

Análise da separabilidade de materiais urbanos utilizando imagens das bandas VNIR, SWIR e TIR do sensor HSS

Leidiane do Livramento Andrade^{1,2}

Ruy Morgado de Castro¹

Lênio Soares Galvão²

¹Instituto de Estudos Avançados - IEAv/DCTA
Caixa Postal 6044 – 12.231-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
{leidiane.andrade; rmcastro}@ieav.cta.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@dsr.inpe.br

Abstract. Using a combined approach of the airborne HSS (Hyperspectral Scanner System) images from the visible/near-infrared (VNIR), shortwave infrared (SWIR) and thermal infrared (TIR) bands, the separability of specific urban materials, based on their spectral reflectance and emissivity, was analyzed. The HSS images were converted from radiance into surface reflectance using a MODTRAN4-based approach. The NOR (Emissivity Normalization) method was applied to the TIR images to determine the spectral emissivity. Surface reflectance and emissivity spectra of eight materials (concrete, fiber cement, red tile roof, asphalt, steel, soil, wood vegetation and grasslands) were analyzed qualitatively and quantitatively through principal component analysis (PCA). Results showed that some materials (e.g., asphalt and fiber cement) that did not present spectral features in the reflected region, displayed spectral features in the emitted spectral interval. The first component (PC1) was useful to differentiate the urban materials based on the average surface reflectance and emissivity, whereas the PC2 discriminated those of them with strong changes in the slope of the reflectance or emissivity curves.

Palavras-chave: reflectance, emissivity, principal components analysis, reflectância, emissividade, análise por componentes principais.

1. Introdução

Atualmente, mais da metade da população mundial vive nas cidades, cujos processos de urbanização e industrialização são bons indicadores do nível de seu desenvolvimento econômico. Ao mesmo tempo, as cidades enfrentam desafios ambientais e sociais de grande complexidade devido à deterioração geral do meio urbano e da sua qualidade de vida.

Para analisar o espaço urbano tem-se utilizado o sensoriamento remoto como ferramenta importante na aquisição de dados referentes aos parâmetros físicos da superfície, os quais estão diretamente relacionados com sua cobertura ou materiais que a compõe. Como exemplo, podemos citar o uso do sensoriamento remoto do espaço urbano nas faixas do Visível e do Infravermelho Próximo (*visible/near infrared* - VNIR) e do Infravermelho de Ondas Curtas (*shortwave infrared* – SWIR) na modelagem da mistura espectral dos materiais presentes nas estruturas urbana, tanto naturais como artificiais (Franke et al., 2009) entre outros. Na faixa do Infravermelho Termal (*thermal infrared* - TIR), estudos foram efetivados para entender a relação entre a temperatura da superfície e os materiais naturais e artificiais presentes em áreas urbanizadas (Lu e Weng, 2006), ou a relação entre a temperatura da superfície e o uso da terra (Lu e Weng, 2006; Andrade et al., 2007). Utilizando combinadamente as faixas espectrais acima, análises comparativas também têm sido feitas utilizando a reflectância e a temperatura de superfície (Small, 2006).

Visando ampliar o estudo das características físicas relacionadas aos materiais presentes na superfície urbana, o objetivo deste trabalho é analisar a separabilidade dos principais materiais presentes numa imagem do sensor aerotransportado HSS (Hyperspectral Scanner

System) de uma área urbana de São José dos Campos (SP) com base em suas características espectrais de reflectância e emissividade.

2. Materiais e Métodos

Foram utilizadas imagens do sistema sensor HSS, obtidas por meio do imageamento realizado sobre a cidade de São José dos Campos no dia 30/05/06 às 14 e às 21 h. A altitude do voo foi de 1736 m e a altura em relação ao solo foi de 1090 m, o que determinou a resolução espacial da imagem em 2,7 m para um Instantaneous Field Of View (IFOV) de 2,5 mrad.

