

## Simulação do comportamento espectral de alvos urbanos em sensores multiespectrais

Carolina Moutinho Duque de Pinho<sup>1</sup>  
Marta Eichemberger Ummus<sup>1</sup>  
Tessio Novack<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
carolina@dpi.inpe.br, {marta, tessio}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The outstanding growth of urban areas over the last decades is characterized by the augmenting of impervious areas. The recognition of different urban materials in regard of its physical and chemical properties is of great interest for many types of urban studies and planning strategies. The aim of this work is to analyze possible extraction methods of different types of roof tiles on multispectral imagery of high spatial resolution. Six types of roof tiles had their spectral curves collected on laboratory with the *Fieldspec FR II* spectroradiometer. The results are discussed in terms of sample distinction and possible material constituents. After this qualitative analysis, the spectral curves were convolved for the ETM+/Landsat-7, HRG/SPOT-5, IKONOS and QuickBird sensors. Discussions are made on the capacity of each sensor for detecting and differentiating different types of roof tiles. It was noticed that the ETM+/Landsat-7 and HRG/SPOT-5 sensors have better potentials for differentiating the roof tiles types despite their coarse spatial resolution for urban applications. The necessity of high spatial resolution sensors with similar band positioning as the ETM+ and HRG was attested. Finally we propose a specific extraction technique for detecting ceramic tiles utilizing an image from the QuickBird II sensor.

**Palavras-chave:** urban remote sensing, Fieldspec, multiespectral sensors, sensoriamento remoto urbano, Fieldspec, sensores multiespectrais.

### 1. Introdução

Uma das características do crescimento das grandes cidades ocorrido nas últimas décadas é o aumento de áreas impermeáveis. Os materiais que compõem o dossel urbano apresentam diferentes características físicas e químicas que por sua vez geram respostas espectrais distintas. O reconhecimento dos materiais que compõem estas distintas respostas espectrais é de grande interesse para o estudo de áreas urbanizadas, uma vez que pode prover informações quantitativas valiosas sobre os tipos de materiais utilizados na cobertura das edificações e incrementar o monitoramento destas áreas.

A recente evolução na resolução espacial de alguns sistemas de sensores orbitais a partir da última década ampliou sobremaneira a capacidade de discriminação dos alvos terrestres (Ehlers, 2007). Uma das áreas de aplicação que foi mais privilegiada 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 duas características permite a detecção dos elementos que compõem o espaço intra-urbano e, por conseguinte, apresenta grande aplicabilidade para mapeamentos de cobertura e uso do solo intra-urbano com o auxílio de classificadores automáticos (Pinho, 2005). Entretanto a resolução espectral (número, largura e posição de bandas no espectro eletromagnético) dos atuais sensores orbitais de alta resolução espacial é limitada no que tange a diferenciação das classes de cobertura no espaço intra-urbano em procedimentos de classificação automática (Herold et.al. 2003a, 2003b, 2004 e Noronha *et al.* 2002). Dessa forma, pretendeu-se nesta pesquisa analisar métodos de extração de diferentes tipos de telhados em imagens multiespectrais de alta resolução espacial a partir de espectros obtidos em laboratório. Tais espectros foram convoluídos para os seguintes

sensores multiespectrais: Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) do satélite Landsat 7, Haute Resolution Geometrique (HRG) do satélite SPOT 5 e os sensores IKONOS e QUICKBIRD. Para este trabalho escolheu-se a classe de telhas cerâmicas para análise e proposição de técnica de extração.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Material**

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).

#### **2.1.4 Amostras de telhados**

Foram escolhidas oito amostras de telhados de maior ocorrência em áreas urbanas, 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 1).

#### **2.1.1 Espectroradiômetro Fieldspec FR II**

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.

#### **2.1.2 Fonte de Iluminação Halógena (250 W)**

A fonte 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. A característica principal deste tipo de lâmpada é a de fornecer um fluxo constante de radiação eletromagnética em relação ao alvo.

#### **2.1.3 Spectralon 11**

A placa de referência utilizada nas medições em laboratório é conhecida como Spectralon 11, e é constituída por uma resina termoplástica (polímero) que possui alta reflectância difusa. Por se comportar como uma superfície lambertiana é utilizada para estimar a irradiância. Segundo a empresa fabricante, a Labsphere Inc. os valores de reflectância da placa são de 95 a 99%.

#### **2.1.5 Softwares**

Os softwares utilizados neste trabalho foram: (1) Excel para a confecção dos gráficos e (2) Envi 4.3 para a geração dos espectros re-amostrados.

