

Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE

Bárbara Maria Giacom Ribeiro ¹
Leila Maria Garcia Fonseca ¹
Hermann Johann Heinrich Kux ¹

¹ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Sensoriamento Remoto – Divisão de Processamento de Imagens
Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
bgiaccom@gmail.com ; leila@dpi.inpe.br ; hermann@dsr.inpe.br

Abstract. Mapping of urban land cover using remote sensing technology has been widely explored, especially with the recent availability of high resolution images and object-based processing techniques. This study uses the InterIMAGE system and WorldView-II orbital sensor imagery, two technologies which are new and still little explored in urban studies, to classify land cover in five test-sites near to the western section of Rodoanel Mário Covas, a ring-road that surrounds the metropolitan area of São Paulo, Brazil. The work hypothesis is: the spectral resolution increase of WorldView-II imagery, compared to previous sensor systems, can improve the identification of urban targets, and consequently, improve the land cover classification. To evaluate the effects of the increase on spectral resolution of WorldView-II system images, we simulated an image based on data from the QuickBird-II sensor. The classification model was built according to InterIMAGE's image analysis strategy. InterIMAGE is an open source and free access framework for knowledge-based image classification. Within this system, human knowledge is represented as a semantic net built with user-defined rules based on the paradigms of object-oriented image analysis. The segmentation and classification are object-based, and the decision rules were composed by spectral and geometrical attributes. The proposed methodology is efficient to map the land cover in complex urban areas and the final classification achieved an overall accuracy of 83% and a *Kappa* Accuracy Index of 0.81. The typical classification conflicts were solved, with a good identification of fifteen land cover classes.

Palavras-chave: urban remote sensing, Object-Based Image Analysis (OBIA), high resolution images; sensoriamento remoto de áreas urbanas, Análise de Imagens Orientada a Objeto, imagens de alta resolução.

1. Introdução

Uma maneira de compreender a dinâmica das cidades se dá por meio do estudo da cobertura do solo. Para este fim, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma maneira eficiente de obtenção de informações acerca da cobertura do solo, observada sua capacidade de aquisição sinóptica de dados de grandes áreas no terreno com um nível de detalhamento adequado aos estudos urbanos. Contudo, os atuais sensores orbitais de alta resolução espacial possuem limitação quanto à resolução espectral (quantidade, largura e posição de bandas no espectro eletromagnético). Este fator compromete a diferenciação das classes de cobertura do solo em estudos urbanos utilizando procedimentos de classificação automática (Moreira, 2008). A dificuldade no mapeamento de áreas urbanas deve-se, principalmente, à grande quantidade e semelhança das assinaturas espectrais dos seus elementos constituintes aliado às limitações dos métodos de classificação usados.

Com o lançamento do sensor WorldView-II, em outubro de 2009, abriram-se novas perspectivas para o estudo de propriedades espectrais dos alvos urbanos. Este é o primeiro sensor orbital de alta resolução espacial (0,46 m na banda pancromática e 1,84 m nas bandas multiespectrais) que possui oito bandas multiespectrais (cinco bandas localizadas na faixa do espectro eletromagnético visível e três na faixa do infra-vermelho próximo).

As limitações dos estudos em áreas urbanas concernem não somente à disponibilidade de dados de qualidade e a preços acessíveis, como também às metodologias para manipulação das imagens de alta resolução. Os sistemas de análise de imagens do tipo OBIA (*Object-Based Image Analysis*) têm sido largamente utilizados na classificação de uso e cobertura de áreas urbanas (p.e., Ribeiro, 2010). Entretanto, a maioria destes sistemas é comercial e caro. Além disso, eles não são facilmente adaptáveis às necessidades específicas de cada aplicação, sendo *softwares* fechados e sem capacidade de customização. A fim de contribuir com um sistema *open source* que proporcione alta capacidade de customização e de ampliação de ferramentas, a PUC-RJ e o INPE estão desenvolvendo um sistema de interpretação de

imagens baseado em conhecimento, InterIMAGE, que possui código aberto e é de uso e distribuição livre e gratuita (Costa et al., 2008).

Diante da melhoria da resolução espectral das imagens WorldView-II, em relação às outras imagens de alta resolução espacial disponíveis, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho das imagens do sensor WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo em áreas urbanas usando o *software* livre InterIMAGE, com o intuito de investigar a potencialidade destes dados na discriminação de alvos urbanos. Como área de estudo, foram selecionadas áreas-teste junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo. Para efeito de comparação, são utilizadas as imagens de alta resolução espacial do sensor QuickBird-II.