Este sistema sensor possui 13 bandas distribuídas pelos comprimentos de onda do Infravermelho Médio e Termal (Moreira et al., 2005), entre 3,0 e 15,0 μm , além de outras 37 bandas distribuídas ao longo das regiões do VNIR e SWIR.

Usando o programa do sensor *AHS Import Utility* foi realizada a conversão dos números digitais das imagens VNIR-SWIR, do imageamento diurno, em valores de radiância (*Reflective Calibration*). Em seguida, obteve-se a reflectância de superfície, corrigindo-se os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, utilizando o algoritmo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) implementado no aplicativo *Environment for Visualizing Images* (ENVI).

Para as imagens TIR, do imageamento noturno, foi utilizada a metodologia de conversão dos números digitais em radiância. Para estimar os parâmetros necessários para a correção dos efeitos da atmosférica nas imagens TIR, foi utilizado o aplicativo PCModWin/MODTRAN e dados da estação meteorológica localizada no Aeroporto de São José dos Campos – Professor Urbano Ernesto Stumpf (Andrade et al., 2012).

Para sensores com n bandas TIR existem n equações com $n+1$ incógnitas, porque ao medir a radiância nas n bandas não é possível obter n emissividades espectrais além da temperatura de superfície (Gillespie et al., 1998). Portanto, para estimar a temperatura de superfície é preciso medidas de campo ou utilizar algum método que estabeleça uma relação entre a emissividade e a temperatura. Para tal, foi utilizado o método *Emissivity Normalization Method* – NOR (Gillespie et al., 1998), disponível no ENVI, que assume que a emissividade inicial é constante para todas as bandas e pixels, possibilitando estimar uma temperatura para cada banda, sendo que a maior temperatura será adotada como temperatura termodinâmica da superfície. A emissividade inicial adotada foi de 0,98 por ser mais próxima da maioria dos materiais presentes na área de estudo (Andrade et al., 2012).

Finalmente, foi utilizada a análise por componentes principais (ACP) na análise da separabilidade dos principais materiais presentes na cena. A ACP foi aplicada nos espectros de reflectância do VNIR-SWIR das imagens diurnas e de emissividade do TIR das imagens noturnas, por meio de um programa específico para cálculos estatísticos, o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 19. O cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores foi feito por meio da matriz de correlação das bandas originais com valor mínimo do autovalor igual a 1 e número máximo de interações de 25, para um total de 320 pixels extraídos diretamente da imagem, divididos em oito tipos de materiais presentes na estrutura urbana. Assim, as componentes principais (CP's) que apresentaram maiores autovalores, e que juntas apresentaram uma variância acumulada maior que 90%, tiveram seus autovetores analisados visando identificar a contribuição dos diferentes intervalos espectrais para explicar cada CP (Moreira e Galvão, 2010).

3. Resultados e Discussões

3.1 Separabilidade com Base na Reflectância

Foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa da separabilidade dos materiais utilizando as características da reflectância e da emissividade da superfície. Os espectros de reflectância da superfície de vários materiais de interesse, obtidos a partir do imageamento diurno do HSS, são mostrados na Figura 1. Nesta figura, pode ser observado que as curvas referentes ao aço galvanizado acinzentado, o asfalto e o fibrocimento não apresentam, em geral, feições destacáveis de absorção, entre si, mas se separam dos demais materiais devido à baixa reflectância no VNIR-SWIR. Tanto a vegetação arbórea quanto a vegetação rasteira se destacam dos demais materiais, devido à sua reflectância espectral característica no VNIR, ou seja, com feições de absorção da radiação nas regiões do azul e do vermelho, além da intensa reflexão na região do infravermelho próximo. A cerâmica e o solo claro se destacam pela feição de absorção na região do azul, o rápido aumento da reflectância que se inicia na região do verde até o infravermelho próximo, além da alta reflexão no SWIR, sendo maior para o material cerâmico. Finalmente, o material concreto se destaca pela grande inclinação da curva espectral na região do visível, o que caracteriza sua cor acinzentada branca, e boa reflexão no SWIR.