#### **2.1.6 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 16 bits (embora os pixels só estejam distribuídos ao longo de apenas 11 bits).

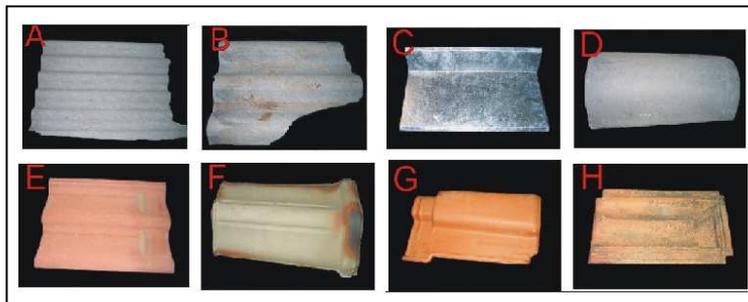


Figura 1. Amostras de telhas cujos espectros foram coletados.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Seleção de materiais de cobertura de telhado

Foram selecionados os materiais mais comuns encontrados em áreas urbanas 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 caracteriza-se por baixa, média ou alta renda.

### 2.2.2. Medições em Laboratório

As medidas radiométricas foram alcançadas utilizando-se o espectrorradiômetro Fieldspec FR II para obter a reflectância espectral difusa dos alvos analisados, na faixa de 350 a 2500 nm. O sensor, posicionado a nadir, encontrava-se distante 30 cm acima dos alvos. Como fonte de iluminação, foi utilizada uma lâmpada halógena, que permite o realce das cores dos objetos com maior eficiência do que as lâmpadas incandescentes comuns, apoiada em um tripé a um ângulo de 45°. A utilização da placa de referência possui 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.

### 2.2.3 Processamento dos espectros

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)<sup>1</sup>, por meio das medidas de radiância dos alvos e da placa de referência. Para a geração dos gráficos, utilizou-se a média simples dos três espectros. Os espectros de reflectância obtidos em laboratório foram reamostrados para as bandas dos sensores selecionados no software ENVI 4.3 utilizando os filtros disponíveis no aplicativo.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Análise dos espectros

Na Figura 2 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 todos os espectros que é resultado de problemas de ruído no sensor utilizado. A semelhança dos espectros

<sup>1</sup> O FRBE é a razão entre as radiâncias espectrais de uma amostra e de uma superfície de referência ideal, considerando-se a s mesmas condições de observação e iluminação.

de telhas cerâmicas com espectros de solo era um resultado já esperado, pois a composição deste tipo de cobertura assemelha-se muito a composição de solos argilosos. Comparando-se os três espectros 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 o espectro da telha cerâmica Velha no visível identifica-se um pequeno pico de FRBE no intervalo do Verde seguida de uma banda de absorção no Vermelho e posterior elevação dos valores de FRBE no Infravermelho Próximo. Estas feições são características de vegetação verde e podem indicar a presença de limo nesta amostra. Ainda neste intervalo de comprimento de onda observa-se que a telha cerâmica clara é a que possui maiores valores de FRB.

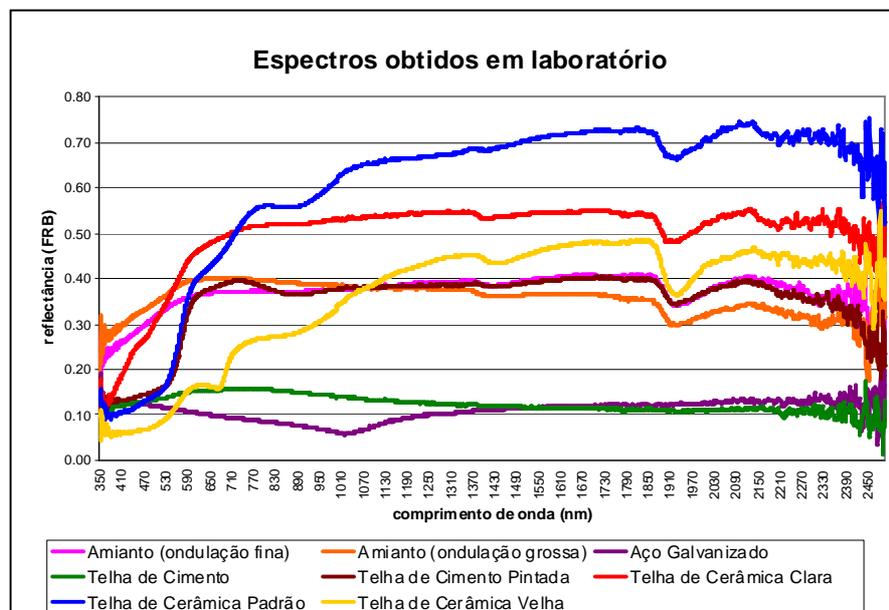


Figura 2. Espectros obtidos em laboratório para as amostras coletadas.