2. Área de Estudo e Dados

A área de estudo localiza-se nos municípios de Osasco e Carapicuíba, na Região Metropolitana de São Paulo, junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas (Figura 1). Foram definidas cinco áreas-teste (A, B, C, D e E), que contemplam a grande diversidade de alvos urbanos, como piscinas, vegetação rasteira e arbórea, diferentes tipos de telhados (diferentes materiais de cobertura), edifícios com gabaritos de altura diversos, galpões industriais, etc.

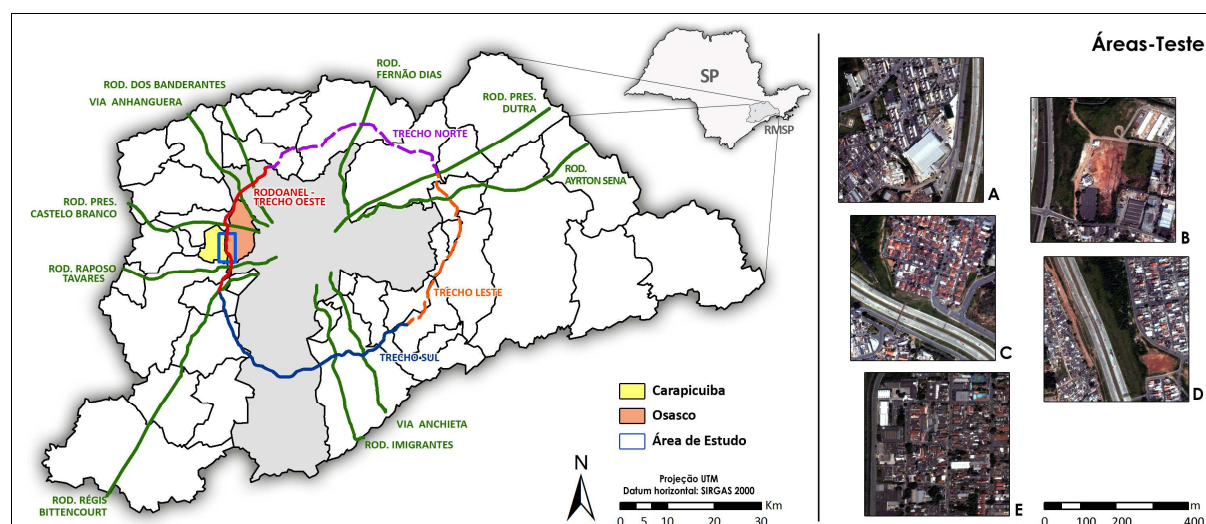


Figura 1. Localização da área de estudo junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo. Em destaque estão demarcadas as cinco áreas-teste.

Neste trabalho, os seguintes dados foram utilizados:

- 1) Duas imagens do sensor WorldView-II: uma imagem pancromática (resolução espacial de 0,5 m) e uma imagem multiespectral com oito bandas espectrais (resolução espacial de 2,0 m). As imagens são do tipo *OrthoRectified3*, obtidas em 6 de dezembro de 2009, com ângulo *off-nadir* 22,2° e resolução radiométrica de 11 bits.
- 2) Duas imagens do sensor QuickBird-II: uma pancromática, com resolução espacial de 0,61 m, e outra multiespectral, com resolução espacial de 2,44 m e quatro bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). As imagens são do tipo *Standard2A*, obtidas em 26 de março de 2009, com ângulo *off-nadir* 18,2° e resolução radiométrica de 11 bits.
- 3) Arquivos vetoriais das quadras e arruamentos para os municípios de Osasco e Carapicuíba (Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano - Prefeitura Municipal de Osasco, 2005).
- 4) Pontos de controle coletados em campo com equipamentos GPS geodésicos.
- 5) Curvas de nível obtidas em formato vetorial, com equidistância de um metro, para a área correspondente ao município de Osasco (SHDU - Prefeitura Municipal de Osasco, 2005).
- 6) Levantamento aerofotogramétrico (EMPLASA, 1996), na escala 1:10.000, para a área correspondente ao município de Carapicuíba.

Os processamentos das imagens foram realizados utilizando os seguintes *softwares*: MatLab 7.9 (Mathworks Inc., 2009), para simulação das bandas espectrais do QuickBird-II

através das bandas espectrais do WorldView-II; ENVI 4.7 (ITT, 2009), para fusão e recorte das áreas-teste; PCI Geomatica V10.3.1 (PCI Geomatics, 2010) para ortorretificação; e InterIMAGE v0.95 (InterIMAGE, 2010), para classificação da cobertura do solo.

