

Imagens de altíssima resolução espacial, GEOBIA e Mineração de Dados para o mapeamento detalhado de cobertura da terra em ambientes costeiros, área-teste: Raposa (MA)

Hermann Johann Heinrich Kux¹
Graziela Taís Meneghetti²

^{1,2} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

¹ hermann@dsr.inpe.br

² gzielatm@gmail.com

Resumo

Com a disponibilidade de imagens de satélite com altíssima resolução espacial e de métodos para a sua análise baseados em objeto (GEOBIA na sigla em inglês), é possível o mapeamento detalhado de ambientes costeiros tropicais frágeis. A área-teste, no litoral do Maranhão, próxima à São Luís, constitui-se essencialmente de dunas, praias, estuários e mangues. O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo de conhecimento que permite o mapeamento detalhado destes ambientes naturais no município de Raposa (MA). Utilizou-se o software InterIMAGE, aplicativo para a interpretação de imagens baseado em conhecimento, imagens de alta resolução espacial do satélite *WorldView-2*, associadas a técnicas de mineração de dados e classificação orientada a objeto, visando o mapeamento temático de cobertura da terra. Além do mapeamento detalhado de um setor do município de Raposa, a principal contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento de um novo modelo de conhecimento que permitiu a aplicação do algoritmo minerador de dados GeoDMA (Korting et al., 2013) nos diversos níveis da rede semântica com detalhados parâmetros de segmentação. Este modelo possibilitou uma boa discriminação entre as classes mapeadas, com valores de índices *Kappa* e exatidão global de 0,92 e 0,94 respectivamente.

Palavras-chaves: WorldView-2, Mineração de Dados, GEOBIA

Abstract

With the availability of very high spatial resolution satellite images and of object-based methods (GEOBIA) for its analysis, it is possible to map in detail fragile coastal environments of tropical areas. The test site, located at the coastal zone of Maranhão State (Brazil), close to São Luís, is constituted essentially by dunes, beaches, estuaries and mangroves. The objective of this study is to present a knowledge model which allows the detailed mapping of these natural environments at the municipality of Raposa (Maranhão State). The free available software InterIMAGE was used for the knowledge-based image interpretation of high resolution WorldView-2 satellite images, associated to data mining techniques, aiming a thematic mapping of land cover. Besides the detailed mapping of a sector from Raposa municipality, the main contribution of this work was the development of a new knowledge model, which allowed the application of the data mining algorithm GeoDMA (Korting et al., 2013) at several levels from the semantic net, with detailed segmentation parameters. This model allowed a good discrimination among the classes mapped, with *Kappa* and global accuracy indices of 0.92 and 0.94 respectively.

Keywords: WorldView-2, Data Mining, GEOBIA.

1.Introdução

O crescimento econômico e populacional da região em torno de São Luís, capital do Maranhão, tem causado diversos problemas ambientais, comprometendo os ecossistemas locais. Isto porque são ambientes naturais bastante frágeis de dunas, praias, mangues, estuários e canais de maré. A vegetação de mangue, que está sob proteção ambiental, sofre grande pressão: por um lado como fonte de proteínas por constituir um criadouro natural de peixes e crustáceos, por outro como fonte de lenha, retirada ilegalmente principalmente para padarias e pizzarias.

Com a disponibilidade de imagens orbitais de sistemas sensores com altíssima resolução, como o *WorldView-2*, com oito bandas espectrais (RIBEIRO, 2010; SOUZA, 2012; MENEGHETTI, 2013; MENEGHETTI & KUX, 2014, RODRIGUES, 2014) tornou-se possível o mapeamento detalhado e preciso destes ambientes. Como se trata de um grande volume de dados foi necessário um novo paradigma para a classificação temática dessas imagens: a classificação orientada a objeto (OBIA ou GEOBIA na sigla em inglês). Foi desenvolvido pela PUC/Depto. de Engenharia Elétrica em cooperação com o INPE(DSR e DPI) um software aplicativo livre, o INTERIMAGE (COSTA et al., 2007 e 2008, RIBEIRO, 2010, RIBEIRO et al., 2011), utilizado neste trabalho.

Assim sendo o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de conhecimento para mapear a cobertura da terra na área não-urbanizada do município de Raposa (MA) com imagens do sensor *WorldView-2*, classificação orientada a objeto e técnicas de mineração de dados.

