

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/2: 365-377
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MAPEAMENTO DA COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE RAPOSA (MA) UTILIZANDO IMAGENS WORLDVIEW-II, O APLICATIVO INTERIMAGE E MINERAÇÃO DE DADOS

Land Cover Mapping of Raposa (MA) Municipality Using WorldView-II Images, the InterIMAGE System and Data Mining

Graziela Thaís Meneghetti, Hermann Johann Heinrich Kux

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR**

Av. dos Astronautas, 1758 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
grazielatm@gmail.com
hermann@dsr.inpe.br

*Recebido em 09 de Abril, 2013/ Aceito em 15 de Agosto, 2013
Received on April 09, 2013/ Accepted on August 15, 2013*

RESUMO

As áreas costeiras são caracterizadas como locais sensíveis devido à sua dinâmica, presença de dunas, praias, estuários e mangues. Com a disponibilidade de imagens de alta resolução e métodos de análise baseados em objeto, as técnicas de sensoriamento remoto se tornaram ferramentas importantes para o monitoramento destes ambientes. O objetivo deste trabalho é elaborar um modelo de conhecimento que permita a realização do mapeamento da cobertura da terra na área natural do município de Raposa (MA), facilitando assim a tomada de decisões para a gestão do território. Neste trabalho utilizou-se o InterIMAGE, sistema para a interpretação de imagens baseado em conhecimento, dados de alta resolução espacial do sensor WorldView-II e associação de técnicas de mineração de dados e classificação orientada a objeto, visando à extração de informações de cobertura da terra. A metodologia proposta foi aplicada em uma área-teste do município de Raposa, setor nordeste da Ilha do Maranhão, escolhida a partir da heterogeneidade de alvos presentes na cena e do contato entre dunas e manguezais, visto que este ambiente costeiro tem sofrido grande pressão devido ao crescimento populacional e soterramento pelas dunas. A principal contribuição deste trabalho foi a criação de um novo modelo de conhecimento que garantiu a aplicação do algoritmo minerador de dados em diversos níveis da rede semântica com refinados parâmetros de segmentação. Esse modelo resultou em boa discriminação entre as classes mapeadas, apresentando valores de índice Kappa e exatidão global de 0,92 e 0,94, respectivamente.

Palavras chaves: WorldView-II, Mineração de Dados, GEOBIA.

ABSTRACT

Coastal areas are characterized as sensitive sites due to their dynamics, the presence of dunes, beaches, estuaries and mangroves. With the availability of high-resolution images and object-based image analysis (OBIA) methods, remote sensing techniques can be very beneficial to monitor of these sites. The objective of this work is to develop a model of knowledge that supports the realization of mapping land cover in the natural area of the municipality of Raposa (MA), thus facilitating the decision making for the management of the territory. This work proposes the use of the In-

terIMAGE, image analysis system based on information, high spatial resolution images from the WorldView-II sensor data and the association of data mining techniques and object-based image analysis to extract land cover information. The proposed methodology was applied in a test area at the surroundings of the town Raposa, NE of the Maranhão Island. It was chosen due to the heterogeneity of targets in this area and to the contact between dunes and mangroves. The mangroves are suffering a great pressure due to population increase and to the dune advancement over them. The main contribution of this work was the creation of a new knowledge model that ensured the application of data mining algorithm on different levels of the semantic network with refined segmentation parameters. This model presented a good discrimination between the mapped classes, with Kappa coefficient and overall accuracy values of 0.92 and 0.94, respectively.

Keywords: WorldView-II, Data Mining, GEOBIA.

O processo acelerado de urbanização constatado a partir dos anos 80, invertendo os percentuais

1. INTRODUÇÃO

Dentre os ambientes terrestres, as áreas costeiras sempre foram consideradas de grande interesse pela população devido à facilidade de relacionamento entre povos de diferentes continentes, acesso a recursos naturais, além da localização estratégica (FEITOSA, 1996). Tais ambientes são sensíveis, pela sua dinâmica natural, presença de dunas, praias, estuários e mangues, e têm ganhado atenção para a manutenção de seu equilíbrio em decorrência da intervenção humana, exigindo análises e estudos mais detalhados.

A Ilha do Maranhão vem experimentando um rápido crescimento econômico e populacional devido à instalação de grandes indústrias. Tal crescimento acarreta sérios problemas sociais e econômicos, além do comprometimento dos ecossistemas locais (RANGEL, 2000). O setor nordeste da ilha é de grande fragilidade ambiental devido à presença dos manguezais, que estão sendo gradativamente degradados pelo desordenado avanço populacional e pelo avanço natural das dunas, resultante da influência dos ventos alísios.

Considerando a dinâmica da alteração da paisagem da Ilha do Maranhão, onde se localiza a área de estudo, o sensoriamento remoto pode ser uma importante ferramenta, visando a constante atualização de informações ambientais e o acompanhamento de mudanças.

Com o lançamento do sistema sensor *WorldView-II*, abriram-se novas perspectivas para estudos das propriedades espectrais de alvos. Por se tratar do primeiro satélite de alta resolução espacial com oito bandas espectrais (RIBEIRO, 2010; SOUZA, 2012), tornaram-se possíveis análises e mapeamentos da cobertura

da terra em níveis de detalhe e precisão nunca antes realizados com imagens orbitais.

Em função das melhorias técnicas na aquisição de imagens orbitais, as metodologias para a sua análise também foram aprimoradas. A partir dessa necessidade, surgiu a classificação orientada a objeto, em inglês OBIA (*Object-Based Image Analysis*), um novo paradigma para a análise de imagens aplicável à classificação de uso e cobertura da terra em imagens de altíssima resolução (RIBEIRO, 2010).