3. Metodologia

Os passos metodológicos realizados estão resumidos no diagrama de blocos da Figura 2.

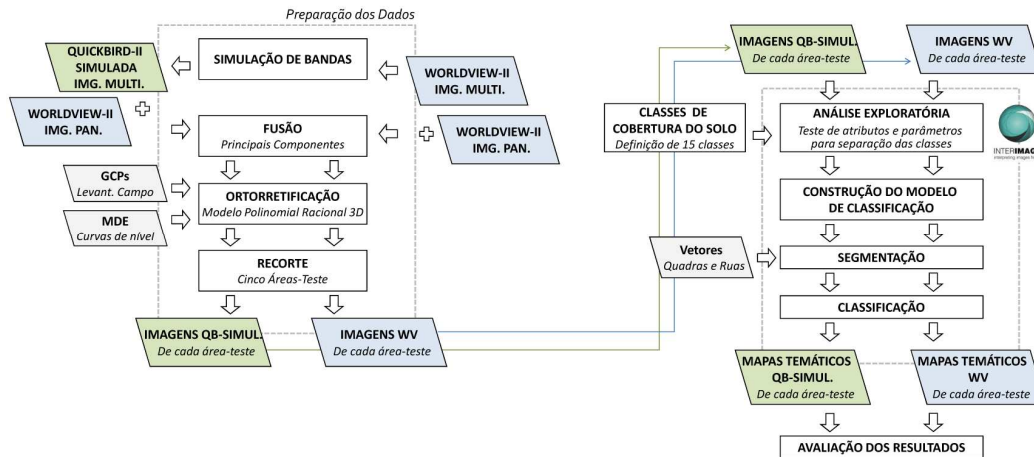


Figura 2. Diagrama de blocos dos passos metodológicos.

3.1 Simulação de Bandas

A simulação de bandas espectrais da imagem QuickBird-II foi realizada baseada no procedimento descrito em Mascarenhas et al. (1991). Segundo estes autores, a simulação de uma banda é possível somente se existir uma considerável sobreposição espectral entre a banda que se deseja simular e as bandas usadas na simulação. O método utiliza as curvas espectrais dos sensores como entrada e o procedimento consiste basicamente na soma ponderada destas curvas, onde os pesos da ponderação definem a contribuição de cada banda. Este método considera que a área da curva de reflectância de cada banda a ser simulada seja igual à soma das áreas das curvas de reflectância das bandas que preenchem o mesmo intervalo espectral.

Na Figura 3, estão representadas as bandas WorldView-II utilizadas na simulação da nova imagem. A área sob cada curva espectral WorldView-II define a porcentagem de contribuição (coeficiente de ponderação) desta banda para gerar cada banda do QuickBird-II. Neste caso, cada banda espectral do QuickBird-II é gerada a partir de três bandas espectrais do WorldView-II que apresentam sobreposição em relação às bandas do QuickBird-II a serem simuladas.

A rotina foi implementada no *software* Matlab 7.9 e cada banda do QuickBird-II foi simulada por meio da combinação linear das bandas do sensor WorldView-II determinando-se, assim, o valor de nível de cinza de cada *pixel* da banda simulada.

A imagem QuickBird-II-simulada possui a mesma resolução espacial da imagem multiespectral WorldView-II (2,00 m).

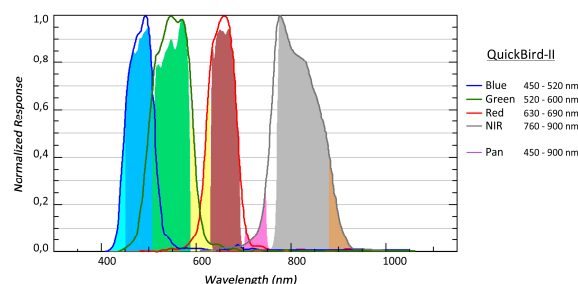


Figura 3. Contribuição de cada banda do sensor WorldView-II para gerar as quatro bandas do QuickBird-II. Para o cálculo da banda (a) Azul, foram utilizadas: Coastal, Blue e Green; (b) banda Verde: Blue, Green e Yellow; (c) banda Vermelho: Yellow, Red e Red-Edge; (d) e para a banda Infravermelho Próximo: Red-Edge, NIR-1 e NIR-2.

