



## APLICAÇÕES URBANAS DA DETECÇÃO REMOTA

A. Fonseca<sup>1</sup>, T. Santos<sup>2</sup>, A. Navarro<sup>3</sup>, S. Freire<sup>2</sup>, F. Soares<sup>3</sup>, Nuno Gomes<sup>2</sup>,  
Miguel Brito<sup>2</sup>, N. Afonso<sup>1</sup>, J.N. Lima<sup>1</sup>, J. Casaca<sup>1</sup>, J. A. Tenedório<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa (jmcasaca, anafonseca, nafonso)@lnec.pt

<sup>2</sup>e-GEO, Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Avenida de Berna, 26-c, 1069-061 Lisboa, Portugal (teresasantos, sfreire, ja.tenedorio)@fch.unl.pt

<sup>3</sup>LATTEX-IDL, Faculdade de Ciências da universidade de Lisboa, Campo Grande, Ed. C8, piso 2, 1749-016 Lisboa Portugal (acferreira, fsoares)@fc.ul.pt

**Palavras-chave:** Ordenamento urbano, Detecção Remota, VHRI

**Sumário:** Este poster apresenta o trabalho e as perspectivas futuras dos estudos realizados no âmbito dos Planos de Investigação Programada (PIP) do LNEC na área das «Aplicações Urbanas da Detecção Remota» e do Projecto (PTDC/GEO/64826/2006) «GEOSAT - Metodologias para extracção de informação GEOgráfica a grande escala a partir de imagens de SATéelite de alta resolução», financiado pela FCT, e realizado em colaboração com a Universidade Nova de Lisboa e a Universidade de Lisboa.

### 1. Introdução

Os PIP do LNEC contemplam, desde 2001, estudos no âmbito das «Aplicações Urbanas da Detecção Remota», em que se exploraram imagens obtidas pelos satélites de observação da terra para monitorização da dinâmica das cidades, nomeadamente da cidade de Lisboa, induzidas por novas construções, demolições, plantação de árvores, transformação de baldios em zonas de agricultura urbana ou transformação de áreas verdes em parques de estacionamento, etc.. Dando continuidade a estes estudos, o LNEC colaborou numa candidatura a financiamento FCT, que deu origem ao Projecto GEOSAT, cujos trabalhos decorreram de 2008 a 2011 [1]. Estes estudos focaram-se no processamento geométrico de imagens de muito alta resolução (*Very High Resolution images* - VHRI), tal como: georreferenciação, ortorrectificação, geração de modelos numéricos do terreno, processamento de pares estereoscópicos de imagens; e no processamento radiométrico, nomeadamente detecção de alterações, reconhecimento de padrões para geração de mapas temáticos, extracção de objectos, tais como edifícios e vias, e no desenvolvimento de aplicações de gestão urbana. O Projecto GEOSAT propunha a coexistência, para a gestão municipal, de dois níveis integrados de informação no SIG municipal: um nível base de cartografia oficial e um nível de informação geográfica obtida por imagens de satélite, actualizável todos os seis meses, com metodologias simples de extracção de informação a partir dessas imagens.

Os dados utilizados, referentes à cidade de Lisboa, foram imagens multiespectrais (de muito alta resolução espacial) dos satélites IKONOS (4m, 1m), de 2002, QuickBird (2,4m, 0,6m) datadas de 2005 e 2007, um par de imagens do satélite IKONOS, adquirida em Junho de 2008, uma imagem Worldview de 2010 (0,50m), um modelo digital de terreno obtido a partir da cartografia numérica 1:1 000 da Câmara Municipal de Lisboa, datada de 1998, modelos digitais de superfície obtidos por LiDAR (Light Detection and Ranging) em 2006, gentilmente cedidos pela empresa LOGICA, e por processamento de um par estereoscópico de imagens IKONOS de 2007.

## 2. Detecção de Alterações

As metodologias de detecção de alterações usando imagens de satélite de alta resolução permitem identificar alterações de ocupação do solo e podem ser utilizadas para detectar zonas onde a informação geográfica (IG) está desactualizada e para extrair informação para a sua actualização.

