

Revista Brasileira de Cartografia (2011) N° 63/4, p. 439-448
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES URBANAS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL A PARTIR DO ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS

*Extraction of Urban Features from High Resolution Imagery Based on Analysis of
the Targets Spectral Profiles*

**Carolina Moutinho Duque de Pinho¹, Marta Eichemberger Ummus² &
Tessio Novack²**

¹Intituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Divisão de Processamento de Imagens – DPI

Av dos Astronautas, 1.758, Jd. Granja - CEP: 12227-010

São José dos Campos – SP, Brasil

carolina@dpi.inpe.br

²Intituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR

Av dos Astronautas, 1.758, Jd. Granja - CEP: 12227-010

São José dos Campos – SP, Brasil

marta@dsr.inpe.br, tessio@dsr.inpe.br

*Recebido em 16 Agosto, 2010/ Aceito em 11 Outubro, 2010
Received on August 18, 2009/ Accepted on October 11, 2010*

RESUMO

A abordagem da Análise de Imagens Baseada em Objeto Geográfico se consolidou na década presente como uma alternativa eficiente para a classificação digital automatizada da cobertura do solo em áreas urbanas. No entanto, esta abordagem se encontra disponível somente em sistemas de interpretação de imagens de base conceitual complexa, o que torna a tarefa de extração de informação um trabalho minucioso e eventualmente demorado. A fim de contribuir com uma metodologia mais robusta, ou seja, de extração de informações de forma mais rápida, e de menor complexidade, este trabalho propõe um método de extração de tipos de cobertura de telhados em áreas urbanas brasileiras. A idéia básica deste método é a proposição de índices e/ou razões de bandas que colaborem na diferenciação de tipos específicos de telhados em imagens de alta resolução. Para tanto, utilizando o espectroradiômetro Fieldspec FR II, foram coletados em laboratório curvas espectrais de seis tipos de telhas comuns em cidades brasileiras. Os resultados são discutidos em termos de distinção das amostras e possíveis materiais constituintes destas. Após esta análise qualitativa, as curvas espectrais foram re-amostradas para as posições e larguras de bandas dos sensores IKONOS, QuickBird, GeoEye-I e WorldView-II. Após esta análise, é mostrado uma técnica específica de detecção de telhas de cerâmica utilizando imagens do sensor QuickBird.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto Urbano, Fieldspec, Sensores Multiespectrais de Alta Resolução.

ABSTRACT

In the last decade, Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) has settled as a flexible and efficient approach for automatic land cover/land use classification of urban areas. Nevertheless, it is only available on image interpretation software of broad and complex conceptual basis. Hence, information extraction with such tools can be a detailed and time-consuming task. Aiming to contribute with a faster and less complex methodology for information extraction, this work proposes a method for extracting roofs made of different tile types present in Brazilian cities. The basic idea of the method is to propose band ratio index that facilitate the distinction of different roof types on high resolution imagery. Spectral profiles of six different tile types were collected in laboratory utilizing the Fieldspec FR II spectroradiometer. Results are discussed qualitatively in terms of sample distinction and possible component materials. Following, the spectral profiles were re-sampled to the position and bandwidth of sensors IKONOS, QuickBird, GeoEye-I and WorldView-II. Lastly, a specific technique for ceramic tile roofs detection from QuichBird imagery is shown.

Keywords: Urban Remote Sensing, Fieldspec, Multispectral Sensors.

1. INTRODUÇÃO

A evolução na resolução espacial de alguns sistemas de sensores orbitais a partir da última década, para resoluções sub-métricas, ampliou sobremaneira a capacidade de discriminação dos alvos terrestres (EHLERS, 2007). Uma das áreas de aplicação que mais se beneficiou com este tipo de imagem foi o sensoriamento remoto de áreas urbanas, que apesar de já dispor de fontes de informação com alta resolução espacial (fotografias aéreas), ressentia-se com a inexistência de um tipo de dado que reunisse alta resolução espacial com alta resolução radiométrica e temporal. A combinação destas três características permite a detecção dos elementos que compõem o espaço intra-urbano e, por conseguinte, apresenta grande aplicabilidade para mapeamentos de cobertura e uso de áreas densamente urbanizadas com o auxílio de classificadores automáticos (PINHO et al., 2008; ARAUJO, 2006; NOVACK e KUX, 2009). Entretanto a resolução espectral (número, largura e posição de bandas no espectro eletromagnético) dos sensores orbitais de alta resolução espacial utilizados até recentemente (IKONOS II, Quickbird, GeoEye-I) é limitada no que tange a diferenciação das classes de cobertura no espaço intra-urbano em procedimentos de classificação automática (HEROLD et.al. 2004 e KAVZOGLU et al., 2009). Com o lançamento do satélite Worldview-II em outubro de 2009 este contexto se modificou um pouco, pois o sensor além de fornecer imagens de alta resolução espacial (0,46m para a banda pancromática e 1,84 para as bandas

multiespectrais) também oferece maior resolução espectral com 5 canais no espectro do visível e 3 canais no infra-vermelho próximo. Em sua dissertação de mestrado RIBEIRO (2010) compara classificações de cobertura do solo em área urbana de imagens Quickbird e WorldView-II utilizando abordagem GEOBIA (*GEOgraphic Object-Based Image Analysis*). Neste trabalho foram obtidas exatidões temáticas significativamente melhores para os produtos WorldView-II. A presença da banda Amarela (585 – 625 nm) foi o fator que mais influenciou na melhoria da distinção entre as classes, ou seja, a mudança no padrão de bandas espectrais em sensores de alta resolução espacial (três bandas no visível e uma no infravermelho próximo) traduziu-se em classificações de cobertura do solo urbano com maior exatidão temática, segundo o referido trabalho. Entretanto, o avanço na resolução espectral não resolveu todos os problemas de extrações de feições no espaço urbano, utilizando classificadores automáticos. Ainda há restrições relativas aos métodos de extração de informação disponíveis e ao grande volume de dados a serem processado.