2. Área de estudo

Raposa é um dos quatro municípios que constituem a Ilha do Maranhão, a saber: São Luís (capital), São José do Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Figura 1). Distante de São Luís 28 km, este município é limitado pelas coordenadas S 02° 21' – S 02° 32' e W 44° 00' – W 44° 12'.



Figura -1 Localização da área de estudo.

3. Materiais

3.1 Sistema sensor *WorldView-2*

O sistema sensor orbital *WorldView-2* possui resolução espacial de 0,46m na banda pancromática e 1,84m nas bandas multiespectrais, e uma resolução radiométrica de 11 bits (DIGITALGLOBE, 2010). Dispõe de oito bandas espectrais estreitas que alcançam, no espectro eletromagnético, da faixa do azul até o infravermelho próximo. Em relação aos sistemas sensores de alta resolução anteriores, o *WorldView-2* dispõe de 4 novas bandas, a saber: *Coastal*, *Yellow*, *Red Edge* e o *Near-Infrared 2* que permitem otimizar a discriminação e análise de alvos (DIGITALGLOBE, 2010). As bandas espectrais deste sistema sensor e suas respectivas respostas espectrais constam na Figura 2.

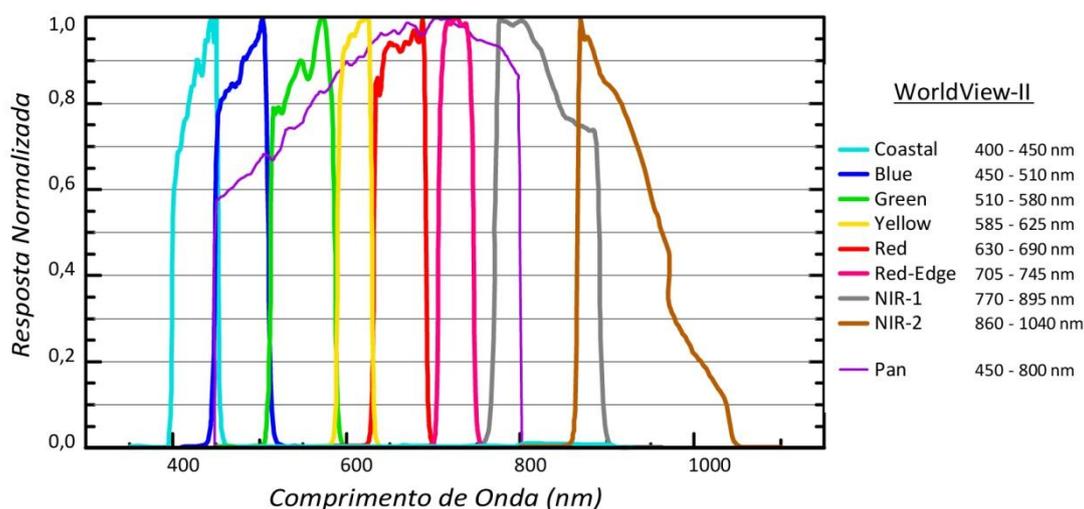


Figura 2 – Respostas espectrais das bandas do sensor *WorldView-2*

Fonte: Adaptado de DIGITALGLOBE (2010)

3.2 Interimage

A concepção de análise do aplicativo InterIMAGE baseia-se num modelo de conhecimento denominado GeoAIDA, desenvolvido anteriormente pela Universidade Leibniz em Hannover (Alemanha) (BÜCKNER et al., 2001), do qual herdou além da estrutura de conhecimento, o design e os mecanismos de controle (COSTA et al., 2007). O processo de interpretação de imagem neste aplicativo é realizado em duas etapas: na primeira, designada como *Top-Down*, (TD) a rede semântica é pré-definida pelo usuário, quando são estabelecidas as hipóteses sobre os objetos existentes na cena. Assim o sistema percorre a rede semântica de cima para baixo, ativando os operadores holísticos, que são como programas executáveis especializados na detecção de uma classe. Para tanto são realizados processamentos na imagem, tais como segmentação, extração de atributos e classificação (KUX et al., 2011). Na segunda etapa, *Bottom-Up* (BU), o sistema percorre a rede semântica no sentido contrário, de baixo para cima. As hipóteses são avaliadas, sendo gerada a descrição simbólica do conteúdo da cena (COSTA et al., 2008). Assim são resolvidos os conflitos espaciais entre hipóteses e o sistema pode aceitá-las parcial- ou totalmente, transformando-as posteriormente em hipóteses validadas (instâncias) (KUX et al., 2011).