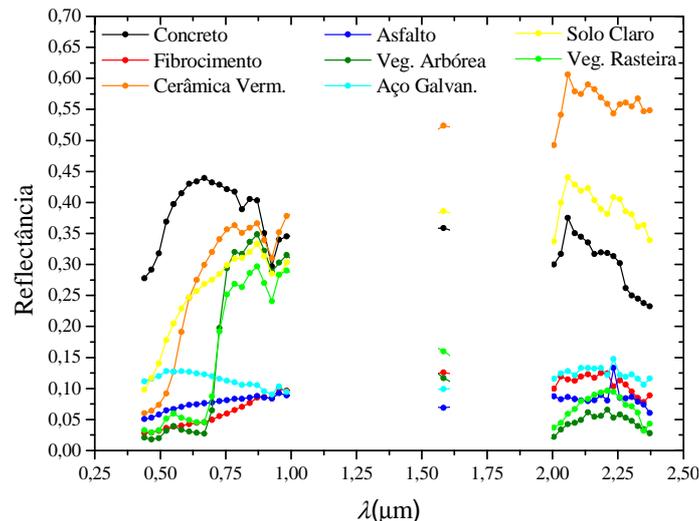


Figura 1. Reflectância espectral dos principais materiais presentes na área de estudo. Os símbolos representam os centros das bandas VNIR-SWIR do HSS.

Na ACP dos espectros de reflectância, verificou-se que CP1, CP2 e CP3 foram as componentes que apresentaram autovalores maiores que 1 sendo que estas continham 97,55% da variação total dos dados. A CP1, CP2 e CP3 representaram 71,35, 16,35 e 9,85% da variância, respectivamente, concentrando a maior parte da informação relacionada com as diferenças espectrais entre os materiais.

Também foram analisados os dados da matriz de autovetores, visando identificar o intervalo espectral que teve maior contribuição/importância para cada componente principal do espectro refletido. Assim, como pode ser observado na Figura 2, verificou-se que a CP1 está relacionada com o brilho/albedo ou reflectância média dos materiais. A CP2 destacou o contraste entre o NIR (fator de peso positivo) e o SWIR (fator de peso negativo), reproduzindo aproximadamente o espectro da vegetação verde. A CP3 realçou a declividade dos espectros na faixa do VIS com fatores de peso positivo em relação aos demais comprimentos de onda (NIR e SWIR com fatores de peso negativo).

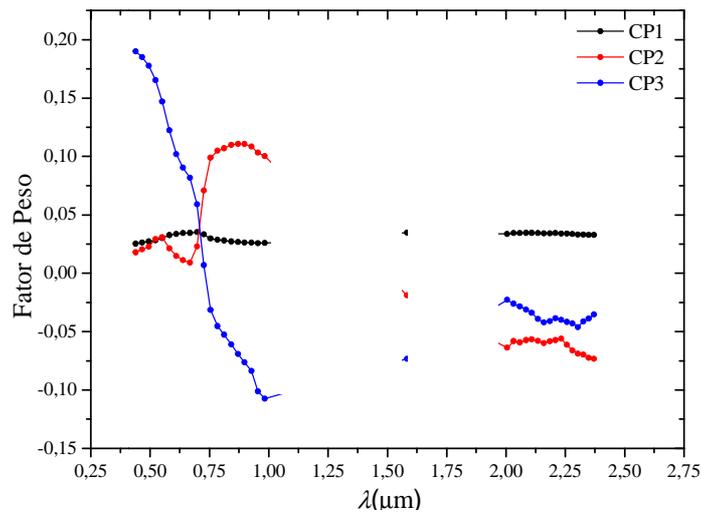


Figura 2. Fatores de peso das primeiras três componentes principais resultantes da aplicação de ACP aos espectros de reflectância.