3.2 Fusão

Com o intuito de aumentar a resolução espacial das bandas multiespectrais (Schowengerdt, 2007) foi realizada fusão das imagens pancromática e multiespectrais (WorldView-II e QuickBird-II-simulada) pelo método Principais Componentes, gerando um produto híbrido com resolução espacial igual a 0,50 m.

3.3 Ortorretificação

A ortorretificação das imagens WorldView-II e QuickBird-II-simulada foi realizada aplicando-se o método polinomial racional 3D (*software* PCI Geomatics v10.3.1). Para a ortorretificação, foram utilizados 16 GCPs para cada área de estudo. Para a validação das ortorretificações, foram utilizados 18 pontos independentes de verificação (ICPs - *Independent Check Points*) para cada área de estudo. Os valores de RMSE (*Root Mean Square Error*) obtidos foram 1,15 m e 1,074 m, para as componentes planimétricas E e N, respectivamente.

Os GCPs utilizados na ortorretificação das imagens WorldView-II e QuickBird-II-simulada foram obtidos a partir de levantamento de campo realizado em Novembro de 2009, com o emprego de equipamentos GPS (*Global Positioning System*), de dupla frequência, o TOPCON Hiper L1. Foram coletados 68 pontos no método relativo estático. Os pontos coletados em campo foram processados em escritório, e apresentaram erros máximos da ordem de 27,5 cm para planimetria e 43,3 cm em altitude geométrica.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado na ortorretificação das imagens foi gerado a partir de dados altimétricos, por meio do aplicativo OrthoEngine do *software* PCI Geomatica v10.3.1, com interpolação por convolução cúbica, resultando em um produto com espaçamento de *pixel* de 1 metro.

3.4 Definição das Classes de Cobertura do Solo

As classes de cobertura do solo foram definidas com base na análise visual das imagens WorldView-II e visitas a campo para reconhecimento da área de estudo e identificação dos alvos presentes na cena. Quinze classes de cobertura do solo foram estabelecidas, considerando-se a possibilidade de sua discriminação, a saber: VEGETAÇÃO RASTEIRA e ARBÓREA, SOLO EXPOSTO, TELHA CERÂMICA, TELHA METÁLICA, COBERTURA EM CIMENTO CLARO, MÉDIO E ESCURO, TELHA DE CIMENTO PIGMENTADO, ASFALTO, PISO EM PEDRA NATURAL, PISCINA, COBERTURA EM PVC (*PolyVinyl Chloride* - Cloreto de Polivinila), CÓRREGO e SOMBRA.

3.5 Classificação no Sistema InterIMAGE

A etapa de mapeamento da cobertura do solo foi realizada utilizando o *software* InterIMAGE v0.95. Projetos independentes foram criados para cada área-teste, usando os dados preparados nas etapas anteriores e as bases vetoriais de ruas e quadras.

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória para avaliação do comportamento de cada classe em relação aos atributos disponíveis para a classificação. Esta análise foi realizada de forma supervisionada visualizando-se os atributos espacializados em níveis de cinza (ferramenta *Feature View*). Desta forma, é possível se obter o valor de todos os atributos para cada objeto representados em uma tabela e, também, visualizar os valores de um dado atributo em tons de cinza. Isto facilita a identificação dos agrupamentos de objetos com tons de cinza semelhantes e/ou diferentes, permitindo a escolha dos atributos e respectivos limiares mais pertinentes para separação entre as classes.

O procedimento de construção da rede hierárquica levou em consideração, principalmente, o custo computacional, optando-se por uma rede com poucos níveis e muitos nós-folhas.

No sistema InterIMAGE, o processo de classificação de uma imagem pode ocorrer de maneiras diferentes: usando-se a abordagem *top-down* ou *bottom-up*. Neste estudo, levando-se em conta a utilização de dados vetoriais para a separação de quadras e ruas, a estratégia que resultou em melhor desempenho computacional foi a que explora de modo mais amplo a etapa *top-down*. Seguindo esta estratégia, os nós-folhas segmentam a imagem e fazem as seleções lógicas, transmitindo ao nó-pai um número reduzido de hipóteses.