Foram testados métodos de análise de imagem orientadas por objectos (GEOBIA - GEographic Object-Based Image Analysis) sobre imagens de muito alta resolução e dados LIDAR, com o objectivo de cartografar a situação do coberto do solo, numa data (Fig. 1-a) e em seguida, baseado numa abordagem alteração – não alteração, foi montado um sistema de alerta para o tema das construções e extraída informação para actualizar o suporte cartográfico (Fig. 1-b) [2].

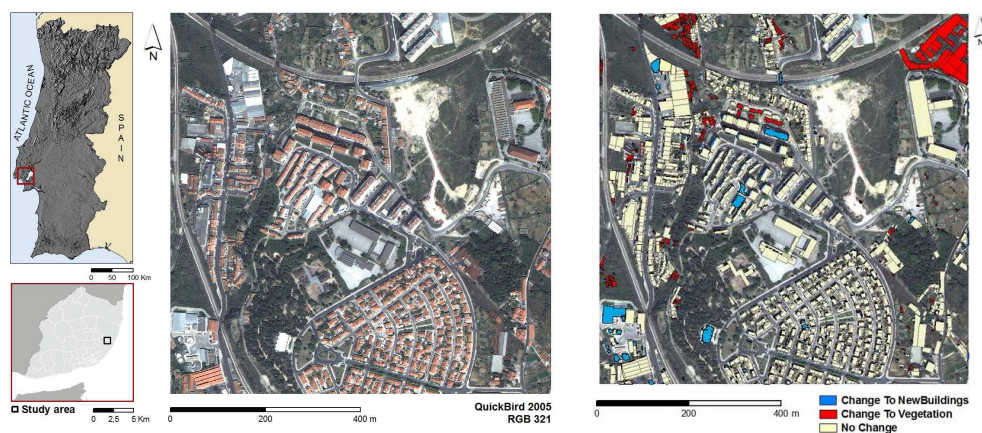


Figura 1 – Resultados da aplicação de GEOBIA para detecção de alterações entre 1998 e 2005/6.

## 3. Extração de Objectos

No que diz respeito à extração de objectos (edifícios, vias de comunicação) para fazer actualizações parciais da IG foi utilizada a metodologia de segmentação hierárquica de imagens designada *waterfall-plus*, em que a extração dos telhados de edifícios foi realizada usando técnicas de análise radiométrica de imagens seguida por segmentação morfológica e a extração de vias foi obtida através da metodologia *waterfall* [3] .

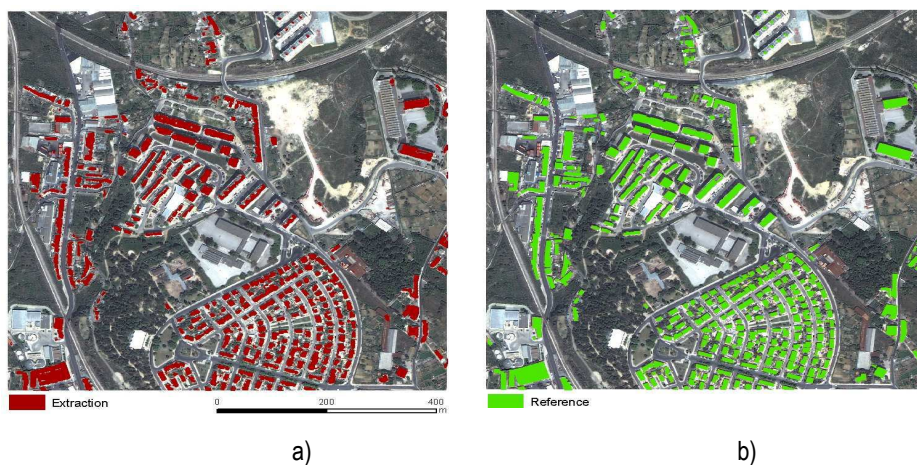


Figura 2 – Comparação entre a extração automática de edifícios a) e a extração manual b)

Foi também avaliada a utilidade de integrar diferentes conjuntos de dados. Foi usada a mesma metodologia para extrair edifícios e vias de comunicação só a partir de imagem de satélite e usando imagem e dados LIDAR. Concluiu-se que a integração dos dados potenciou a extração de informação referente aos edifícios,

com um aumento de precisão de 12% [4]. Dado que os desenvolvimentos no Processamento Digital de Imagens se focam no aumento da automatização da detecção e extração de objectos de interesse, foi analisada a performance de *softwares* comerciais [5] por comparação entre a extração automática de edifícios e a extração manual (Fig.2).