A Figura 3 apresenta esquematicamente o processo de classificação pelo sistema InterIMAGE. Ao entrar no sistema, o usuário fornece os dados (raster ou vetoriais) a ser usados na análise, um modelo de conhecimento (uma rede semântica) além de inserir os operadores holísticos TD e as regras BU aos nós da rede semântica. No comando do sistema são criadas as classes existentes na cena, através do processo *Top-Down*, sendo estas hipóteses avaliadas pelos operadores *Bottom-Up* e transformadas em instâncias. No final do processo, os resultados obtidos pelo usuário correspondem a um mapa temático e a descrição simbólica da cena (NOVACK; KUX, 2010).

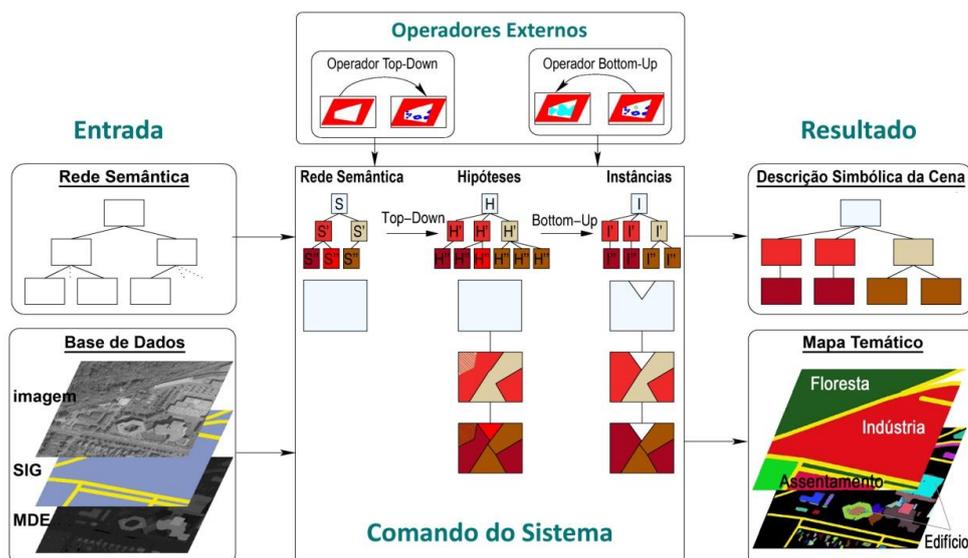


Figura 3 – Esquema do processo de classificação de cobertura da terra pelo InterIMAGE.
 Fonte: Pahl (2008)

4. Metodologia

4.1 Preparação dos dados

Procedeu-se à fusão de imagens para obter a melhor informação espectral das bandas multiespectrais com a resolução espacial detalhada da banda pancromática (SCHOWENGERDT, 2007). Posteriormente foi efetuada a ortorretificação dos dados de imagem, utilizando o modelo rigoroso, usando o aplicativo *OrthoEngine* da *PCI Geomatics* v10.3.2), que dispõe de um módulo específico para a sua correção. Este processo foi avaliado por análises de tendência e precisão, segundo metodologia proposta por GALO; CAMARGO (1994), garantindo que a imagem atendesse aos requisitos do PEC na escala 1:3.333, classe A.

4.2 Classes de cobertura da terra

Foi utilizada a metodologia baseada na análise visual das imagens *WorldView-2* adotada por RIBEIRO (2010), CARVALHO (2011), SOUZA (2012) e RODRIGUES (2014). Foram estabelecidas nove classes de cobertura da terra, a saber: Água Oceânica, Água, Banco de Areia, Canal de maré, Dunas, Duna úmida, Mangue, Vegetação rasteira e Solo Exposto.