Uma vez que a segmentação, na etapa *top-down* dos nós-folhas, gerou agrupamentos de

hipóteses em sub-regiões para cada classe de cobertura do solo, a classificação dos objetos ocorreu nas etapas *bottom-up*, por meio da resolução de conflitos entre as classes. O operador utilizado foi o *Generic_BottomUp* e os conflitos foram resolvidos por meio da atribuição de valores de pertinência a cada uma das classes, priorizando-se aquelas cujos atributos utilizados as definiam melhor, com menos erros de omissão e comissão.

A acurácia dos resultados obtidos na classificação da cobertura do solo foi verificada por meio da matriz de confusão e índices *Kappa* e *Kappa*-condicional. A partir da matriz de confusão, foram calculadas medidas descritivas como a exatidão global do usuário e do produtor (Story e Congalton, 1986).

4. Resultados e Discussão

Dez mapas temáticos foram gerados pela classificação das imagens QuickBird-II-simulada e WorldView-II para as cinco áreas-teste. Os mapas resultantes da classificação da cobertura do solo da área-teste E são ilustrados na Figura 4. Por meio de análise visual, verificou-se que as classificações das imagens WorldView-II apresentam melhores resultados, em comparação com os mapas temáticos produzidos a partir das imagens QuickBird-II-simuladas.

Os valores de exatidão global e índice *Kappa* das classificações das imagens WorldView-II foram superiores aos valores obtidos pelas classificações das imagens QuickBird-II-simuladas (Tabela 1).

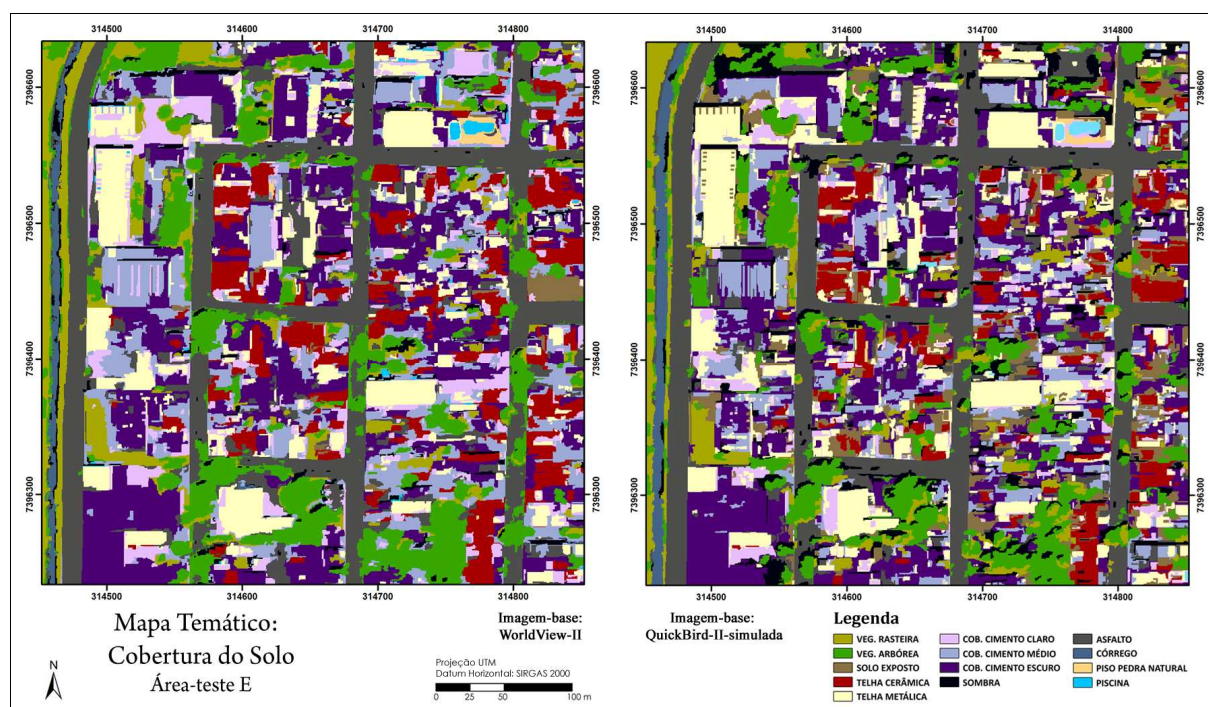


Figura 4. Mapas temáticos das classificações das imagens WorldView-II e QuickBird-II-simulada.

Tabela 1. Exatidão global, índice *Kappa* e variância do índice *Kappa* para as dez classificações.