As telhas de amianto apresentaram espectros 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 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 ao espectro 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) o espectro 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 specularmente e como a unidade detectora estava posicionada ao nadir, o produto da reflexão specular não foi detectado. Os pixels saturados em imagens ocorrem quando o sensor está em um posicionamento que recebe esta reflexão specular. Outro fato interessante no espectro deste material é a feição de concavidade exatamente na mesma região que a telha de cimento apresenta valores mais altos de FRBE. A partir de uma análise qualitativa de todos os espectros coletados verificou-se que é possível distinguir várias classes de cobertura entre estes materiais. Isto porque apesar de apresentar confusão entre espectros no Visível a tendência geral é de uma maior diferenciação de valores de FRBE entre os espectros conforme aumenta o comprimento de onda em direção ao Infravermelho Médio (Herold, 2004).

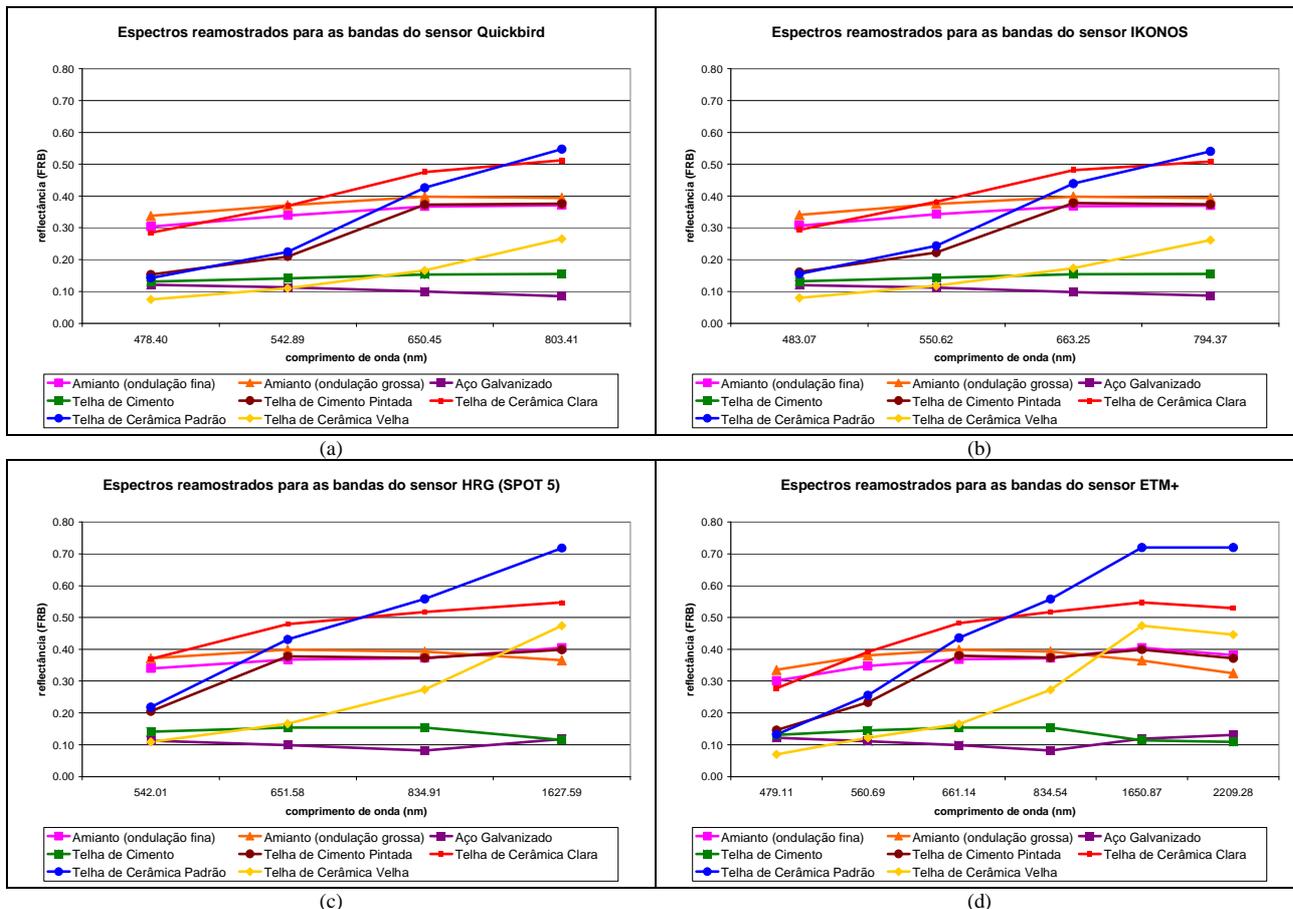
### **3.2 Convolução dos espectros obtidos para sensores multiespectrais**