A maioria dos *softwares* com base em OBIA, são comerciais, o que implica em alto custo de aquisição e a impossibilidade de customização dos mesmos. Como alternativa para os usuários, foi desenvolvido um novo sistema de interpretação de imagens de código aberto e gratuito, denominado InterIMAGE (COSTA *et al.*, 2008).

Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de conhecimento para o mapeamento da cobertura da terra na área natural do município de Raposa (MA), utilizando imagens do sensor *WorldView-II*, classificação orientada a objeto e técnicas de mineração de dados.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Maranhão está localizada ao norte deste Estado, contida no Golfão Maranhense, formada por quatro municípios: São Luís (capital), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, sendo este último a área de estudo deste trabalho, conforme ilustrado na Fig. 1.

Distante do centro de São Luís em 28 km, esse município está localizado no extremo nordeste da Ilha do Maranhão. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -

IBGE (2010), a cidade possui aproximadamente 26 mil habitantes e 64 km² de extensão, sendo o município limitado pelas coordenadas S 02°21' a S 02°32' e W 44°00' a W 44°12'.

Para a viabilização dos processamentos das imagens e melhor discriminação das classes de cobertura da terra, escolheu-se uma área-teste com cobertura natural, apresentada na Fig. 2.

A quantidade de alvos diversificados na cena, capazes de serem distinguidos pelo sensor, foi fator importante para a escolha da área-teste. A área em estudo possui alvos característicos de região litorânea como mangue, dunas, canais de maré, entre outros.

Para a delimitação da área-teste, foram considerados aspectos como disponibilidade de dados e facilidade de acesso para trabalho de campo, bem como a maior diversidade possível

de classes de cobertura da terra de interesse para o mapeamento.

3. MATERIAIS

3.1 Sensor WORLDVIEW-II

O sistema orbital *Worldview-II* possui resolução espacial de 0,46m na banda pancromática e 1,84m nas bandas multiespectrais, além de uma resolução radiométrica de 11 bits (DIGITAL GLOBE, 2009).

O *WorldView-II* possui como diferencial em relação a outros sistemas sensores de alta resolução, a disponibilidade de oito bandas espectrais estreitas que alcançam das faixas do azul até o infravermelho próximo. Além das quatro bandas multiespectrais clássicas (*Red, Blue, Green e Near-infrared-1*), seu sistema sensor possui quatro novas bandas (*Coastal, Yellow, Red Edge e o Near-infrared-2*), que proporcionam melhor capacidade de discriminação e análise dos alvos (DIGITAL GLOBE, 2010). As bandas espectrais do *WorldView-II* e suas respectivas respostas espectrais estão apresentadas na Fig. 3.

Com características bem distintas, as bandas adicionais citadas anteriormente possuem diversas aplicações. A banda *Coastal*, por exemplo, possui grande influência do espalhamento atmosférico, apresentando potencial no desenvolvimento de técnicas de correção atmosférica e estudos batimétricos, devido à pouca absorção pela água.

A banda *Red Edge* permite identificar o vigor vegetativo das plantas e auxiliar no processo de classificação. A banda *Near-infrared-2* sobrepõe-se à banda *Near-infrared-1*,

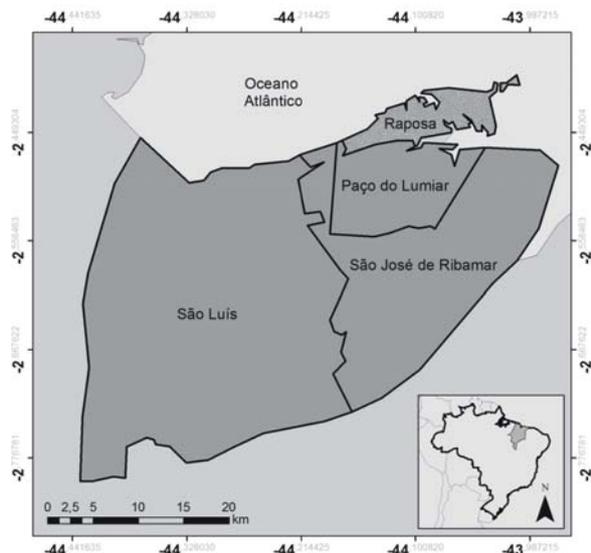


Fig. 1 - Mapa de localização da área.

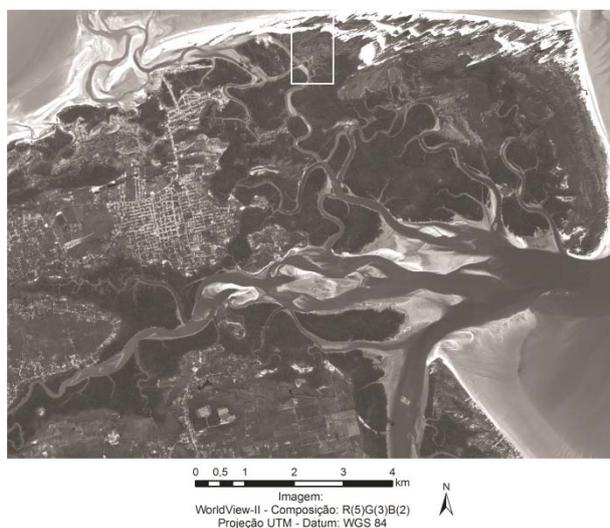


Fig. 2 - Localização da área-teste.