#### 4. Geração de Modelos Numéricos de Terreno

A informação altimétrica é necessária para as operações de ortorrectificação de imagens. Esta informação pode provir de cartografia numérica (Fig. 3 - b) - Modelo Numérico do Terreno (MNT)), de um levantamento aéreo LiDAR (Fig.3-a) - Modelo Numérico de Superfície (MNS<sub>Li</sub>) e pode-se também, fazendo a diferença entre estes, obter um modelo de superfície normalizado que contém os objectos acima do chão (Fig. 3 - c)). O modelo de superfície normalizado foi utilizado como informação adicional para melhorar a extração de objectos e a classificação temática das imagens de satélite [4], [5].

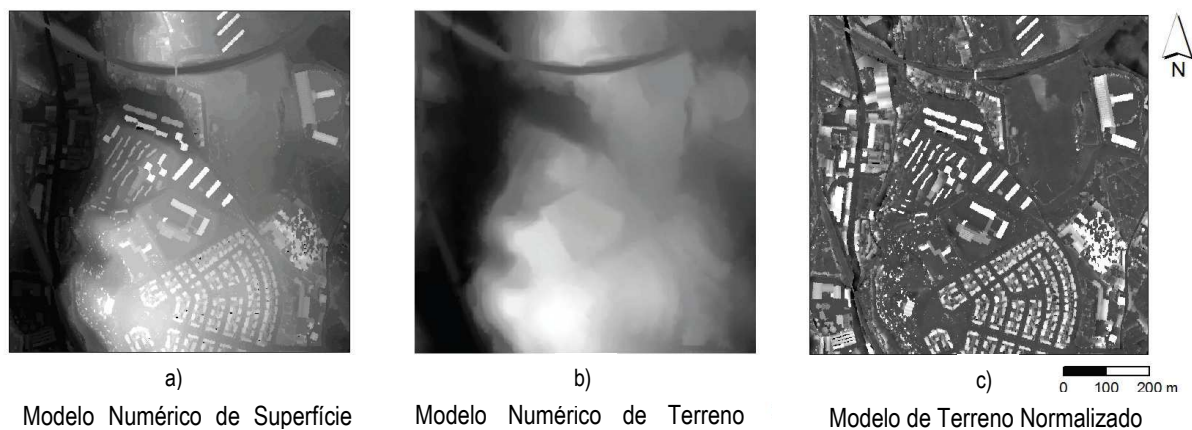


Figura 3 – Modelos Numéricos de superfície, de terreno e normalizado de uma zona da cidade de Lisboa

Foram também realizados testes de produção de um modelo numérico de superfície a partir de geração de um Modelo Numérico de Superfície (MNS) da cidade de Lisboa a partir um par de imagens do satélite IKONOS, adquiridas em Junho de 2008 (MNS<sub>IK</sub>). O MNS<sub>IK</sub> foi comparado com o MNS<sub>Li</sub> e com MNT obtido a partir da informação altimétrica da cartografia numérica à escala 1/1000 da Câmara Municipal de Lisboa (CML). Verificou-se que o MNS<sub>IK</sub> é de menor resolução altimétrica do que o MNS<sub>Li</sub> dado que suaviza variações altimétricas registadas neste último. Em relação ao MNT a comparação só se pode efectuar ao nível do solo em que se verifica também maior resolução altimétrica do MNS<sub>IK</sub>. O trabalho de produção e avaliação deste modelo ainda está em curso.