ÁREA-TESTE	IMAGEM	Exatidão Global	Índice <i>Kappa</i>	Variância - <i>Kappa</i>	Teste Z
A	WorldView-II	0,838	0,813	0,000644	3,303
A	QuickBird-II - simulada	0,727	0,683	0,000900	
B	WorldView-II	0,877	0,852	0,000545	5,147
B	QuickBird-II - simulada	0,704	0,644	0,001080	
C	WorldView-II	0,902	0,886	0,000426	6,939
C	QuickBird-II - simulada	0,677	0,623	0,001007	
D	WorldView-II	0,877	0,858	0,000524	5,457
D	QuickBird-II - simulada	0,692	0,644	0,001006	
E	WorldView-II	0,834	0,816	0,000573	5,191
E	QuickBird-II - simulada	0,651	0,612	0,000962	

A avaliação estatística dos resultados indicou que os mapas temáticos produzidos a partir de imagens WorldView-II são significativamente diferentes daqueles resultantes das imagens QuickBird-II-simuladas. A avaliação das classes separadamente, de um modo geral, resultou em valores de índice *Kappa*-condicional sempre maiores nas classificações das imagens WorldView-II. Os resultados só foram melhores nas imagens QuickBird-II-simuladas no caso das classes CÓRREGO (áreas-teste B e C), VEGETAÇÃO RASTEIRA (área-teste A), ASFALTO (áreas-teste B) e COBERTURA EM CIMENTO ESCURO (área-teste D). Entretanto, a diferença de valores desses índices para os resultados obtidos com cada uma das imagens é pequena para estes casos.

As classes de cobertura VEGETAÇÃO RASTEIRA e ARBÓREA são espectralmente muito semelhantes, e o principal atributo utilizado para a sua separação das demais classes de cobertura deste estudo é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Estas classes apresentaram boa separabilidade para ambas as imagens WorldView-II e QuickBird-II-simuladas, entretanto, as confusões entre estas classes de vegetação estão mais presentes nas classificações das imagens QuickBird-II-simuladas. Embora esta confusão seja comum em estudos de classificação da cobertura do solo em áreas urbanas, as bandas *Yellow* e *Red-Edge* das imagens WorldView-II possibilitaram a melhor discriminação desses alvos.

Uma possibilidade para solucionar esta confusão é a utilização de atributos texturais, já que as duas classes em questão apresentam texturas diferentes, devido à presença de sombras na classe VEGETAÇÃO ARBÓREA. As medidas texturais de Haralick (Haralick et al., 1973) estão implementadas no sistema InterIMAGE v1.15 e podem ser utilizadas no futuro para uma melhor caracterização destas classes.

Nas classificações das imagens QuickBird-II-simuladas, observou-se também confusão entre as classes VEGETAÇÃO ARBÓREA e SOMBRA. Isto se deve, principalmente, ao fato da identificação de alvos vegetais utilizar principalmente atributos relacionados às bandas espectrais do vermelho e do infra-vermelho próximo, com destaque para o NDVI. No caso das imagens WorldView-II, a classificação de vegetação arbórea contou com o uso de atributos relacionados às bandas *Yellow* e *Red-Edge*, que não estão presentes na imagem QuickBird-II-simulada.

Em relação aos objetos "vermelhos", a questão crucial é a separação de telhas cerâmicas e áreas de solo exposto, pois, embora, possuam composições muito semelhantes estes alvos são semanticamente diferentes. Telhas cerâmicas representam uma construção e solo exposto indica uma área desocupada e não-impermeabilizada. A distinção destas classes encontra dificuldades em estudos que utilizam sensores com poucas e largas bandas espectrais, uma vez que as telhas cerâmicas preservam o espectro semelhante ao dos seus materiais de origem.

A classe TELHA CERÂMICA reúne todos os tipos de telhas cerâmicas encontradas na área de estudo, sejam claras ou escuras e de diferentes formatos (francesa, romana, portuguesa ou colonial). Este agrupamento foi realizado levando em consideração a semelhança entre seus comportamentos espectrais e significados. Embora as telhas cerâmicas coloniais (mais claras) sejam muito utilizadas em residências de baixo padrão econômico, também é comum o seu uso em residências de altíssimo padrão econômico. Assim, similarmente às telhas de fibrocimento e coberturas de laje plana de concreto, a proliferação de líquens reduz a reflectância das telhas cerâmicas coloniais.