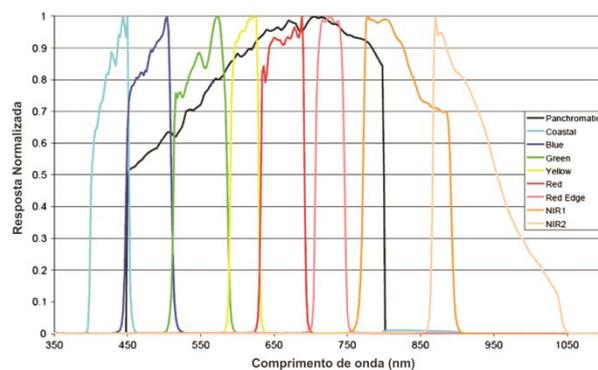


Fig. 3 - Respostas espectrais das bandas do sensor WorldView-II. Fonte: adaptado de Digital Globe., (2010a).

entretanto possui menos influência atmosférica, permitindo estudos de biomassa da vegetação (DIGITAL GLOBE, 2009).

3.2 INTERIMAGE

O InterIMAGE é um *software* livre baseado em conhecimento para interpretação automática de imagens de sensoriamento remoto, desenvolvido em parceria entre a PUC-Rio, o INPE (DSR e DPI) e a Universidade de Hannover (Alemanha) (RIBEIRO, 2010).

A concepção de análise de imagem do InterIMAGE (2013) baseia-se em um modelo de conhecimento denominado GeoAIDA, estruturado 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).

Em termos de estratégia de interpretação, o InterIMAGE possui uma arquitetura flexível, combinando análise comandada por modelo e dados, representando uma melhoria na eficiência computacional, em comparação com *softwares* que seguem uma estratégia puramente comandada por dados. Desta maneira, ele executa a classificação orientada a objeto de imagens multi-sensores de forma flexível, com redução de tempo e custo computacional (RIBEIRO, 2010).

O processo de interpretação de imagem neste aplicativo é realizado em duas etapas: na primeira, denominada *Top-Down*, a rede semântica é pré-definida pelo usuário, na qual são estabelecidas as hipóteses sobre a existência de objetos em cena. Assim, o sistema percorre a rede semântica de cima para baixo disparando os operadores holísticos, caracterizados como programas executáveis especializados na detecção de uma classe. Para isso, são realizados processamentos na imagem, tais como segmentação, extração de atributos e classificação (KUX *et al.*, 2011).

Na segunda etapa, *Bottom-up*, o sistema percorre a rede semântica no sentido contrário, de baixo para cima. As hipóteses são avaliadas, e gera-se 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 instâncias (hipóteses validadas) (KUX *et al.*, 2011).

A Fig. 4 apresenta esquematicamente o processo de classificação pelo sistema InterIMAGE. Na entrada do sistema, o usuário deve fornecer os dados a serem utilizados na análise (dados *raster* ou vetoriais), um modelo de conhecimento, ou seja, uma rede semântica, além de inserir os operadores holísticos TD e as regras BU aos nós da rede semântica. No

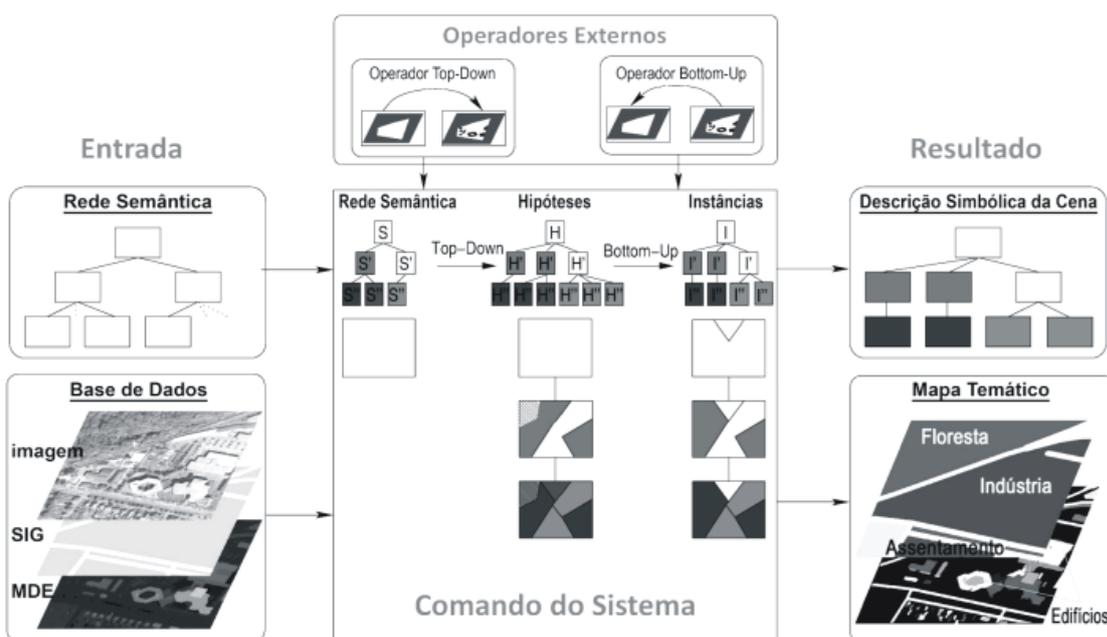


Fig. 4 - Processo de interpretação de uma cena no InterIMAGE. Fonte: Pahl, 2008, adaptada por Ribeiro, 2010.

comando do sistema, são criadas as classes presentes na cena através do processo *Top-Down*, sendo tais hipóteses avaliadas pelos operadores *Bottom-Up* e transformadas em instâncias. Ao final do processo, os resultados obtidos pelo usuário correspondem a um mapa temático e a descrição simbólica da cena (NOVACK; KUX, 2010).

4. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos realizados estão resumidos no fluxograma da Fig. 5. A descrição detalhada das principais etapas de processamento de dados se encontra nos itens subsequentes.

4.1 Preparação dos dados

A fusão de imagens tem como um dos objetivos unir as informações espectrais das bandas multiespectrais com a resolução espacial detalhada da banda pancromática (SCHOWERNGERDT, 2007).

A partir do conjunto de imagens utilizado neste trabalho foram realizados testes e observou-se visualmente que a fusão *Gram-Schmidt* (LABEN e BROWER, 2000) apresentou melhor distinção dos alvos em comparação a fusão por Componentes Principais (CHAVEZ *et al.*, 1991), amplamente utilizada.

Visando facilitar a identificação dos pontos de controle na imagem, realizou-se a fusão da banda pancromática com as bandas multiespectrais antes do processo de

ortorretificação.

Segundo Toutin (2004), sem a eliminação das distorções geométricas das imagens, estas não podem ser utilizadas diretamente como insumos da base cartográfica em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Tais distorções geométricas são corrigidas pela aplicação de modelos e funções matemáticas, tais como modelos empíricos 2D/3D (polinomiais 2D/3D ou funções racionais 3D), modelo rigoroso ou físico 2D/3D e modelos determinísticos.

Considerando que os dados *WorldView-II* disponibilizados para este trabalho se encontram no nível *Ortho Ready Standard2A*, a ortorretificação das imagens foi realizada utilizando o modelo rigoroso, cujo aplicativo usado (*OrthoEngine – PCI Geomatics v10.3.2*) dispõe de um módulo específico para a correção dessas imagens.

A área de estudo é constituída por um setor urbano, grandes extensões de mangue e praia. Assim, para a realização da correção geométrica da imagem foram coletados 23 pontos pelo método estático relativo na área urbana e na área de manguezal foram determinados 19 pontos e utilizado o método *Stop and Go* relativo. Dessa forma, foram utilizados 42 GCPs, sendo 25 GCPs (*Ground Control Points*) e 17 pontos independentes de verificação (ICPs – *Independent Check Points*).

Para avaliação desse processo foram realizadas análises de tendência e precisão

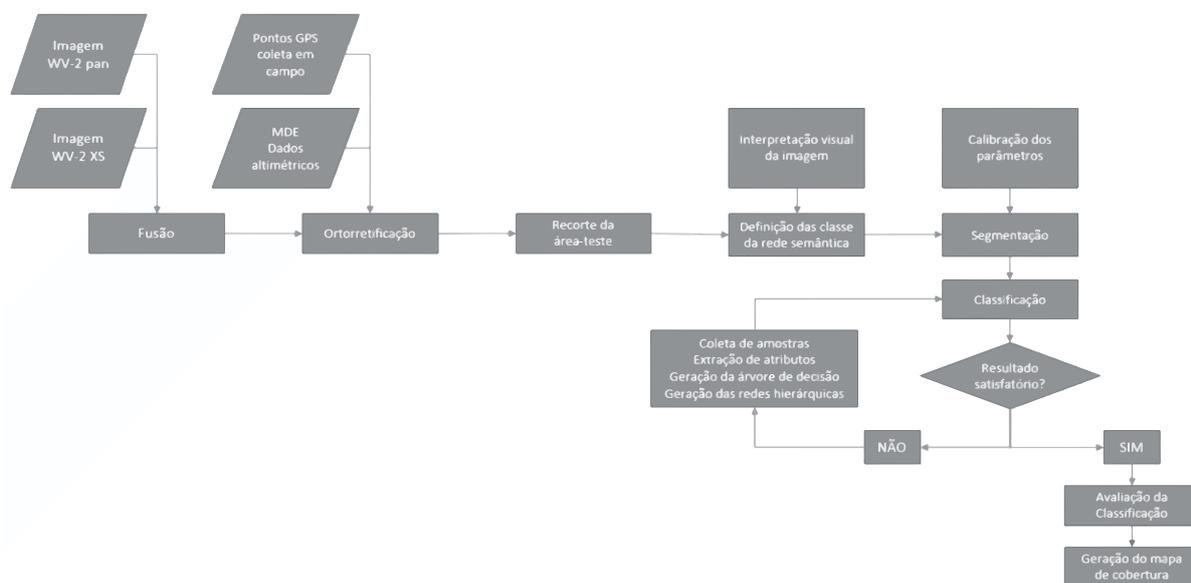


Fig. 5 - Fluxograma dos passos metodológicos.

segundo metodologia proposta por Galo e Camargo (1994) garantindo que a imagem atendesse aos requisitos da PEC na escala 1:3.333 - Classe A.

4.2 Definição das classes de cobertura da terra

Para a definição das classes de cobertura foi utilizada a metodologia baseada na análise visual das imagens *WorldView-II* adotada por Ribeiro (2010), Carvalho (2011) e Souza (2012).

O trabalho de campo realizado permitiu não apenas a coleta de pontos utilizados na ortorretificação, mas também o reconhecimento da área, o que auxiliou na interpretação e identificação visual de feições e alvos na cena.

Mesmo com o conhecimento empírico do intérprete em associar feições, nem sempre a qualidade das imagens e os métodos de processamento de imagens disponíveis permitem o discernimento de alvos. Na prática, algumas tonalidades de cor não são bem distinguíveis trazendo limitações em determinados casos.