Em relação aos métodos, a abordagem GEOBIA se consolidou na década presente como uma alternativa eficiente na classificação de cobertura do solo em áreas urbanas uma vez que oferecem inúmeras possibilidades para a extração de informações (não limitando-se apenas a atributos espectrais) e têm apresentado bons resultados quanto a exatidão temática (PINHO, 2005; ARAUJO, 2006; NOVACK 2009; e RIBEIRO 2010). Entretanto, esta abordagem se encontra disponível somente em sistemas de

interpretação de imagens de base conceitual complexa, tais como o eCognition 8.0¹ e o InterIMAGE², o que torna a tarefa de extração de informação um trabalho demorado. A elaboração de um modelo de conhecimento de extração de informações nestes sistemas pode custar três meses de trabalho de um analista especializado (PINHO et al., 2008).

Referente ao volume de dados, as abordagens GEOBIA restringem-se a aplicações em áreas testes muito pequenas limitadas agrupamentos de moradia em áreas urbanas que não ultrapassam 30 km² (PINHO, 2005; ARAUJO, 2006; NOVACK, 2009 e RIBEIRO, 2010).

A fim de contribuir com uma metodologia mais robusta, ou seja, de maior rapidez na extração de informações e de menor complexidade, este trabalho propõe um método de extração de tipos de cobertura de telhados em áreas urbanas brasileiras. A idéia central deste método é a proposição de índices e/ou razões de bandas que colaborem na diferenciação de tipos específicos de telhados em imagens de alta resolução. Para tanto, é necessário conhecer o comportamento espectral dos diferentes tipos de telhados. Como não temos disponíveis bibliotecas espectrais com os tipos de coberturas utilizados no Brasil, foram realizadas medidas de laboratório para a obtenção de curvas espectrais dos materiais mais comuns encontrados em nossas cidades. Após a obtenção das curvas, as mesmas foram re-amostradas para os seguintes sensores de alta resolução espacial: Quickbird, IKONOS e WorldView II. Esta operação foi realizada para que fosse possível avaliar o comportamento dos diferentes tipos de telhados para os sensores analisados supracitados, de maneira a propor índices aplicáveis para estes sensores. A avaliação da efetividade dos índices foi realizada utilizando-se uma imagem fusionada QuickBird sobre a qual foram aplicadas operações de razão de bandas.

O presente artigo se estrutura em mais quatro seções. A seção 2, Material, refere-se aos softwares e dados utilizados. A seção 3, Experimento, descreve as etapas do trabalho. Na

seção 4 os resultados são apresentados e discutidos e na última seção são apontadas as conclusões do presente artigo.

2. MATERIAL

2.1 Softwares

Os softwares utilizados neste trabalho foram: (1) Excel para a confecção dos gráficos, (2) Envi 4.7 para a geração das curvas re-amostradas e para a elaboração dos índices de imagem.

2.2 Imagens

Duas imagens QuickBird foram utilizadas no experimento; uma pancromática, com 0,60 m de resolução espacial e outra, multiespectral, com 2,40 m de resolução e quatro bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). As imagens são do tipo ORStandard2A, obtidas em 17 de maio de 2004, com ângulo *off-nadir* de 7,0° e resolução radiométrica de 11 bits.

3 EXPERIMENTO

O experimento foi realizado em 7 etapas conforme o fluxograma na Figura 1.

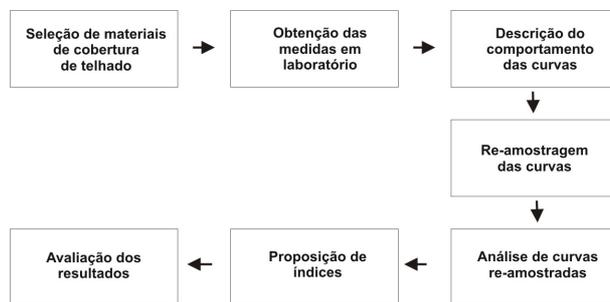


Fig.1 – Fluxograma do Experimento.

3.1 Seleção de materiais de cobertura de telhado

Foram selecionados os materiais mais comuns encontrados em áreas urbanas brasileiras com ênfase em tipos diferenciados de telhas de cerâmica. Priorizou-se este material porque a estimativa desta classe em mapas temáticos de áreas urbanas permite a inferência de uma série de características, como, por exemplo, se a população residente em determinada área

¹Software comercial desenvolvido originalmente pela empresa alemã Definiens e hoje propriedade da Trimble, divisão de softwares. Para maiores informações consultar www.ecognition.com.

²O InterIMAGE, é um sistema gratuito e com código aberto (*open source*), desenvolvida conjuntamente pelo Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LVC/PUC-RJ) e pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI-INPE) (COSTA et al., 2008).

caracteriza-se por baixa, média ou alta renda, conforme explorado nos trabalhos de Souza et al. (2007) e Almeida et al. (2007) nos quais se verificam que a variação da porcentagem da classe de cobertura Telha Cerâmica está correlacionada com diferentes padrões de áreas residenciais homogêneas³.