#### 5. Classificação Temática

No que diz respeito à produção de mapas temáticos de ocupação/uso do solo foram testadas diferentes metodologias e abordados os problemas levantados pelas diferentes geometrias de aquisição das imagens em datas diferentes [5], geradas por diferentes orientações das sombras e dos rebatimentos dos edifícios nas imagens. Uma metodologia GEOBIA hierárquica foi utilizada para classificar um conjunto multitemporal de imagens QuickBird (2005 e 2007) e LiDAR (2006) em sete classes (árvores, arbustos, relva, edifícios, vias, solo nú e água). As zonas de sombras numa imagem foram recuperadas na imagem de outra data (em que não estão na sombra dada a diferente geometria de aquisição) e classificadas [5].

#### 6. Avaliação da Qualidade

Uma das etapas indispensáveis no processo de produção de IG é a avaliação da qualidade. Foram propostas metodologias e estratégias de modelação da incerteza e realizada a avaliação da qualidade posicional e temática de produtos gerados.

No que diz resito à modelação da incerteza foi proposta a modelação dos erros de pertença resultantes da classificação difusa de imagens numéricas multispectrais, com recurso a distribuições estatísticas da família

beta, (Fig. 4). A utilização da função de distribuição beta (FDP) para modelar os erros de pertença proporciona um critério realista, para caracterizar a qualidade das funções de pertença e logo a qualidade da classificação. A adaptação do modelo beta à avaliação da qualidade de mapas temáticos resultantes da classificação difusa de imagens numéricas poderá constituir uma melhoria do seu processo de produção [7, 8] .

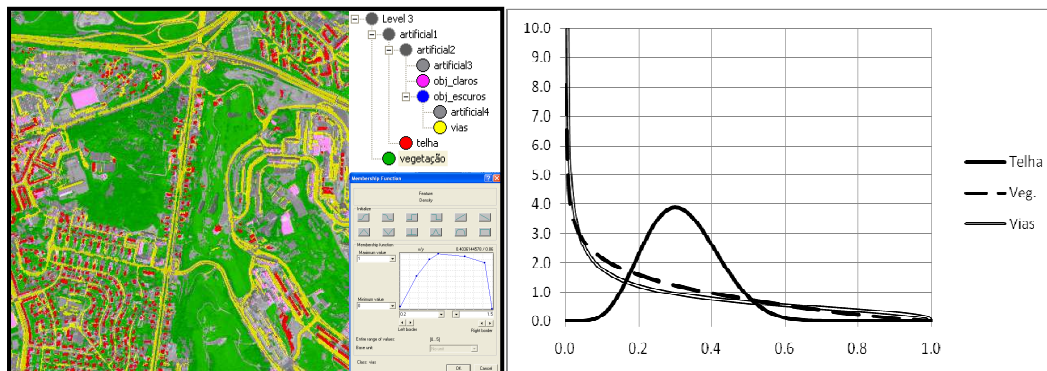


Figura 4 - Extracto da classificação, nomenclatura, função de pertença e gráficos das FDP beta correspondentes à distribuição dos erros de pertença às classes telha, vegetação e vias de comunicação.

Foram comparados os resultados da avaliação de qualidade com especificações nacionais das cartografia 1:1 000, 1:5 000 e 1:10 000. Apresentam-se, na Figura 5 os resultados de concordância entre objectos extraídos por um método semi-automático e as especificações nacionais da cartografia 1.5 000 (A) e 1:10 000 (B) [9, 10].

Os elementos de qualidade de dados espaciais sujeitos a avaliação foram: precisão dos atributos (temática), completude e qualidade geométrica. Os resultados mostram que os valores para a completude variam com as escalas da cartografia e os melhores resultados foram obtidos para a escala 1:10 000. Quanto à qualidade geométrica, uma grande percentagem dos objectos extraídos cumprem as especificações para a escala 1:10 000 e não as cumprem para a escala 1:1000 [10].



Figura 5 - Resultados de concordância entre objectos extraídos por um método semi-automático e as especificações nacionais da cartografia 1.5 000 (A) e 1:10 000 (B)

No Quadro 1 apresentam-se os resultados da avaliação da qualidade posicional da ortorrectificação da imagem QuickBird de 2007. Foram comparados os resultados da avaliação de qualidade com especificações nacionais das cartografia 1:1 000, 1:5 000 e 1:10 000. Como se pode verificar pelo só a partir da escala 1:5 000 (1:10 000, ...) é que se cumpriram as especificações da cartografia oficial, pelo que não se podem extrair objectos, com estas metodologias, para a cartografia 1:1 000, sem degradar a qualidade dessa cartografia.