Nove classes de cobertura da terra foram estabelecidas: 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, no qual os vértices (“nós”) representam objetos, conceitos, ideias; e as arestas (“arcos”) representam as relações semânticas entre os nós. Segundo este autor, a rede semântica é uma representação gráfica do conhecimento que, utilizado na interpretação de uma imagem, demonstra a relação entre os objetos de uma cena.

Em sistemas baseados em conhecimento, a rede semântica representa a relação que se espera encontrar entre os objetos da imagem, bem como a descrição hierárquica da resolução do problema de sua interpretação (NOVACK, 2009).

No âmbito do InterIMAGE, a rede de estruturação das classes é ao mesmo tempo hierárquica e semântica (COSTA *et al.*, 2007). A rede hierárquica no InterIMAGE tem o objetivo de representar a estratégia sequencial e organizacional da classificação. O processo de classificação a partir de uma hierarquia subdivide

a interpretação da cena em subproblemas de resoluções mais simples. A estratégia utilizada para a construção das redes hierárquicas deste estudo baseou-se em Araújo (2006), Novack (2009), Pinho (2005), Ribeiro (2010) e Souza (2012) em que os níveis superiores possuem as classes mais facilmente separáveis, deixando nos níveis inferiores as classes com maior confusão entre si.

O processo de construção da rede hierárquica foi realizado de forma distinta. Já que a utilização da mineração de dados permite apenas um nível de segmentação na rede semântica, optou-se por criar uma nova metodologia para a classificação de imagens utilizando o algoritmo C4.5 do sistema InterIMAGE. Assim sendo, foi construída uma rede, na qual para cada classe foi implantado o algoritmo C4.5 agregando seus parâmetros particulares de segmentação (RIBEIRO, 2013. Comunicação Pessoal).

5.4 Segmentação

Nesta etapa do trabalho foram realizados vários testes de segmentação e avaliações visuais dos objetos, de forma a encontrar parâmetros que atendam mais adequadamente a proposta de classificação do ambiente em questão.

Utilizou-se apenas um nível de segmentação usando o segmentador *TerraAida_Baatz_Segmenter* implantado no InterIMAGE. Este algoritmo, proposto por BAATZ e SCHÄPE (2000), utiliza o conceito de crescimento de regiões, no qual os parâmetros de escala, cor, compacidade e pesos de cada banda espectral da imagem são ajustados pelo analista. De modo geral, neste trabalho optou-se pela supersegmentação, que resulta em mais segmentos para um mesmo alvo, mas não inclui partes de alvos distintos dentro de um segmento, como pode ser observado na Fig. 6.

4.5 Mineração de dados

As técnicas de mineração de dados definem quais atributos dentre os disponíveis no conjunto de imagens utilizados são mais relevantes para descrever as classes de cobertura da terra de forma automática.

A maioria dos trabalhos envolvendo mineração de dados utiliza o *software* WEKA no processo de extração de informação. Visando



Fig. 6 – Exemplo de segmentação.

explorar e avaliar a ferramenta, optou-se por utilizar o minerador de dados (algoritmo C4.5) já implementado no InterIMAGE. Essa alternativa permitiu a otimização do trabalho ao se priorizar a utilização de uma mesma plataforma, evitando a conversão e exportação/importação de arquivos.

As árvores geradas nessa etapa do trabalho apresentaram pequeno tamanho, pouca complexidade e pouca repetição de atributos.

4.6 Modelo de classificação

No *software* InterIMAGE, a implantação do algoritmo C4.5 em uma rede semântica tradicional permite apenas um nível de segmentação. Assim, ao optar por essa metodologia, todas as classes presentes na rede deveriam ter os mesmos parâmetros de segmentação, fazendo com que a classificação ficasse grosseira, uma vez que alvos distintos seriam segmentados igualmente. Dessa maneira, optou-se por criar uma nova metodologia para a classificação de imagens ao construir-se uma rede que permitisse a implantação do algoritmo em cada nó, agregando parâmetros particulares de segmentação.

A figura 7(a) demonstra uma rede semântica tradicional, na qual o algoritmo C4.5 é implantado no primeiro nó, contendo amostras de todas as classes conectadas a essa rede, com mesmo parâmetro de segmentação. A figura 7(b), representa a rede semântica desenvolvida neste trabalho, na qual cada classe possui o algoritmo de mineração de dados associado.

Visto que a metodologia escolhida utiliza um parâmetro de segmentação para cada classe, foi necessário, neste processo, coletar amostras da classe a ser mapeada e dos demais alvos, de

forma que o algoritmo pudesse compreender a distinção entre o que deveria ser classificado ou não. Assim, na classe “Arbórea”, por exemplo, coletaram-se amostras da referida classe e posteriormente amostras de diversos alvos presentes na cena como, “água”, “vegetação rasteira” e “solo”, coletadas como “nada”.

Essas amostras foram exportadas conjuntamente com os atributos implantados no *software*. Tais amostras foram utilizadas no processo de mineração de dados, e posteriormente importadas através da associação do algoritmo C4.5 aos nós da rede semântica.

A rede hierárquica deste trabalho possui um nó rotulado como “Tudo”, a partir do qual estão associados todos os outros nós da rede. Este nó não possui nenhum operador associado a ele, tendo em seu processo *Top-Down* o operador *Dummy_TopDown* associado, e no processo *Bottom-Up*, o operador *Dummy_BottomUp*. Esses operadores não são responsáveis por nenhuma ação, entretanto, é importante ressaltar que este nó possui uma Regra de Decisão, no qual os conflitos de classificação entre os nós abaixo dele são resolvidos por meio da atribuição de valores de pertinência a cada uma das classes, priorizando aquelas cujas classificações definiram melhor os objetos, com menos erros de omissão ou comissão. Assim, a regra de decisão contou com valores de pertinência (*membership*) para cada classe que podem ser observados na figura 8.