Foram escolhidas oito amostras de telhados de maior ocorrência em áreas urbanas brasileiras, a saber: (a) Telha de amianto (ondulação fina); (b) Telha de amianto (ondulação grossa); (c) Telha de aço galvanizado; (d) Telha de cimento; (E) Telha de cimento pintada; (F) Telha de cerâmica clara; (G) Telha de cerâmica padrão (H) Telha de cerâmica velha (Figura 2).

3.2 Obtenção das medidas em laboratório

As medições radiométricas foram realizadas sob condições de iluminação e observação constantes nas dependências do Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Utilizou-se o espectrorradiômetro Fieldspec FR II para obter a reflectância espectral difusa dos alvos analisados. O sensor, posicionado a nadir, encontrava-se distante 30 cm acima dos alvos. Este instrumento tem a capacidade de medir a radiância entre os comprimentos de onda de 350 a 2500 nm. A resolução espectral do Fieldspec FR II varia para alguns intervalos de comprimento de onda: de 350 a 1000 nm a resolução é de 3,0 nm enquanto que de 1000 a 2500 nm a resolução é de 10 nm. O intervalo de amostragem é de 1,4 nm para os

comprimentos de onda entre 350 a 1000 nm e 2,0 nm para o intervalo de 1000 a 2500 nm (ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES, 2000).

Como fonte de iluminação, foi utilizada uma lâmpada halógena, que permite o realce das cores dos objetos com mais eficiência do que as lâmpadas incandescentes comuns. A característica principal deste tipo de lâmpada é a de fornecer um fluxo constante de radiação eletromagnética em relação ao alvo.

A fonte foi apoiada em um tripé a um ângulo de 45° e foi mantida em posição constante durante todo o experimento para que as medidas de radiância não fossem alteradas devido a mudanças nas condições de iluminação.

Utilizou-se também uma placa de referência com o propósito de estimar a irradiância sobre o alvo, já que, por se tratar de uma superfície isotrópica (a reflexão é igual para todos os lados), os valores de irradiância são iguais aos valores de radiância refletidos pela placa.

A placa utilizada nas medições em laboratório é conhecida como Spectralon 11, e é constituída por uma resina termoplástica (polímero) que possui alta reflectância difusa. Segundo a empresa fabricante, a Labsphere Inc. os valores de reflectância da placa são de 95 a 99% (LABSPHERE, 2010).

Foram obtidas três medidas para cada amostra com o objetivo de gerar dados a fim de traçar estimativas do Fator de Reflectância Bidirecional Espectral (FRBE) por meio das

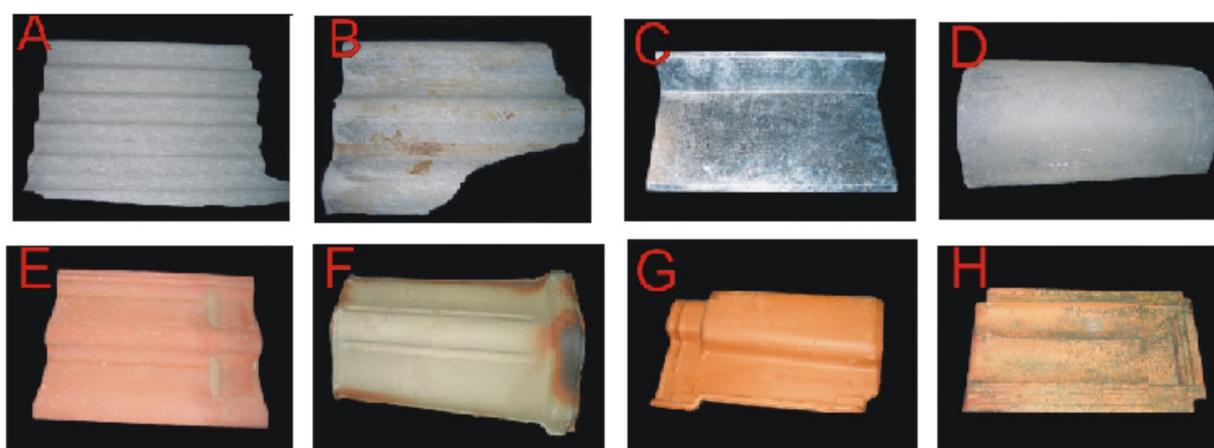


Fig. 2 – Amostras de telhas cujos espectros foram coletados.

³ Para maiores detalhes sobre a metodologia de classificação de áreas residenciais homogêneas consultar Gonçalves et al. (2007) e Souza (2003).