4.3. Rede semântica

A rede semântica é uma forma de representação do conhecimento definida por PAHL (2008) como um grafo direcionado onde os vértices (nós) representam objetos, conceitos, ideias, e as arestas (arcos) as relações semânticas entre os nós. Segundo este autor, a rede semântica é uma representação gráfica do conhecimento que, utilizada na análise de uma imagem, demonstra a relação entre os objetos de uma cena. Nos sistemas baseados em conhecimento, a rede semântica representa a relação esperada entre os objetos da imagem, bem como a descrição hierárquica do problema de sua interpretação (NOVACK, 2009).

No InterIMAGE a rede de estruturação das classes é ao mesmo tempo hierárquica e semântica (COSTA et al., 2007). A sua rede hierárquica tem por objetivo representar a estratégia da

sequencia e organização da classificação. Na classificação, a hierarquia subdivide a interpretação da cena em subproblemas de soluções mais simples. Neste estudo, a estratégia utilizada para a construção de redes hierárquicas baseou-se em ARAÚJO (2006), PINHO (2005), NOVACK (2009), RIBEIRO (2010) SOUZA (2012) e RODRIGUES (2014) em que os níveis superiores possuem as classes mais facilmente separáveis, ficando nos níveis inferiores aquelas classes com maior confusão entre si.

Neste estudo, no entanto, considerando que o uso da mineração de dados permite apenas um nível de segmentação na rede semântica, optou-se pela criação de um novo método para a classificação de imagens, utilizando o algoritmo C 4.5 do InterIMAGE. Assim sendo, foi construída uma rede na qual para cada classe foi implantado este algoritmo, agregando os seus parâmetros particulares de segmentação.

4.4 Segmentação

Considerando apenas um nível de segmentação, foi usado o segmentador *TerraAida_Baatz_Segmenter* implantado no InterIMAGE. Este algoritmo desenvolvido por BAATZ; SCHÄPE (2000) utiliza o conceito do crescimento de regiões, no qual os parâmetros de escala, cor, compacidade e pesos de cada banda espectral da imagem são ajustados pelo analista.

4.5. Mineração de dados

A mineração de dados consiste de técnicas que definem, dentre aqueles disponíveis nas imagens, os mais importantes para a descrição das classes de cobertura da terra, de forma automática. Foi utilizado o minerador de dados (algoritmo C4.5) implementado no InterIMAGE. Isto permitiu otimizar o trabalho, priorizando a utilização de uma mesma plataforma, evitando-se a conversão e exportação/importação de arquivos. As árvores geradas foram pequenas, de pouca complexidade e repetição de atributos.

4.6. Modelo de classificação

Neste estudo foi criada uma nova metodologia para a classificação de imagens, ao construir uma rede semântica que permitisse a implantação do algoritmo em cada nó, agregando parâmetros particulares de segmentação. Na rede semântica desenvolvida, cada classe está associada ao algoritmo de mineração de dados. Um maior detalhamento deste estudo encontra-se em MENEGHETTI (2013) e MENEGHETTI; KUX (2014).

5. Resultados e discussão

Foi realizada a análise visual do mapa temático de cobertura da terra (Figura 4) para verificar a coerência entre as classes mapeadas e os objetos reais, tendo sido observada esta coerência. Os valores do índice *Kappa* e exatidão global foram respectivamente 0,92 e 0,94. Através do índice *Kappa*-condicional a separação entre as classes também foi avaliada (Tabela 1). Observa-se que os valores destes índices são altos, indicando um bom nível de discriminação entre as classes.