Abaixo do nó Tudo, um nó-pai com o nome da classe a ser classificada é seguido de um nó-filho com o mesmo nome no qual é implantado o operador *TA_C45_Classifier*. Este nó possui um conjunto de amostras da referida classe e da classe “nada” associado. Esse procedimento se repete ao longo de toda a rede semântica para cada uma das classes criadas.

No final da rede há uma classe “Resto” sem qualquer operador associado, responsável pela classificação do que não foi mapeado ao longo do processo. Esta classe foi criada apenas para que a imagem não tivesse pequenas partes não classificadas, sendo importante ressaltar que esta é considerada inexpressiva devido à quantidade de objetos gerados.

O mapa temático produzido neste trabalho foi avaliado em relação aos dados de referência que traduzem o conhecimento do

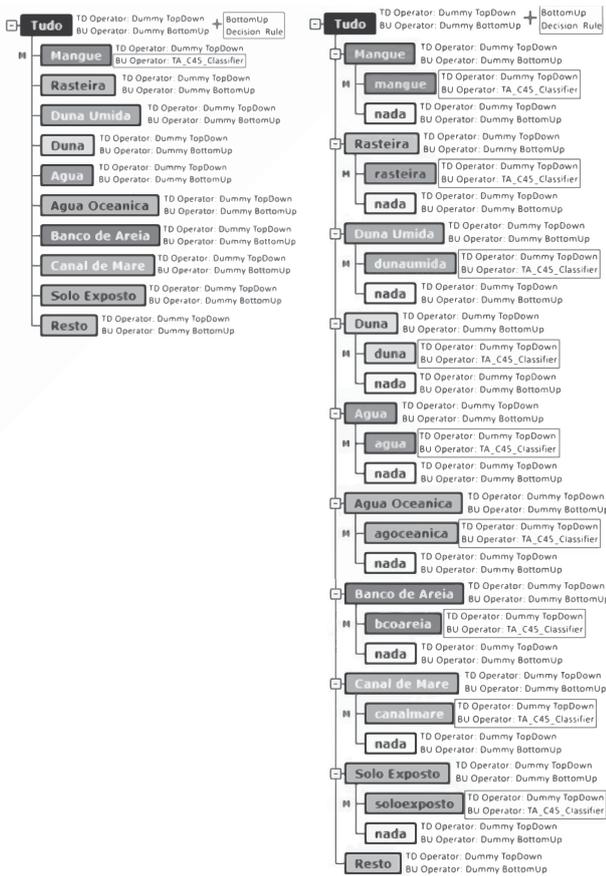


Fig. 7 – a) Rede semântica tradicional, b) Rede semântica desenvolvida.

especialista. Por meio da interpretação visual da imagem *WorldView-II*, determinou-se a que classe pertenciam cada uma das amostras aleatórias coletadas, sem que o especialista tivesse contato prévio com o mapa temático produzido pela classificação.

A verificação da acurácia do mapa de classificação da cobertura da terra foi realizada a partir da construção de uma matriz de confusão, sendo calculados os índices *Kappa* (COHEN, 1960) e *Kappa*-condicional (ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986).

A maioria dos métodos quantitativos de avaliação de classificações utiliza a matriz de confusão como ponto inicial das medidas de acurácia (STORY; COLGALTON, 1986;). A partir da matriz de confusão, calculam-se também as medidas descritivas, como exatidão global, do usuário e do produtor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise visual do mapa temático foi realizada para verificar se havia coerência entre as classes mapeadas e os objetos reais. De uma



Fig. 8 – Regra de decisão utilizada.

forma geral, esta coerência foi observada (Fig. 9).

O quadro 1 mostra a matriz de confusão da classificação. Os valores do Índice *Kappa* e exatidão global foram, respectivamente, 0,92 e 0,94.

A separação entre as classes também foi avaliada por meio do índice *Kappa*-condicional (Tabela 1) e exatidão do usuário e do produtor (Quadro 1). Observa-se que os valores destes índices são altos (próximos de 1), indicando um bom nível de discriminação entre as classes.

A área-teste possui duas classes para distinção de corpos d’água. Essa divisão foi necessária devido à dificuldade de classificação destes objetos por possuírem cores e respostas espectrais distintas. A classe rotulada como “Água” se refere aos corpos d’água inseridos em porções de terra, com cores tendendo ao preto. A classe denominada de “Água Oceânica” abarca a água da praia e a água dos canais de maré que apresentam cor cinza claro. Esta última apresenta uma resposta espectral diferenciada se comparada a resposta espectral tradicional da água devido à