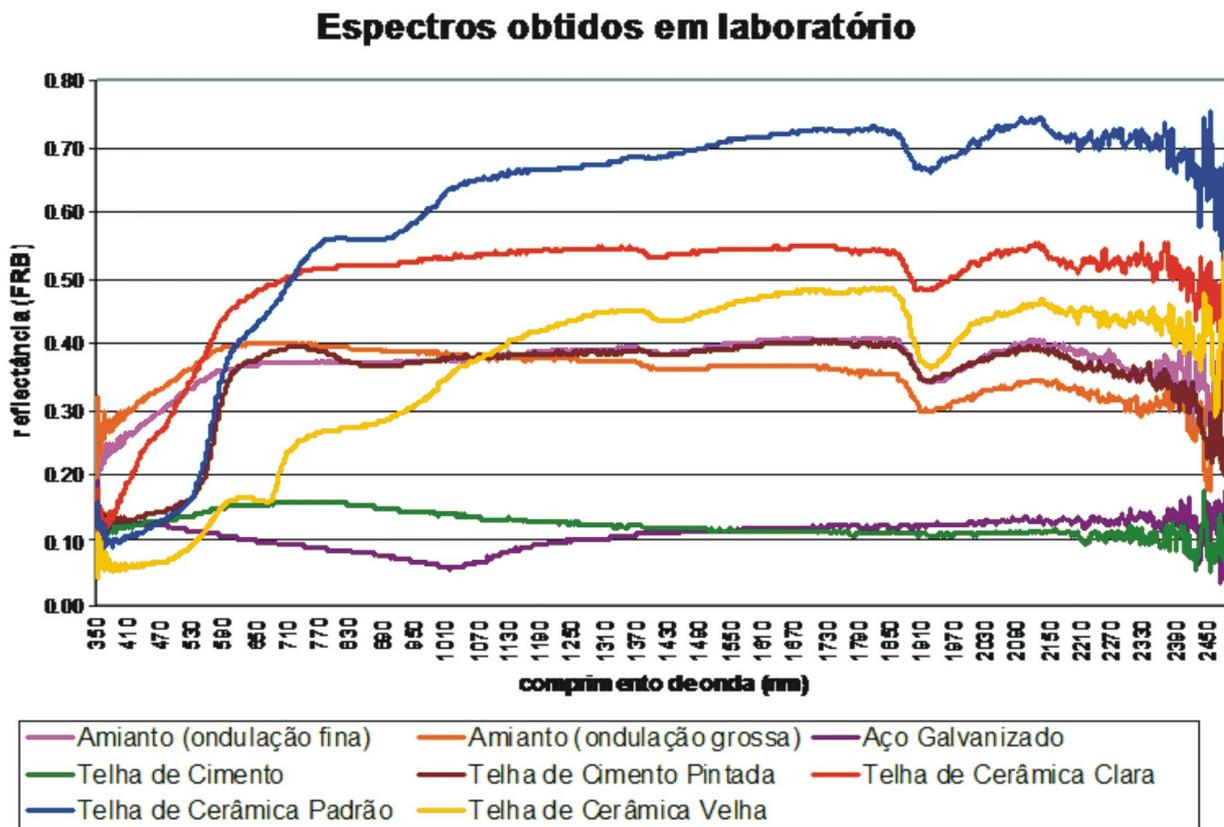


Fig.3 – Curvas espectrais laboratório para as amostras coletadas

medidas de radiância dos alvos e da placa de referência. O FRBE é a razão entre as radiâncias espectrais de uma amostra e de uma superfície de referência ideal, considerando-se as mesmas condições de observação e iluminação (MILTON, 1987). Para a geração dos gráficos, utilizou-se a média simples dos três espectros. As curvas de reflectância obtidas em laboratório foram reamostradas para as bandas dos sensores selecionados no software ENVI 4.7 utilizando os filtros disponíveis no aplicativo.

3.3 Descrição do comportamento das curvas

Na Figura 3 foram plotados os valores de FRBE para todos os materiais utilizados no trabalho. Deve-se desconsiderar a grande variação de valores de FRBE no final de todas as curvas (o que é resultado de problemas de ruído no sensor utilizado). A semelhança de forma entre os gráficos de telhas cerâmicas com a assinatura espectral de solos argilosos era um resultado já esperado, pois a composição deste tipo de cobertura assemelha-se muito a composição de solos argilosos.

Comparando-se as três curvas de diferentes telhas cerâmicas percebe-se que a Telha cerâmica padrão possui os maiores valores de reflectância a partir do infravermelho próximo, seguida pela Telha cerâmica clara e depois pela Telha cerâmica velha. Já no intervalo do visível o comportamento foi diferente, a Telha cerâmica velha apresentou os menores valores de FRBE no visível. Isto porque, além de apresentar uma coloração com menor brilho que as telhas padrão e clara, ela também possuía manchas escuras de fuligem e limo que provavelmente contribuíram para reduzir a FRBE no visível. Observando a curva da Telha cerâmica velha no visível identifica-se um pequeno pico de FRBE no intervalo do Verde (entre 500 e 600nm), seguida de uma banda de absorção no Vermelho (entre 600 e 700 nm) e posterior elevação dos valores de FRBE no Infravermelho Próximo. Estas feições são características de vegetação verde e indicam a presença de limo nesta amostra, como constatado em sua análise visual. Ainda neste intervalo de comprimento de onda observa-se que a telha

cerâmica Clara é a que possui maiores valores de FRBE.

As telhas de amianto apresentaram respostas da FRBE com comportamentos bem semelhantes entre si apesar de possuírem tamanhos diferentes de ondulação. A Telha com ondulação grosseira apresentou algumas manchas avermelhadas. Para este material destaca-se um aumento de valores de FRBE dos comprimentos de onda do Azul (entre 500 e 600nm), para o Vermelho e depois uma estabilização de valores quase constantes ao longo de todo o espectro observado.

A telha de cimento pintada apresenta nos comprimentos de onda do Azul e do Verde, valores de FRBE semelhantes aos da curva da Telha cerâmica padrão, indicando a influência de sua pigmentação. A partir do Vermelho até final do espectro seu comportamento é mais próximo ao das telhas de amianto. A amostra da Telha de cimento sem pigmentação possui valores de FRBE baixos, de 10 a 20%, em todo o espectro observado com uma curva quase que constante. Destacou-se uma pequena variação no Visível que tem seu maior valor no Vermelho, diminuindo progressivamente no Infravermelho Próximo até 1370 nm, ponto a partir do qual a curva se estabilizou.