Geralmente, a separação da classe SOLO EXPOSTO em relação a telhados cerâmicos e vegetação rasteira rala ou seca é muito difícil, pois apresentam respostas espectrais similares. Contudo, o uso de bandas espectrais adicionais melhorou o resultado das classificações de telhados cerâmicos. As imagens WorldView-II permitiram a distinção de objetos de TELHA CERÂMICA daqueles de SOLO EXPOSTO devido ao uso de atributos relativos às bandas *Yellow*, *Red-Edge* e *NIR-2*. Enquanto os valores do índice *Kappa*-condicional para as classificações das imagens QuickBird-II-simuladas ficaram compreendidos entre 0,33 e 0,62, as classificações das imagens WorldView-II obtiveram valores entre 0,63 e 1,00.

A classe TELHA METÁLICA foi facilmente identificada nas imagens WorldView-II, tendo obtido valores altos dos índices de acurácia. Nas classificações das imagens QuickBird-II-simuladas, os resultados também foram bons. As maiores confusões com a classe TELHA METÁLICA ocorrem com as classes de materiais de cobertura acinzentados, especialmente

com as classes COBERTURA EM CIMENTO CLARO e MÉDIO. Isto se deve à diversidade de respostas espectrais desta classe de cobertura, pois os alvos metálicos são constituídos de diferentes metais, com cores diferentes e geometrias diferentes (planos ou curvos). As cores predominantes são azul, cinza e branco, embora possam apresentar aspecto mais escuro devido ao envelhecimento e oxidação do material, deposição de substâncias (i.e., poluição, dejetos de aves, etc.) e geometria da cobertura (oposta à iluminação solar ou ao ângulo de visada do sensor).

As classes COBERTURA EM CIMENTO CLARO, MÉDIO e ESCURO foram criadas de modo a agrupar os objetos compostos principalmente por cimento, como: telhas de fibrocimento com e sem amianto, telhas de cimento pigmentado, coberturas de lajes planas de concreto e pavimentação em concreto. Segundo Moreira (2008), os materiais à base de cimento apresentam características espectrais mais homogêneas que os metais. Estes materiais não apresentam feições de absorção características que permitam distingui-los entre si, ainda que ocorra redução na reflectância, principalmente na região do visível, ao longo do processo de envelhecimento. O uso de dados hiperespectrais permite diferenciá-los, uma vez que os objetos com amianto possuem em sua composição uma tênue feição de absorção em 2330 nm (Bassani et al., 2007), região do espectro não abrangida pelas bandas do sensor utilizado neste estudo. Desta forma, não foi possível a discriminação das telhas de fibrocimento com e sem amianto.

A diferenciação dos objetos de cimento em claro, médio e escuro foi realizada unicamente considerando-se o brilho destes objetos observado nas imagens. Esta diferenciação, entretanto, pode fornecer informações importantes quanto ao uso do material. Por exemplo, pavimentos de concreto geralmente são mais claros que telhas de fibrocimento envelhecidas. Observou-se também que os telhados residenciais de fibrocimento (com ou sem amianto) possuem brilho baixo, e na sua maioria, foram classificados como COBERTURA EM CIMENTO ESCURO.

Em geral, as classificações das imagens WorldView-II apresentaram melhores resultados em relação às imagens QuickBird-II-simuladas para as três classes de cobertura cimentícias.

As classificações das imagens WorldView-II e QuickBird-II-simulada, apresentaram valores próximos quanto aos índices *Kappa*-condicional, exatidão do usuário e do produtor para a classe COBERTURA EM CIMENTO CLARO. Entretanto, no caso da área-teste E (Figura 5) os valores de índices *Kappa*-condicional e exatidão do usuário foram inferiores na classificação da imagem QuickBird-II-simulada, sendo expressivos os erros de omissão.

As TELHAS EM CIMENTO PIGMENTADO, por sua vez, apresentam um comportamento espectral diferente dos demais elementos de concreto, assemelhando-se mais ao comportamento espectral das TELHAS METÁLICAS e das COBERTURAS EM CIMENTO CLARO. Isto é devido ao tipo de pigmentação utilizado. Estes tipos de telha encontrados na área de estudo possuem coloração cinza-claro.

A discriminação da classe ASFALTO obteve bons resultados na classificação. Os poucos erros de omissão, podem ser explicados pelo uso de um atributo de contexto: ao inserir o arquivo vetorial de quadras e ruas na classificação das cenas, restringe-se a detecção de alvos da classe ASFALTO no interior das quadras. Os erros de comissão devem-se à classificação de áreas escuras das imagens (no interior das quadras – Conjuntos Habitacionais), referentes a objetos das classes COBERTURA EM CIMENTO ESCURO e SOMBRA.