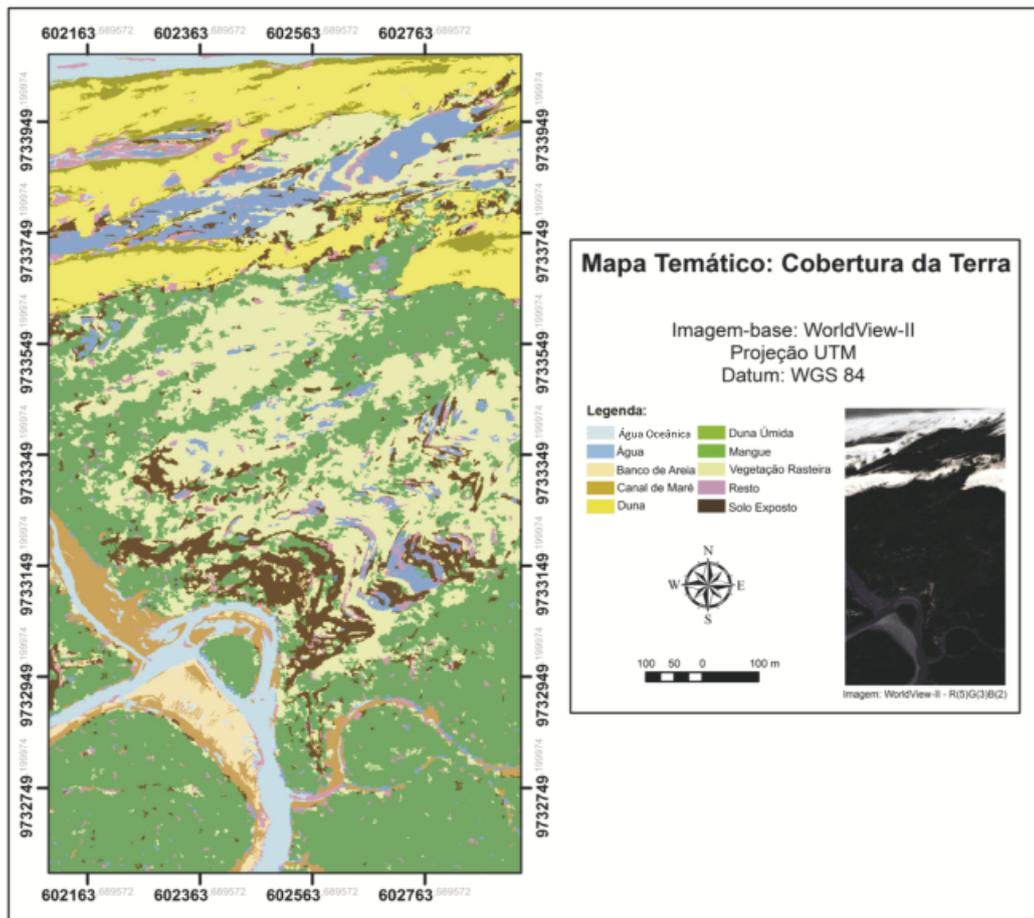


Fig. 9 - Mapa Temático de cobertura da terra.

Quadro 1: Matriz de confusão da classificação.

Classificação	Área-teste	Referência									TOTAL	Exatidão do Usuário:
		Ág. Oceânica	Água	Banco de Areia	Canal de Maré	Duna	Duna Úmida	Mangue	Veg. Rasteira	Solo Exposto		
	Ág. Oceânica	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1
	Água	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12	1
	Banco de Areia	0	0	4	1	0	0	0	0	0	5	0,8
	Canal de Maré	0	1	0	8	0	0	0	0	0	9	0,88
	Duna	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	1
	Duna Úmida	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	1
	Mangue	0	0	0	0	0	0	86	2	0	88	0,97
	Veg. Rasteira	0	0	0	0	0	0	3	52	3	58	0,89
	Solo Exposto	0	0	0	0	0	0	2	2	15	19	0,78
	TOTAL	11	13	4	9	31	7	91	56	18	240	
	Exatidão do Produtor:	1	0,92	1	0,89	1	1	0,94	0,92	0,83		

forma geral, esta coerência foi observada (Fig. 9).

O quadro 1 mostra a matriz de confusão da classificação. Os valores do Índice *Kappa* e exatidão global foram, respectivamente, 0,92 e 0,94.

A separação entre as classes também foi avaliada por meio do índice *Kappa*-condicional (Tabela 1) e exatidão do usuário e do produtor (Quadro 1). Observa-se que os valores destes índices são altos (próximos de 1), indicando um

Tabela 1: Índices *Kappa*-condiciona e Variância do *Kappa* para as classes de cobertura da terra.

Classe	<i>Kappa</i> Condicional	Variância do <i>Kappa</i>
Água Oceânica	1,0000t	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

bom nível de discriminação entre as classes.

A área-teste possui duas classes para distinção de corpos d'água. Essa divisão foi necessária devido à dificuldade de classificação destes objetos por possuírem cores e respostas

pouca profundidade, permitindo a reflectância da areia e influenciando a resposta espectral emitida. Ambas as classes demonstraram boa separação no processo de classificação, com alto valores de *Kappa* condicional, exatidão do usuário e produtor.

A classe “Mangue” também apresentou boa separação com *Kappa*-condicional de 0,96. As principais confusões envolvendo esta classe ocorrem entre as classes “Vegetação Rasteira” e “Solo Exposto”. A distinção entre as classes “Vegetação Rasteira” e “Mangue” é dificultada, uma vez que ambas são formas de vegetação e portanto possuem comportamento espectral semelhante. No caso da classe “Solo Exposto”, essa confusão ocorre devido ao aspecto seco de algumas vegetações que permitem que por entre os galhos seja possível prevalecer a contribuição espectral do solo.

A classe “Banco de Areia”, apresentou confusão com a classe “Canal de Maré”. Isto ocorre devido a presença de areia na composição de ambas as classes, dificultando a separação das mesmas e causando o erro de classificação.

A área-teste também possui duas classes para a discriminação de dunas. Essa diferença foi necessária, pois o contato da duna com corpos d’água altera a resposta espectral do alvo e dificulta a classificação destes objetos, sendo necessária a criação de duas classes distintas denominadas de “Dunas” e “Duna úmida”. Essas classes foram bem classificadas apresentando altos índices tanto de *Kappa*-condicional como de exatidões do usuário e produtor.

A classe “Resto”, conforme mencionada anteriormente, foi criada para que a imagem não ficasse com partes não classificadas, porventura não selecionadas no processo de coleta de amostras. Essa classe não foi incluída na matriz de confusão devido à pouca representatividade e quantidade de objetos classificados como tal.