Apesar das coberturas de aço galvanizado comumente apresentarem valores de pixels saturados em imagens multiespectrais devido a altos valores de reflectância (PINHO, 2005), a curva deste material obtido em laboratório apresentou uma curva com valores muito baixos ao longo de todo o espectro. Isto pode ser explicado porque, mesmo com alta reflectância, este material tem a propriedade de refletir a energia especularmente e como a unidade detectora estava posicionada ao nadir, o produto da reflexão especular não foi detectado. Os pixels saturados em imagens ocorrem quando o sensor está em um posicionamento que recebe esta reflexão especular.

A partir de uma análise qualitativa de todas as curvas coletadas verificou-se que é possível distinguir várias classes de cobertura entre estes materiais. Isto porque, apesar de apresentar confusão entre as curvas no visível, a tendência geral é de uma maior diferenciação de valores de FRBE entre as curvas conforme aumenta o comprimento de onda em direção ao Infravermelho Médio (HEROLD, 2004).

3.4 Re-amostragem das curvas

Após análise das curvas médias de FRBE para cada material, procedeu-se a re-amostragem

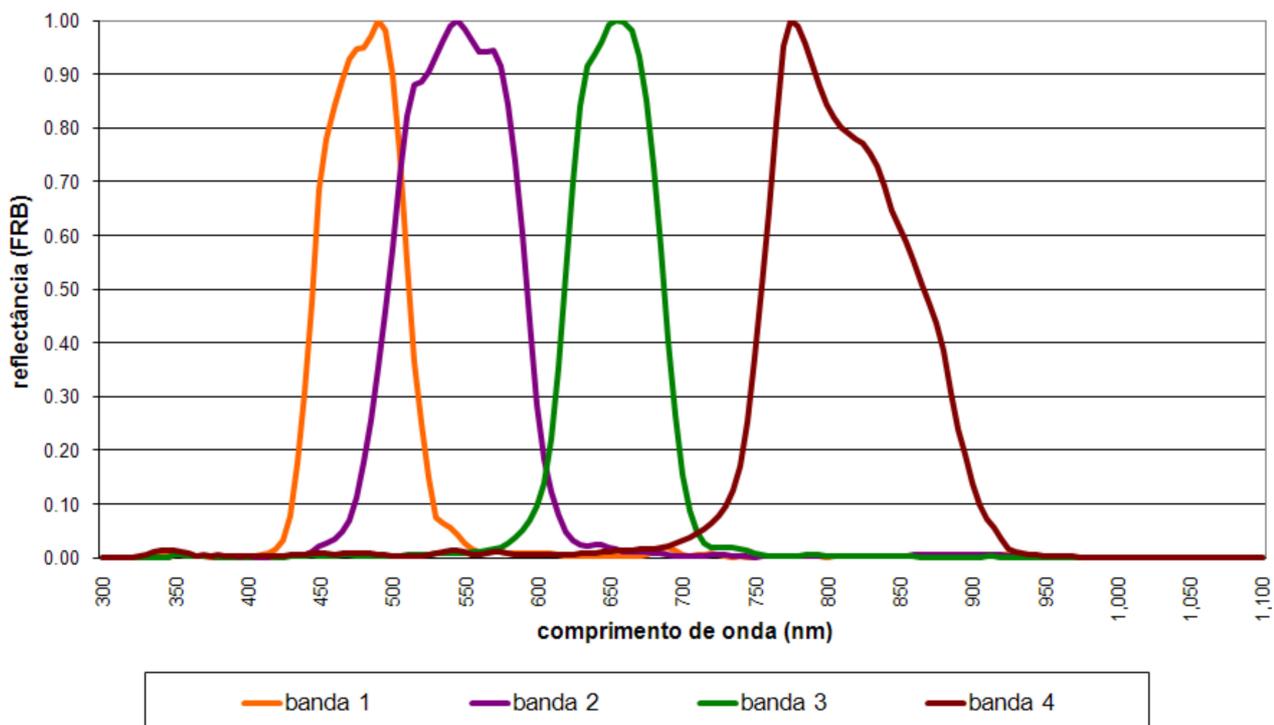


Fig. 4 – Função normalizada de resposta espectral do sensor QuickBird

destas curvas para as bandas dos sensores multiespectrais Quickbird, IKONOS, GeoEye-I e WorldView II. Para tanto se utilizou a ferramenta de re-amostragem espectral do software Envi 4.7. Esta ferramenta faz uma média ponderada dos valores de entrada utilizando como pesos os valores fornecidos pela função normalizada de resposta espectral do sensor. A figura 4 mostra um exemplo deste tipo de função para o sensor QuickBird.

3.5 Análise das curvas re-amostradas

Após este processamento foram elaborados os gráficos da Figura 5, nos quais se pode observar a perda de detalhe em todas as curvas. Comparando-se os gráficos dos quatro sensores, observa-se que a distinção entre os tipos de telhado ficou bastante comprometida em relação às curvas originais, pois houve um achatamento das feições no visível e uma perda significativa de detalhes do Infravermelho em diante.

