno, J.A.S.C., 2003. Object oriented analysis and semantic network for high resolution image classification. *Boletim de Ciências Geodésicas* 9(2), 233-242.
- Avrithis, Y.S., Kollias, S.D., 1997. Fuzzy image classification using multiresolution neural networks with: applications to remote sensing. In: Proc. of 13th International Conference on Digital Signal Processing, Santorini, Greece, pp. 261-264.
- Baatz, M., and Schäpe, A., 2000. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58(6), 12-23.
- Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynen, M., Höltje, A., Hofmann, P., Lingenfelder, I., Mimler, M., Sohlbach, M., Weber, M., Willhauck, G., 2004. *eCognition User Guide*, Definiens Imaging.
- Camps-Valls, G., Rodrigo-González, A., 2008. A classification of satellite images with regularized AdaBoosting of RBF Neural Networks. *Studies in Computational Intelligence*, Springer Berlin Heidelberg, vol. 83, pp. 307-326
- Chan, J.C.-W., Paelinckx, D., 2008. Evaluation of Random Forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment* 112(6), 2999-3011.
- Chehata, N., Guo, L., Mallet, C., 2009. Airborne Lidar feature selection for urban classification using random forests. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX(Part 3/W8)*, 207-212.
- Chen, Y., Su, W., Li, J., Sun, Z., 2009. Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LIDAR data over urban areas. *Advances in Space Research*

43(7), 1101-1110.

Chubey, M.S., Franklin, S., Wulder, M.A., 2006. Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* 72(4), 383-394.

Clark, M.L., Aide, T.M., Grau, H.R., Riner, G.A., 2010. Scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. *Remote Sensing of Environment* 114(11), 2816-2832.

Cohen, B., 2004. Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts. *World Development* 32(1), 23-51.

Foody, G.A., Cutler, M.E., 2002. Remote sensing of biodiversity: using neural networks to estimate the diversity and composition of a Bornean tropical rainforest from Landsat TM data. In: Proc. of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, Canada, pp. 497-499.

Foody, G.M., 2006. *Pattern Recognition and Classification of Remotely Sensed Images by Artificial Neural Networks*. Ecological Informatics Springer Berlin Heidelberg. pp. 459-477.

Friedl, M.A., Brodley, C.E., 1997. Decision Tree Classification of Land Cover from Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 61(3), 399-409.

Gamba, P., Dell'Acqua, F., Dasarathy, B.V., 2005. Urban remote sensing using multiple data sets: past, present, and future. *Information Fusion* 6(4), 319-326.

Guo, L., Chehata, N., Mallet, C., Boukir, S., 2010. Relevance of airborne Lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(1), 56-66.

Han, J., Kamber, M., 2001. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann, 550p.

Kabolizade M., Ebadi, H., Ahmadi, S., 2010. An improved snake model for automatic extraction of buildings from urban aerial images and Lidar data. *Computers, Environment and Urban Systems* 34(5), 435-441.

Ke, Y., Quackenbush, L.J., Im, J., 2010. Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification. *Remote Sensing of Environment* 114(6), 1141-1154.

Marée, R., Geurts, P., Visimberga, G., Wehenkel, J.P.L., 2003. An empirical comparison of machine learning algorithms for generic image classification. In: Proc. of the 23rd SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence, Cambridge, UK, pp. 169-182.

Martens, J., Wets, G., Vanthienen, J., Mues, C., 1998. An initial comparison of a fuzzy neural classifier and a decision tree based classifier. *Expert Systems with Applications*, vol. 15, p. 375-381.

McIver, D.K., Friedl, M.A., 2002. Using prior probabilities in decision-tree classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 81(2-3), 253-261.

Michie, D., Spiegelhalter, D.J., Taylor, C.C. (Eds.), 1994. *Machine Learning, Neural and Statistical Classification*. New York City, NY, USA: Ellis Horwood, 290 p.