6. CONCLUSÃO

A principal contribuição deste trabalho foi a criação de um novo modelo de conhecimento que permite o emprego dos algoritmos C4.5 de mineração de dados do próprio InterIMAGE em cada nó da rede semântica, garantindo a associação da mineração de dados e diversos níveis e refinados parâmetros de segmentação para cada classe.

O modelo foi avaliado comparando-se o mapa temático gerado com a imagem original permitindo resultados satisfatórios de classificação.

Quanto ao uso do sistema InterIMAGE para a classificação da cobertura da terra em áreas costeiras, este *software* demonstrou ser uma alternativa eficaz, livre e gratuita, para análises de imagens baseadas em objeto.

De um modo geral, as classes de cobertura da terra demonstraram boa separação. O mapa temático resultante da classificação da imagem *WorldView-II* obteve alto índice de acurácia. Para as área-teste em questão, o índice *Kappa* foi 0,92.

As novas bandas espectrais do sensor *WorldView-II* auxiliaram na discriminação de alvos típicos de áreas costeiras como dunas, mangues e canais de maré, aprimorando a classificação da cobertura da terra. Na avaliação do modelo, é possível observar que as bandas *Near Infrared-2*, *Coastal Blue* e *Red Edge* permitiram a discriminação de várias classes.

O uso da banda *Coastal* foi importante, visto que auxiliou na classificação de “Solo Exposto”.

A banda *Red-Edge* contribuiu nas regras que permitiram a separação dos manguezais e a banda *Near-Infrared-2* esteve presente nas árvores de decisão da maioria das classes de cobertura deste trabalho.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros recomenda-se a exploração de atributos de textura e vizinhança já implementados no InterIMAGE. Tais atributos podem ser úteis na resolução de conflitos entre classes cujos objetos possuam características espectrais semelhantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro à execução deste trabalho; ao Cléber Gonzales de Oliveira, Emiliano Ferreira Castejon, Thales Sehn Korting, Gilson Costa e Bárbara Maria Giacom Ribeiro pelo apoio no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS 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). INPE - 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>>. Acesso em: 30 abril 2012.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In: ANGEWANDTE HISCHINFORMATIONSVERRARBEITUNG, 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>. Acesso em: 20 maio 2012.
- BÜCKNER, J.; STAHLHUT, O.; PAHL, M.; LIEDTKE, C.-E. GeoAIDA - A knowledge based automatic image data analyser for remote sensing data. In: INTERNATIONAL ICSC CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE: METHODS & APPLICATIONS, 2. 2001, Bangor, Wales, United Kingdom. **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/8JMKD3MGP7W/3ACT3BL>>. Acesso em: 03 fev. 2012.
- CHAVEZ, P. S.; SIDES, S. C.; ANDERSON, J. A. **Comparison of three difference methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 57, n. 3, p. 295-303, mar 1991.
- COHEN, J.A. **Coefficient of agreement for nominal scales**. Educational and Psychological Measurement, n. 20, p. 37-46, 1960.
- 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/>>. Acesso em: 21 out 2012.
- 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.
- DIGITAL GLOBE. **WhitePaper – The benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-II**. Agosto, 2009. Disponível em: <http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8Band_Applications_Whitepaper.pdf>. Acesso em: 20 Dez. 2012.
- DIGITAL GLOBE. **Radiometric Use of WorldView-2 Imagery**. Novembro, 2010. Disponível em: <[http://www.digitalglobe.com/downloads/Radiometric Use of WorldView-2 Imagery.pdf](http://www.digitalglobe.com/downloads/Radiometric_Use_of_WorldView-2_Imagery.pdf)>. Acesso em: 04 Jan. 2012.
- DIGITAL GLOBE. **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> Acessado em: 12 fev 2012.
- FEITOSA, A. C. **Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão**. Rio Claro. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – UNESP: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1996.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de carta. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALI-TÁRIO, 1. (COBRAC), 7- 10 ago 1994, Florianópolis Brasil. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. Tomo II, p. 41-48.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia

e Estatística. **Censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=210945>>. Acesso em: 03 Fev. 2012.

INTERIMAGE. **InterIMAGE – Interpreting images freely**. Desenvolvido por Laboratório de Visão Computacional da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.lvc.ele.pucrio.br/projects/interimage>> Acesso em: 10 fev. 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/3ERPFQRTW/39UGE8S>>. Acesso em: 28 fev. 2012.

LABEN, C. A., BROWER, B. V., 2000. **Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening**. United States Patent No. 6011875.

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>>. Acesso em: 05 jan. 2012

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.].

Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/200803.07.18.31>>. Acesso em: 16 fev. 2012.

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>>. Acesso em: 28 fev. 2012.

RANGEL, M. E. S. **Contribuição dos dados integrados dos sistemas sensores TM/Landsat-5 e ERS-1/SAR para o estudo de uso e cobertura da terra no nordeste da Ilha do Maranhão**. 112 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/10.09.13.18>>. Acesso em: 28 fev. 2012.

RIBEIRO, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-II 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>>. Acesso em: 07 fev. 2012.

RIBEIRO, B. M. G. **Definição de metodologia utilizando diversos parâmetros de segmentação e mineração de dados no InterIMAGE**. (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2013). Comunicação Pessoal.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 223-227, 1986.

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>>. Acesso em: 02 nov 2012.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: A user's perspective. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399. Mar 1986.

TOUTIN, T. Review article: geometric processing of remote sensing images: models, Algorithms and Methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1893-1924, mai 2004.