Na Figura 3a, é apresentada a relação entre os escores CP1 e CP2. Observou-se que a CP1 destacou os materiais de baixa reflectância (como por exemplo, o asfalto no lado esquerdo do diagrama) e de alta reflectância (como por exemplo, o solo claro e a cerâmica, no lado direito). A segunda componente destacou a vegetação verde e o concreto, ambos no topo de eixo dos demais materiais, ou seja, espectros com declividade descendente do NIR para o SWIR. Na Figura 3b, a CP3 destacou o concreto, localizado no topo do diagrama, dos demais materiais. Portanto, a separação do material concreto foi evidente em todas as combinações das componentes principais. Isto se deve ao fato de que o concreto apresentou alto brilho ou altos valores de reflectância tanto no VNIR quanto no SWIR. O material cerâmico foi mais bem destacado pela combinação da CP1 e CP3, devido ao brilho e a uma maior reflectância na região do vermelho e do NIR, além da alta reflectância no SWIR, regiões espectrais que têm relação inversa com a CP3.

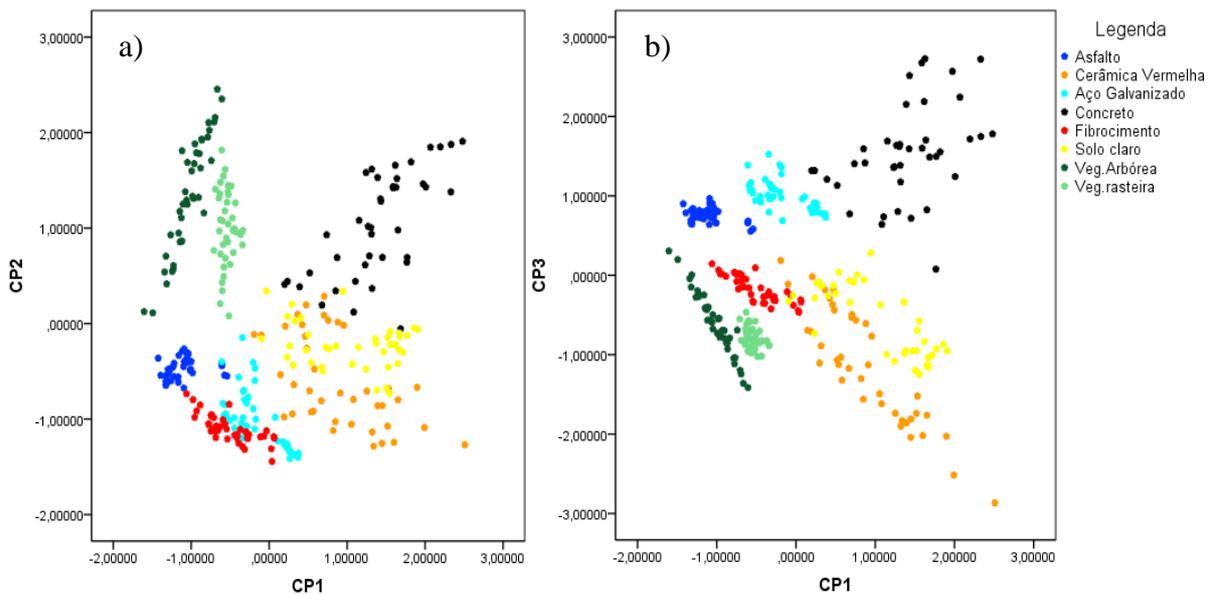


Figura 3. Diagrama de dispersão dos escores componentes principais para dados de reflectância.