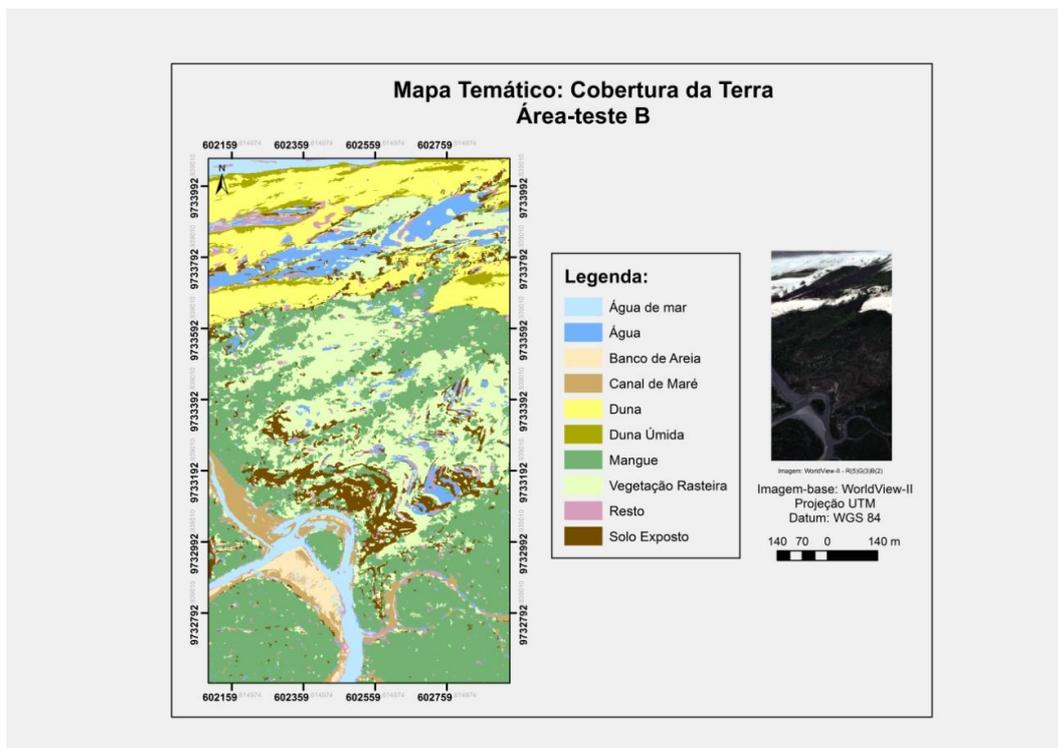


Figura 4 - Mapa temático de cobertura da terra da área-teste Raposa (MA).

Tabela 1. Índices *Kappa* condicional e Variância para as classes de cobertura da terra.

Classe	<i>Kappa</i> Condicional	Variância do <i>Kappa</i>
Água Oceânica	1,0000	0
Água	1,0000	0
Banco de areia	0,7966	0,0328
Canal de maré	0,8846	0,0111
Duna	1,0000	0
Duna úmida	1,0000	0
Mangue	0,9634	0,0006
Vegetação Rasteira	0,8651	0,0025
Solo exposto	0,7724	0,0098

Conclusão

Um novo modelo de conhecimento, que permite a utilização dos algoritmos C4.5 de mineração de dados do InterIMAGE, é a principal contribuição deste trabalho. O uso destes algoritmos garantiu, para cada classe, a associação da mineração de dados, diversos níveis e refinados parâmetros de segmentação. A avaliação do modelo, comparando-se o mapa temático gerado com a imagem original, forneceu resultados satisfatórios de classificação. O

mapa temático (Figura 4), resultante da classificação de imagem *WorldView-2*, obteve alto índice de acurácia.

As novas bandas espectrais, deste sistema sensor orbital, auxiliaram na discriminação de alvos típicos de áreas costeiras como dunas, mangues e canais de maré, otimizando a classificação de cobertura da terra. Assim a banda *Coastal* auxiliou na discriminação da classe “Solo Exposto”. A *Red Edge* contribuiu nas regras que permitiram a separação dos manguezais, enquanto a banda *Near-Infrared-2* esteve presente nas árvores de decisão de quase todas as classes de cobertura deste trabalho.

Em trabalhos futuros recomenda-se explorar os atributos de textura e vizinhança já implementados no InterIMAGE. Estes atributos são importantes para a solução de conflitos entre classes, cujos objetos possuem características espectrais similares.

Referencias bibliográficas

Araújo, E.H.G. **Análise multi-temporal de cenas do satélite *Quickbird* usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso Belo Horizonte (MG)** 2006. 159 p. INPE-13956-TDI/1062. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-13%4080/2006/07.24.19.43/doc/publicacao.pdf>>

Baatz, M.; Schäpe, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation: In: *Ange wandte Geographische Informationsverarbeitung 12. (AGIT Symposium)*, Salzburg, Áustria, 2000. **Proceedings...**Karlsruhe, Alemanha: Herbert Wichmann Verlag, 2000, p.12-23. Disponível em: http://www.ecognition.cc/download/baatz_schaepe.pdf

Bückner, J.; Stahlhut, O.; Pahl, M.; Liedtke, C.-E. GeoAIDA – A knowledge based automatic image data analyzer for remote sensing data. In: *International ICSC Congress on Computational Intelligence : Methods & Applications, 2, 2001*, Bangor, Wales, UK. **Proceedings...**Millet, Alberta: ICSC, 2001. P.19-22.