A classe SOMBRA geralmente corresponde a áreas escuras na imagem, com ausência de informação. Entretanto, considerando-se que a imagem WorldView-II usada neste trabalho não foi adquirida ao nadir, as áreas sombreadas não correspondem à ausência completa de resposta espectral do alvo. Assim, os objetos que um intérprete humano consideraria como classe SOMBRA, são passíveis de serem classificados nas demais classes de cobertura do solo. Os erros de classificação relacionam-se principalmente a classes cujos objetos apresentam baixo brilho.

5. Conclusão

A hipótese de que a melhoria da resolução espectral das imagens WorldView-II, em relação às outras imagens de alta resolução espacial disponíveis, pode facilitar a identificação de alvos urbanos, e conseqüentemente aprimorar a classificação da cobertura do solo, foi considerada viável a partir dos maiores índices de acurácia resultantes dos mapas temáticos elaborados com imagens WorldView-II.

As confusões entre classes que ocorrem comumente nas classificações de imagens QuickBird-II foram reduzidas. Neste ponto, merecem destaque as classes TELHA CERÂMICA e SOLO EXPOSTO, que, conforme a literatura, não apresentam boa separabilidade nas classificações de cobertura do solo urbano que utilizam somente imagens orbitais de alta resolução espacial. Os resultados obtidos para estas classes foram melhores nas classificações das imagens WorldView-II, em relação aos resultados obtidos por meio das imagens QuickBird-II-simuladas. Isto pode ser atribuído, principalmente, ao uso das bandas *Yellow* e *Red-Edge* na discriminação destas classes nas classificações das imagens WorldView-II. A banda *Yellow*, de modo especial, esteve presente nas regras de decisão para separação de todas as classes de cobertura do solo deste trabalho.

De um modo geral, a análise da separabilidade das classes de cobertura do solo mostrou que, com exceção da classe CÓRREGO, as outras quatorze classes foram melhor discriminadas nas classificações das imagens WorldView-II.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro à execução deste trabalho; à empresa Digital Globe, na pessoa do Dr. Kumar Navulur, pela cessão das imagens WorldView-II; ao Cléber Gonzales de Oliveira, Emiliano Ferreira Castejon e Thales Sehn Korting pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Referências Bibliográficas

- Bassani, C.; Cavalli, R. M.; Cavalcante, F.; Cuomo, V.; Palombo, A.; Pascucci, S.; Pignatti, S. Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 3, p. 361-378, 2007.
- 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. InterIMAGE: Uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60, v. 4, p. 331-337, dez 2008.
- EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S. A. Levantamento Aerofotogramétrico. Folhas: SF-23-Y-C-VI-I-NE-A, Carapicuíba; SF-23-Y-C-VI-I-NE-C, Aldeinha de Carapicuíba; escala 1:10.000. 1996.
- Haralick, R. M.; Shanmugan, K.; Dinstein, I. Textural features for image classification. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 3, n. 6, p. 610-621, nov 1973.
- InterIMAGE. **InterIMAGE - Interpreting Images Freely**. Disponível em: <<http://www.lvc.ele.pucrio.br/projects/interimage/>> 2010.
- ITT Visual Information Solutions. **ENVI 4.7, version 4.7**. Boulder, Colorado, EUA, 2009.
- Mascarenhas, N. D. A.; Banon, G. J. F.; Fonseca, L. M. G. Simulation of a Panchromatic band by spectral linear combination of multispectral bands. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'91) – Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management, 3-6 jun 1991, Espoo, Finlândia. **Proceedings...** New York: IEEE, 1991. p. 321-324.
- Mathworks Inc. **MATLAB, Version 7.9 (R2009b)**. Natick, Massachusetts, EUA, 2009.
- Moreira, R. C. **Estudo espectral de alvos urbanos com imagens do sensor HSS (Hyperspectral Scanner System)**. 237p. INPE-15339-TDI/1375. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.
- PCI Geomatics Enterprises Inc. **PCI Geomatica-10, version 10.3.1**. Richmond Hill, Ontário, Canadá, 2010.
- Ribeiro, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 2010. 177 p. INPE-16761-TDI/1689. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-19@80/2010/08.03.12.52.20>>
- Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3rd ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515 p.
- Story, M.; Congalton, R. G. Accuracy assessment: A user's perspective. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399. Mar 1986.