Quadro 1. Especificações para as tolerâncias planimétricas do Modelo Numérico Topográfico (IGP, 2009) e resultados da avaliação da qualidade da ortorrectificação da imagem QuickBird

Especificações para as Tolerâncias			Resultados obtidos
Escalas	EMQ (m)	90% dos pontos da amostra com desvios < 1.517*EMQ (m)	90% dos pontos da amostra com desvios < 1.517*EMQ (m)
1/1000	< 0.18	0.27	93% pontos com desvios < 1.15m
1/5000	< 0.75	1.25	93% pontos com desvios < 1.15m

## 7. Aplicações de gestão urbana

No seguimento do projecto Geosat foi desenvolvida uma aplicação com o objectivo identificar edifícios adequados para instalação de sistemas solares na cidade de Lisboa e avaliar a área de telhado indicada para a sua instalação [1]. Sabendo a quantidade de radiação solar incidente e quais as melhores áreas num telhado para capturar essa energia, o potencial solar de qualquer cobertura de edifício pode ser facilmente calculado.

O caso de estudo foi desenvolvido numa área localizada no coração da cidade, que ocupa 625 ha (2,5 x 2,5 km). Foi realizada uma análise técnica, considerando a localização ideal para a energia solar fotovoltaica, utilizando dados planimétricos e altimétricos. Os dados planimétricos incluem a cartografia de edifícios da Cartografia Municipal. Para caracterizar a altimetria, utilizou-se um Modelo Digital de Superfície, um modelo normalizado, obtidos a partir de um voo LiDAR de 2006 e de um Modelo Digital de Terreno derivado da Cartografia Municipal.



Figura 6 – Análise do Potencial solar na cidade de Lisboa

## 8 – Considerações Finais

Os estudos no âmbito das Aplicações Urbanas da Detecção Remota prosseguem no Labimagem do LNEC fazendo ênfase na integração de dados de diferentes sensores. Está em fase de conclusão a geração de um modelo numérico de superfície da Cidade de Lisboa com um par estereoscópico de imagens do satélite IKONOS.

Estão em curso testes de integração de imagens de muito alta resolução com imagens termográficas da cidade de Lisboa, gentilmente cedidas pela empresa Município, resultantes do 1º voo realizado com uma câmara térmica.

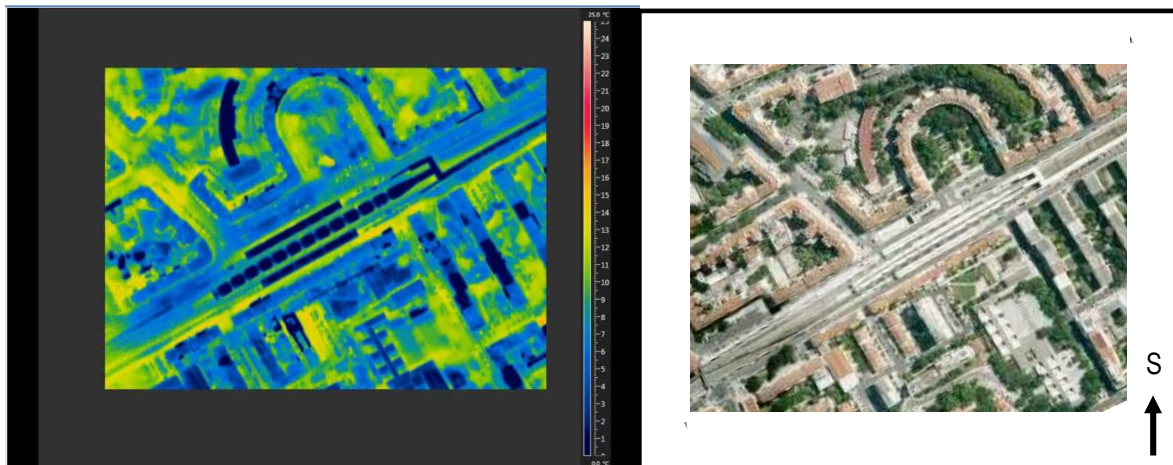


Figura 7 – Imagem na banda térmica e na banda do visível de uma zona do Bairro de Alvalade em Lisboa