Nangendo, G., Skidmore, A.K., van Oosten, H., 2007. Mapping East African tropical forests and woodlands - a comparison of classifiers. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 61(6), 393-404.

Neubert, M., Herold, H., Meinel, G., 2008. Assessing image segmentation quality - Concepts, methods and application. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J. (Eds.), *Object Based Image Analysis*. Springer, Heidelberg, Berlin, pp. 760-784.

Pal, M., Mather, P.M., 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment* 86(4), pp. 554-565.

Park, S.-S., Seo, K.-K., Jang, D.-S., 2005. Expert system based on neural networks for content-based image retrieval. *Expert Systems with Applications* 29(3), 589-597.

Pinho, C.M.D., Kux, H.J.H., 2004. Dados do QuickBird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, município de São José dos Campos, SP, Brasil. In: XI Simpósio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Anais, Santiago, Chile.

Pu, P., Landry, S., Yu, Q., 2011. Object-based urban detailed land cover classification with high spatial resolution IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing* 32(12), 3285-3308.

Rokach L., Maimon O., 2008. *Data mining with decision trees: theory and applications*. World Scientific Publishing, Singapore, 244p.

Russell, S.J., Norvig, P. (2003) *Artificial intelligence: a modern approach*. New Jersey: Prentice Hall, 1081 p.

Safavian, S.R., Langrebe, D.A., 1991. Survey of tree classifier methodology. *IEEE Transactions Systems, Man Cybernetics* 21(3), 660-674.

Santos, T. Freire, S. Navarro, A. Soares, F. Dinis, J. Afonso, N. Fonseca, A. Tenedório. J. A., 2010. Extracting buildings in the city of Lisbon using QuickBird images and LIDAR data. In: Proc. of GEOBIA, Ghent, Belgium.

Secord, J., Zakhor, A., 2007. Tree Detection in Urban Regions Using Aerial Lidar and Image Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 4(2), 196-200.

Sesnie, S.E., Finegan, B., Gessler, P.E., Thessler, S., Bendana, Z.R., Smith, A.M.S., 2010. The multispectral separability of Costa Rican rainforest types with support vector machines and Random Forest decision trees. *International Journal of Remote Sensing* 31(11), 2885-2909.

United Nations, 2002. *World urbanization prospects: the 2001 revision*. New York City, NY, USA: United Nations.

United Nations, 2007. *Urban Population, Development and the Environment 2007*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Available in: www.unpopulation.org

Utgoff, P., 1999. *Decision Trees*. In: Wilson, R. A., Keil, F. C. (Eds.) *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*, Massachusetts: MIT Press, 1104 p.

van Coillie, F.M.B., Verbeke, L.P.C., De Wulf, R.R., 2007. Feature selection by genetic algorithms in object-based classification of IKONOS imagery for forest mapping in Flanders, Belgium. *Remote Sensing of Environment* 110(4), 476-487.

Viñas, O., Ruiz, A., Xandri, R. Palà, V., Arbiol, R., 2006.

Combined use of LIDAR and QuickBird data for the generation of land use maps. In: Proc. of the Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands.

Witten, I.H., Frank, E. (Eds), 2005. Data Mining: practical machine learning tools and techniques, 2nd edition, San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann.

Yang, C.-C., Prasher, S.O., Landry, J.-A., Ramaswamy, H.S., Ditommaso, A., 2000. Application of artificial neural networks in image recognition and classification of crop and weeds. Canadian Agricultural Engineering 42(3), 147-152.

Ye, N. (Ed.), 2003. The Handbook of data mining. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 689 p., 2003.

Zhou, G., Song, C. Simmers, J. Cheng, P., 2004. Urban 3d GIS from LIDAR and digital aerial images. Computers & Geosciences 30(4), 345-353.

Zingaretti, P., Frontoni, E., Bernardini, A., Malinverni, E.S., 2008. Automatic Classification of Central Italy Land Cover: Comparative Analysis of Algorithms, In: Proc. of GEOBIA, Calgary, Canada.