Após a convolução dos espectros para as bandas dos sensores multiespectrais ETM+, HRG, Quickbird e IKONOS foram elaborados os gráficos da Figura 3, nos quais pode-se observar a perda de detalhe em todos os espectros. Destaca-se o comportamento praticamente idêntico dos espectros para as bandas dos sensores Quickbird (Figura 3a) e IKONOS (Figura 3b). Isto porque estes sensores possuem bandas muito parecidas, pois o projeto dos dois sensores é muito similar tendo vários componentes em comum. (Jacobsen, 2003).

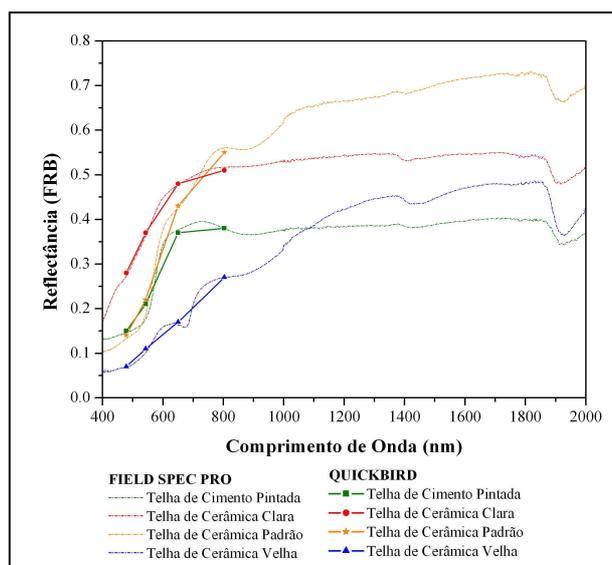
Comparando-se os gráficos dos quatro sensores observa-se que a separabilidade das classes ficou bastante comprometida em relação aos espectros originais, pois houve um achatamento das feições no Visível e uma perda significativa de detalhes do Infravermelho em diante. Outro fato interessante é que a inserção de bandas no Infravermelho Médio contribui para uma maior distinção entre as classes, fato observado quando se compara os gráficos dos sensores de alta resolução espacial (Figuras 3a e 3b) com os gráficos do *SPOT 5* (Figura 3c) e Landsat (Figura 3d), uma vez que, de acordo com Herold (2004) nestes comprimentos de onda a diferença de valores de FRBE entre as amostras é maior. Neste contexto, apesar de não apresentar resolução espacial suficiente para detectar classes de cobertura de telhado em áreas urbanas, as imagens do sensor ETM+ possuem maior potencial para detectar diferenças entre esses materiais devido à posição de suas bandas. O sensor ideal para este tipo de tarefa deveria reunir a resolução espacial do QuickIBird (0,60 m) com o posicionamento de bandas do Landsat.

### **3.3 Proposição de técnica para extração de telhados de cerâmica em imagens Quickbird.**

A detecção deste material é importante na caracterização do tipo de ocupação urbana em uma determinada área, pois é possível associar a ocorrência deste material com o tamanho das edificações para inferências sobre o padrão de renda dos habitantes. A primeira etapa neste experimento foi observar o comportamento das classes de telha cerâmica para as bandas do QuickBird. A partir da análise da Figura 4 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 o azul. A geometria dos espectros re-amostrados é muito similar, apresentando retas com inclinações bem parecidas. O fator determinante na diferenciação destas classes de telhas entre si é a diferença de brilho. Para evidenciar melhor este degrau na feição identificada no gráfico 4 e destacar as classes de interesse, propôs-se uma razão de bandas onde o canal 3 (Vermelho) foi dividido pelo canal 1 (Azul).



**Figura 3** – Espectros das amostras reamostradas para a resolução espectral dos sensores Quickbird (a), IKONOS (b), HRS (c) e ETM+ (d).