Destaca-se o comportamento praticamente idêntico das curvas para as bandas dos sensores QuickBird (Figura 5a) e IKONOS (Figura 5b) e GeoEye (Figura 5c). Isto porque estes sensores possuem bandas muito parecidas. Outro fator de destaque é a resposta do sensor WorldView-II,

que por possuir oito bandas espectrais apresentou curvas com feições mais detalhadas que os outros três sensores observados.

3.6 Proposição de índices

A partir da análise da Figura 6, observa-se que para os quatro tipos de cobertura cerâmica registram-se altos valores de FRBE para a faixa do Vermelho e valores muito baixos para a faixa do Azul. A forma dos espectros re-amostrados é muito similar, apresentando retas com inclinações bem parecidas. O que se observa de diferenciação é o aumento nos valores da FRBE de um tipo de telha para o outro.

Quando se retoma a análise dos gráficos da Figura 3, observa-se que o padrão de comportamento observado para o grupo de telha cerâmica é completamente diferente do comportamento dos outros materiais de cobertura. Neste contexto, de padrão bem definido de resposta da FRBE e de diferenciação entre outros materiais verificou-se que seria possível propor um índice para a identificação de telhas cerâmicas em imagens de alta resolução espacial.

O índice proposto baseou-se no aumento acentuado dos valores de FRBE da banda do Azul

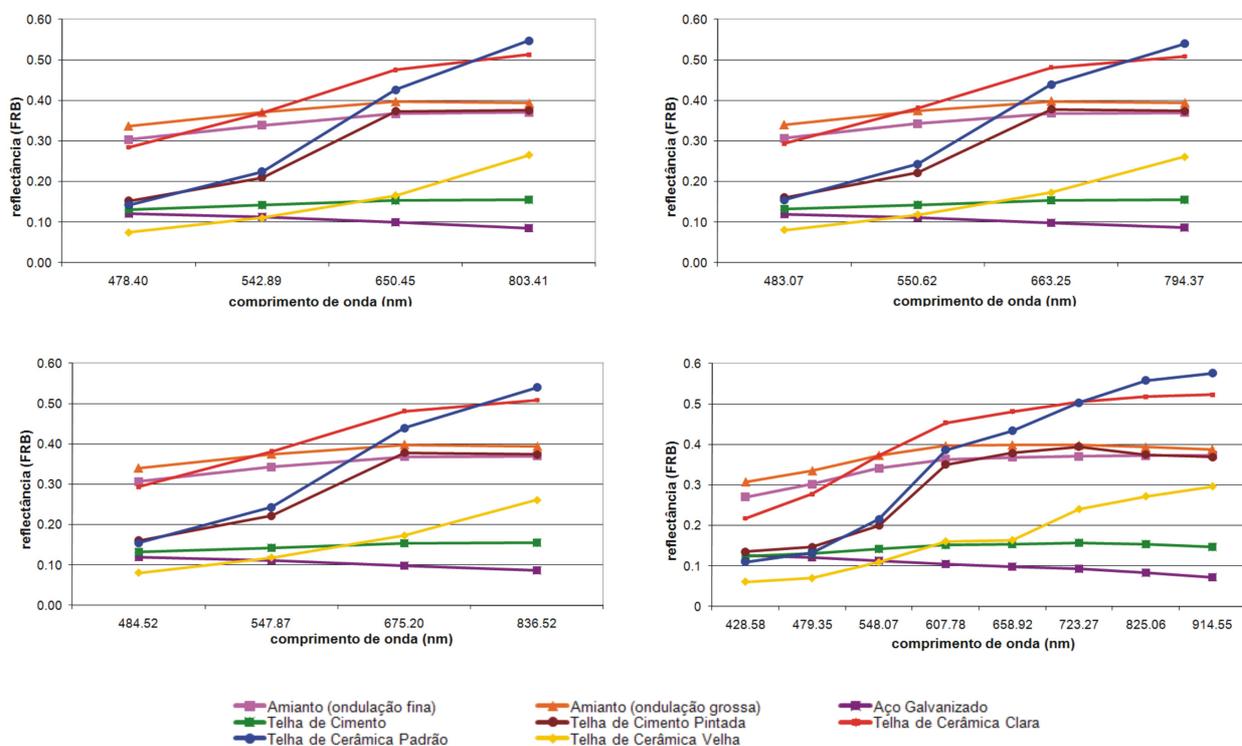


Fig. 5 – Curvas espectrais re-amostradas para a resolução espectral dos sensores Quickbird (a), IKONOS (b) GeoEye-I (c) e WorldView II(d).

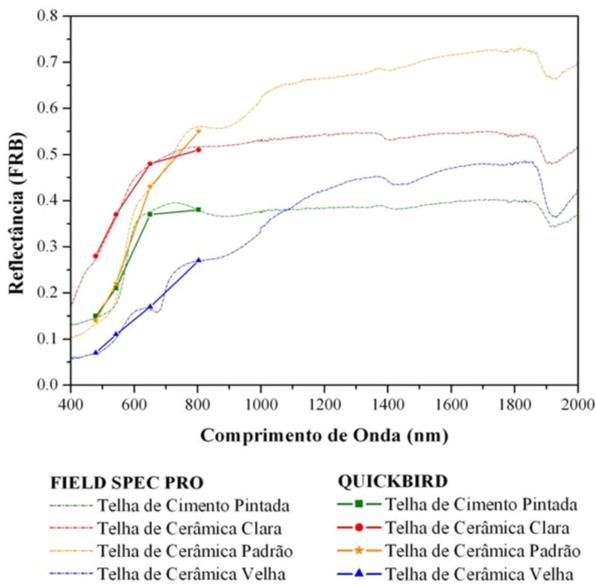


Fig. 6 - FRBE de telhas cerâmicas obtidos em Laboratório e simuladas para as bandas do QuickBird.

até a banda do Vermelho (valores aproximadamente entre 478 a 675 nm). Para evidenciar melhor este degrau, propôs-se uma razão de bandas onde os valores da banda 3 (Vermelho) foram divididos pelos da banda 1 (Azul). Para a realização deste processamento foram utilizadas as imagens QuickBird descritas na seção 2 deste documento.