Carvalho, M.V.A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens *WorldView-2* utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. 2011. 201 p. (Sid.inpe.br/mtc-m19/2011/09.05.20.27-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MPGP7W/3ACT3BL>

Costa, G. A. O. P.; Pinho, C. M. D.; Feitosa, R. Q.; Almeida, C. M.; Kux, H. J. H.; Fonseca, L. M. G.; Oliveira, D. A. B. INTERIMAGE: an open source platform for automatic image interpretation. In: *Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2, UNESP – Presidente Prudente. Anais...* Presidente Prudente: UNESP, 2007. 2ª ed. p. 735-739. 2007. Disponível em: <<http://www2.fct.unesp.br/sbg-cbcg/>>.

Costa, G. A. O. P.; Pinho, C. M. D. ; Feitosa, R. Q. ; Almeida, C. M.; Kux, H. J. H. ; Fonseca, L. M. G.; Oliveira, D. A. B. INTERIMAGE: uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. *RBC. Revista Brasileira de Cartografia*, v. 60, p. 331-337, 2008.

DIGITALGLOBE. **Spectral Response for Digital Globe WorldView 1 and WorldView 2 Earth Imaging Instruments**. 2010a. Disponível em: http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WV1_WV2_SpectralResponse.pdf

Galo, M.; Camargo, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de carta. In.: *Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multi-finalitário (COBRAC), 1. (COBRAC)*, 7- 10 ago 1994, Florianópolis Brasil. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. Tomo II, p.41-48.

Korting, T. S.; Fonseca, L.M.G.; Camara, G. GeoDMA – Geographic Data Mining Analyst. **Computers & Geosciences**, vol. 57, 133-145, August 2013.

Kux, H. J. H.; Novack, T.; Ferreira, R.; Oliveira, D. A.; Ribeiro, B. M. G. Classificação da cobertura do solo urbano usando imagens ópticas de altíssima resolução e o sistema InterIMAGE baseado em conhecimento. In:

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 822-829. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39UGES8S>>.

Meneghetti, G. T. **Classificação da cobertura da terra do município de Raposa (MA) com imagens WorldView-2 utilizando o aplicativo InterIMAGE e mineração de dados**. 2013. 92 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DSF9PP>

Meneghetti, G.T. : Kux, H. J. H. Mapeamento da cobertura da terra do município de Raposa (MA) utilizando imagens WorldView-2, o aplicativo INTERIMAGE e Mineração de Dados. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66/2, p. 365-377, 2014.

Novack, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor QuickBird**. 2009. 214 p. (INPE-16594-TDI/1580). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/08.31.21.23>>.

Novack, T.; Kux, H. J. H. Urban land cover and land use classification of an informal settlement area using the open-source knowledge-based system InterIMAGE. **Journal of Spatial Science**, v. 55, n. 1, p. 23 -41, June 2010.

Pahl, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 2008. 95 p. (INPE-15211-TAE/71). PhD Thesis - Universidade de Hannover, [S.l.]. Versão em português disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/200803.07.18.31>>

Pinho, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos-SP**. 2005. 178 p. (INPE-14183-TDI/1095). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-13@80/2005/11.23.13.40>>.

Ribeiro, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-2 para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 177 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3826JHA>>

Ribeiro, B. M. G., Fonseca, L. M. G., Kux, H. J. H. Mapeamento da Cobertura do Solo Urbano Utilizando Imagens WorldView-II e o Sistema InterIMAGE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, pp. 51-63. 2011.

Rodrigues, T. C. S. **Classificação da cobertura e do uso da terra com imagens WorldView-2 de setores norte da Ilha do Maranhão por meio do aplicativo InterIMAGE e de mineração de dados**. 2014. 110 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G3DA4C>

Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3rd ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515 p.

Souza, U. D. V. **Classificação da cobertura e do uso do solo urbano de São Luís (MA), com imagens Worldview-2 utilizando mineração de dados e o sistema Interimage**. 2012. 132 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8>>.