**Figura 4** - Espectros de telhas cerâmicas obtidos em Laboratório e simulados para as bandas do Quickbird.

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 5a, 5b e 5c observa-se a direita a imagem de razão, no centro a banda do vermelho e a esquerda uma composição colorida verdadeira. Nestas figuras nota-se que os telhados de cerâmicas são mais bem destacados do que na banda do Vermelho, apresentando alguns pontos de saturação. Ainda comparando as duas figuras (5a e 5b) 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. Analisado as figuras de fatiamento da classe telhas cerâmicas observa-se que o fatiamento feito na imagem de razão (Figura 5d) com limiar de 1,45 a 3,00 (valor adimensional) obteve melhores resultados do que o fatiamento na banda 3 (figura 5e) 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.

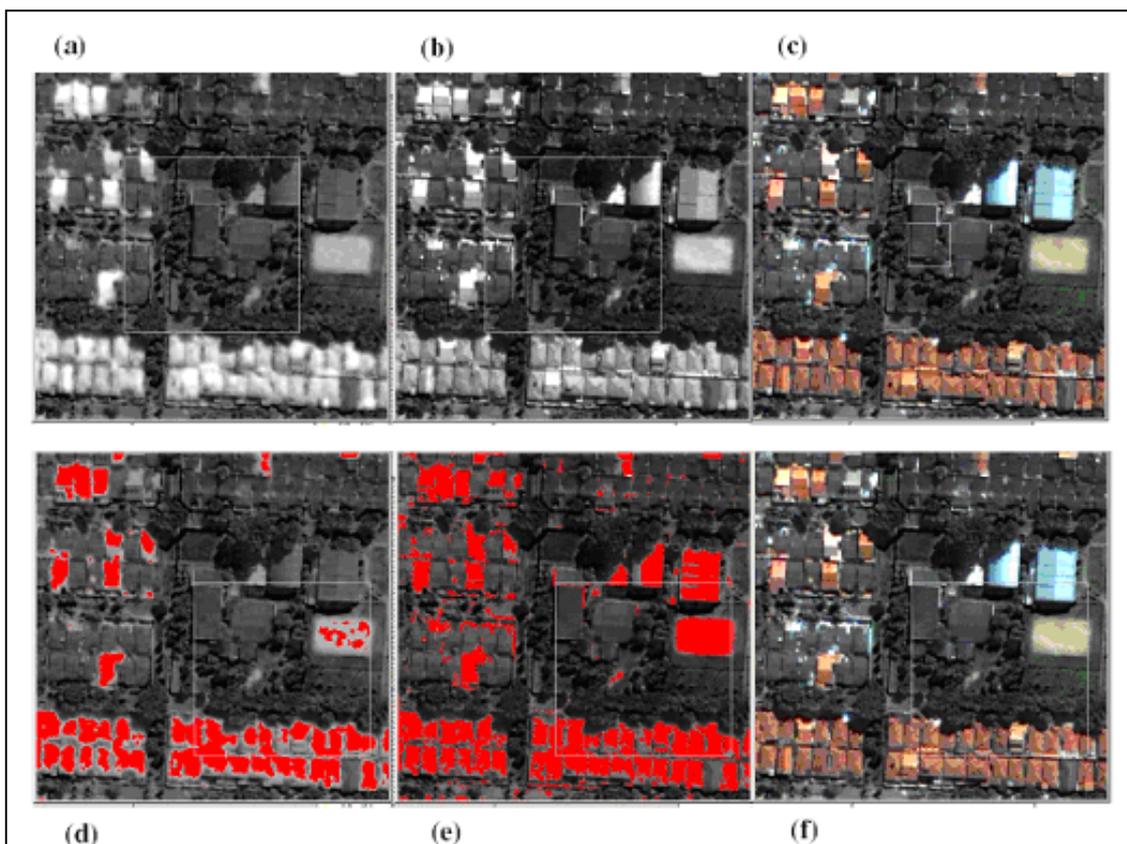


Figura 4. Razão de bandas (a), banda do Vermelho (b), composição colorida verdadeira (c), (f) e fatiamento da classe telhas cerâmicas a partir de limiares na imagem razão (d) e no canal vermelho (e).

#### 4. 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 realizarem-se 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

- EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade, pp. 19-38, in BLASCHKE, T.; KUX, H. (editores) **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas e sensores inovadores**, 2ª. Edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- 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, 2003a.
- 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...** Maryland: ASPRS, 2002.
- JACOBSEN, K. Geometric Potential of IKONOS and QuickBird-Images. **GeoBIT/GIS**, n. 9, p. 33–39, 2003
- NORONHA, V.; HEROLD, M.; GARDNER, M.; ROBERTS, D. A. Spectrometry and hyperspectral remote sensing for road centerline extraction and evaluation of pavement condition. In: Pecora Conference, 2002, Denver. **Anais...** Denver, 2002.
- 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.