4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a geração da imagem da razão de bandas no software ENVI, analisou-se o intervalo de valores que concentravam pixels da classe coberturas cerâmicas por meio da visualização de valores de pixel na própria imagem. Após a definição do intervalo para cada uma das classes foi realizado um fatiamento das mesmas. O fatiamento da razão foi comparado com o fatiamento da banda do Vermelho para comparar a efetividade das duas extrações. Nas Figuras 7a, 7b e 7c observa-se a direita a imagem de razão, no centro a banda do Vermelho e a esquerda uma composição colorida cor verdadeira. Na figura

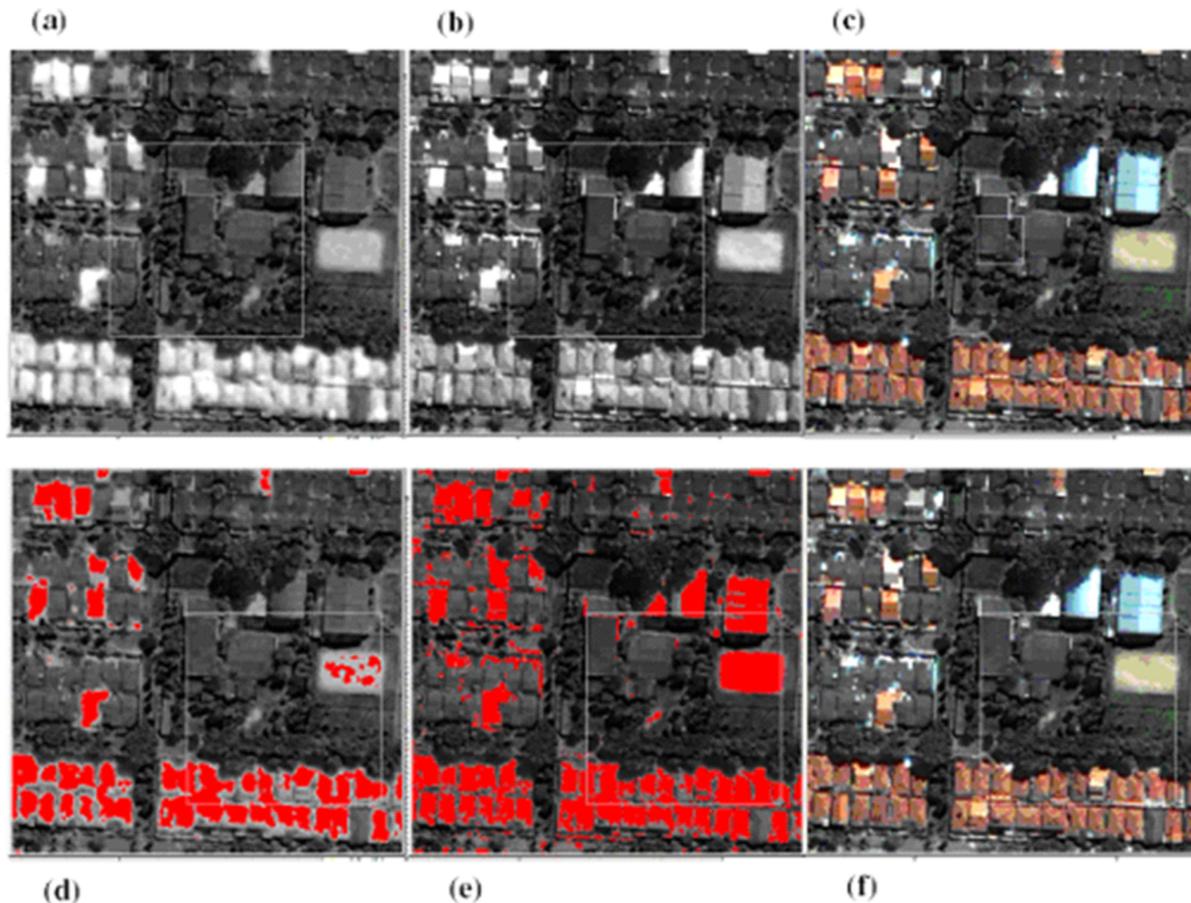


Fig. 7 – Razão de bandas (a), banda do Vermelho (b), composição colorida verdadeira (c), (f) e fatiamento da classe telhas cerâmicas a partir de limiares na imagem razão (d) e no canal vermelho (e).

7a com a imagem de razão de bandas nota-se que os telhados de cerâmica destacam-se mais do que na banda do Vermelho, apresentando alguns pontos de saturação. Ainda comparando as duas figuras (7a e 7b) observa-se que telhados de aço galvanizado, solo exposto e coberturas com a cor branca possuem altos valores para a banda 3 enquanto que na imagem de razão este destaque fica mais restrito aos objetos com cobertura cerâmica.