As aplicações deste tipo de imagens podem ser: avaliação da eficiência energética de edifícios, detetando perdas de calor (Fig. 7), cartografia e análise da performance térmica de equipamentos (geradores eólicos, centrais térmicas, linhas de alta tensão), etc..

## 9 - Referências

- [1] – SANTOS, Teresa; S. Freire, J.A. Tenedório A. Fonseca, N. Afonso A. Navarro, F. Soares - *The GeoSat Project: Using Remote Sensing to Keep Pace with Urban Dynamics*. Earthzine. Novembro, 2011.  
<http://www.earthzine.org/2011/11/09/the-geosat-project-using-remote-sensing-to-keep-pace-with-urban-dynamics/>
- [2] – SANTOS, Teresa; Sérgio Freire; Ana Fonseca; José António Tenedório – *Producing a Building Change Map for Urban Management*. *EARSeL eProceedings* 10, 1/2011.
- [3] – SOARES, Fernando, A. Navarro, T. Santos, S. Freire, A. Fonseca, N. Afonso, J. Tenedório - *Cartographic data extraction from airborne imagery by hierarchical-based morphologic image processing*. GEOBIA 2010. Ghent, 29 June - 2 July, 2010.
- [4] – SANTOS, Teresa, S. Freire, A. Navarro, F. Soares, J. Dinis, N. Afonso, A. Fonseca, J. Tenedório – *Extracting buildings in the city of Lisbon using Quickbird images and LIDAR data*. GEOBIA 2010. Ghent, 29 June - 2 July, 2010.
- [5] – DINIS, J., A. Navarro, F. Soares, T. Santos, S. Freire, A. Fonseca, N. Afonso, J. Tenedório - *Hierarchical object-based classification of dense urban areas by integrating high spatial resolution satellite images and LIDAR elevation data*. Comunicação enviada ao GEOBIA 2010. Ghent, 29 June - 2 July, 2010.
- [6] – FREIRE, Sérgio, T. Santos, N. Gomes, A. Fonseca, J. A. Tenedório - *Extraction of buildings from QuickBird imagery – what is the relevance of urban context and heterogeneity?* Conferência de Outono da ASPRS

«Geospatial Data and Geovisualization: Environment, Security, and Society ». Orlando, Florida, 15 a 19 de Novembro, 2010.

[7] – CASACA, João, Ana Fonseca José António Tenedório (2009) – *A Modelação Estocástica da Incerteza da Pertença em Classificação Difusa*. CNCG2009, Caldas da Rainha, Maio 2009.

[8] – CASACA, João; Ana Fonseca, Miguel Baio– *A Statistical Strategy to Evaluate the Positional Quality of Numeric Image Maps*. Comunicação apresentada ao “14 European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography. 9-13 Setembro. Tomar, Portugal, 2005.

[9] – SANTOS, Teresa, Sérgio Freire, Inês Portugal, Ana Fonseca, José António Tenedório – *Accuracy Assessment of features extracted from Quickbird Imagery for urban management purposes* - ISRESE2009, Itália, 2009.

[10] – FREIRE Sérgio, T. Santos, A. Navarro, F. Soares, J. Dinis, N. Afonso, A. Fonseca, J. Tenedório– *Extraction of buildings from QuickBird imagery for municipal planning purposes: quality assessment considering existing mapping standards*. GEOBIA 2010. Ghent, 29 June - 2 July, 2010.

[11] – AFONSO, Nuno, Ana Fonseca, José Nuno Lima, Teresa Santos, Sérgio Freire, Ana Navarro, José António Tenedório - *Preliminary assessment of the positional accuracy of a QuickBird orthoimage*. Poster to "International Symposium on Spatial Data Quality" (ISSDQ 2011). Coimbra, November 2011.