Analisando as figuras de fatiamento da classe telhas cerâmicas, observa-se que o fatiamento feito na imagem de razão (Figura 7d) com limiar de 1,45 a 3,00 (valor adimensional) obteve melhores resultados do que o fatiamento na banda 3 (figura 7e) com limiar de 200 a 600 (valores em número digital). Os erros observados na detecção de edificações com cobertura cerâmica a partir da imagem de razão referem-se à inclusão de objetos da classe solo exposto. Como estas duas classes são de constituição muito similar este resultado já era esperado.

5. CONCLUSÕES

A resposta espectral das amostras analisadas foi coerente com a composição mineralógica dos alvos, principalmente a das telhas cerâmica. No caso das telhas de amianto, cimento e aço galvanizado, o fator determinante foi a cor, sendo coerente também com a literatura estudada a respeito do comportamento espectral dos alvos urbanos. Após terem sido realizadas estas análises, conclui-se que a realização de medidas em laboratório de materiais de cobertura de telhado pode auxiliar nas seguintes atividades: (a) conhecer melhor o comportamento espectral dos materiais utilizados em telhados em construções brasileiras; (b) proposição de posicionamento de bandas em projetos de novos sensores e (c) desenvolvimento de técnicas de extração de alvos baseadas no comportamento espectral dos mesmos. No caso do experimento realizado, a terceira atividade apresentou bons resultados. Desta forma, recomenda-se que este procedimento seja repetido para outros alvos em imagens de alta resolução espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES, Inc, **FieldSpec ProUser's Guide**. Boulder, USA.

94p. 2000. Disponível em: <http://www.asdi.com>. Acesso em: 08 nov. 2010.

ALMEIDA, C. M. ; SOUZA, I. M. E.; ALVES, C. D.; PINHO, C. M. D.; PEREIRA, M. N.; FEITOSA, R. Q. Multilevel Object-Oriented Classification of Quickbird Images for Urban Population Estimates. In: ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 15., 2007, Miami, Florida, **Anais ACM GIS 2007**. EUA : University of Florida, 2007,

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. 175 p. (INPE-13956-TDI/1062). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

COSTA, G. A. O. P. ; PINHO, C. M. D. ; FEITOSA, R. Q. ; ALMEIDA, Claudia Maria de ; 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. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n.1, p.331-337, 2008.

EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Eds.). **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas e sensores inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 19-38, 234p.

GONÇALVES, C. D.A.B., SOUZA, I.M.PEREIRA, M.N.; FREITAS. Análise do Ambiente Residencial Urbano Visando a Inferência Populacional a Partir do Uso de Dados de Sensoriamento Remoto Orbital de Alta Resolução. **Geografia, Rio Claro**, v. 31, n. 2, p.371-402, 2006.

HEROLD, M.; ROBERTS, D. A.; GARDNER, M.; DENNISON, P. Spectrometry for Urban Area Remote Sensing - Development and Analysis of a Spectral Library from 350 to 2400 nm, **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3-4, p. 304-319, 2004.

HEROLD, M.; GARDNER, M.; ROBERTS, D. A. Spectral Resolution Requirements for

- Mapping Urban Areas, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 9, p. 1907-1919, 2003.
- HEROLD, M.; GARDNER, M.; HADLEY, B.; ROBERTS, D. The spectral dimension in urban land cover mapping from high-resolution optical remote sensing data. In: Symposium on Remote Sensing of Urban Areas, 3., 2002, Istanbul, Turkey. **Anais...**p. 88-98.
- LABSPHERE. **Spectralon Reflectance Standards**. Disponível em: < <http://www.labsphere.com/productdetail.aspx?id=900>>. Acesso em 23 nov. de 2010.
- KUESTER, M.; THOME, K.; KRAUSE, K.; CANHAM, K.; WHITTINGTON, E.; Comparison of surface reflectance measurements from three ASD FieldSpec FR spectroradiometers and one ASD FieldSpec VNIR spectroradiometer. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1., 2001, Sydney. **Anais...** p 72 – 74.
- MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v 8, n 12, p. 1807-27, 1987.
- 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. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.
- NOVACK, T.; KUX, H. J. H. (2009) Classificação da cobertura do solo urbano inserindo árvores de decisão a rede hierárquica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., Natal. **Anais SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7871-7876.
- PINHO, C. M. D.; SILVA, F. C.; FONSECA, L. M. G.; MONTEIRO, A. M. V. Urban Land Cover Classification from High-Resolution Images Using the C4.5 Algorithm. In: Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 21., 2008, Pequim. **Anais**.
- PINHO, C.M.D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. 2005. 179 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- RIBEIRO, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento de cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 2010. 170p. (INPE). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- SOUZA, I. M. **Análise do espaço intra-urbano para estimativa populacional intercensitária utilizando dados orbitais de alta resolução espacial**. 2003. 104 p. (INPE-11607-TAE/59). Dissertação de Mestrado - Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP, São José dos Campos. 2003.
- SOUZA, I. M. E. ; Alves, C. D. ; ALMEIDA, Claudia Maria de ; PINHO, C. M. D. . Caracterização Socioeconômica do Espaço Residencial Construído Utilizando Imagens de Alta Resolução Espacial e Análise Orientada a Objeto. **Geografia (Londrina)**, v. 16, p. 119-142, 2007.
- KAVZOGLU, T.; YUNUS, E. S.; MUFIT, C., 2009. Mapping urban road infrastructure using remotely sensed images. **International Journal of Remote Sensing**. v. 30, n. 7, p. 1759-1769.