3.2 Separabilidade com Base na Emissividade

A emissividade espectral dos principais materiais da área de estudo, obtida pelo método NOR, é mostrada na Figura 4. Dois grupos distintos de materiais são evidentes: um composto pelos materiais solo claro, cerâmica e asfalto, cujos valores mínimos de emissividade ocorrem em 9,16 μm (banda 47 do HSS), e outro composto pelos demais materiais, sem feições tão bem destacadas de emissividade.

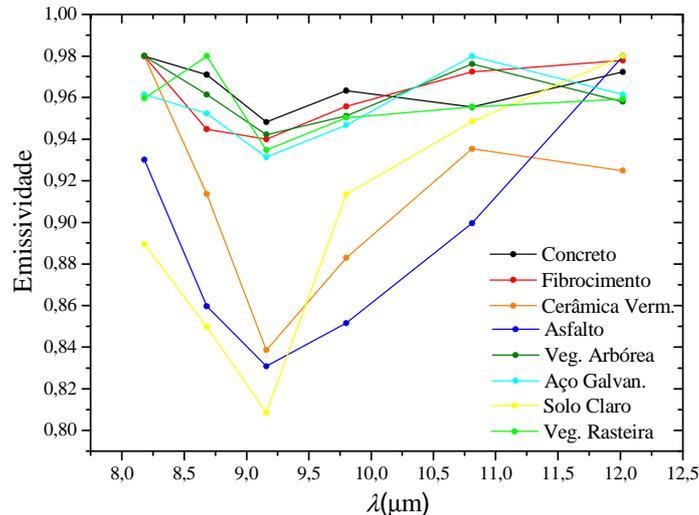


Figura 4. Emissividade espectral dos principais materiais presentes na área de estudo obtida pelo método NOR.

Na ACP dos espectros de emissividade, foram extraídas apenas duas componentes principais com autovalores maiores que 1. As componentes principais CP1 e CP2 juntas representaram 70,62 % da variação total dos dados, sendo que CP1 descreveu 51,13 %, enquanto CP2 representou 19,49 % desta variação. Os fatores de peso para CP1 diminuíram gradativamente com o aumento do comprimento de onda (Figura 5). A CP2 destacou as diferenças de emissividade entre o comprimento de onda de 8 e 9 μm (bandas 45 e 46) e de 11 e 12 μm (bandas 49 e 50).

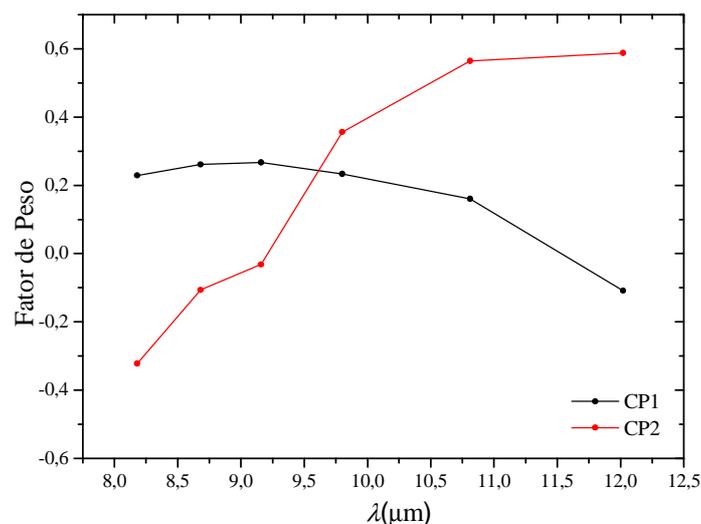


Figura 5. Fatores de peso das primeiras duas componentes, resultantes da aplicação de ACP sobre os espectros de emissividade.

No diagrama de dispersão de escores componentes principais da Figura 6, verificou-se que a CP1 separou os materiais de alta emissividade dos materiais de baixa emissividade. A CP2 destacou o solo exposto claro dos demais materiais, devido ao contraste entre as bandas 45 e 50. Portanto, apresentou baixa emissividade relativa nas três primeiras bandas do espectro emitido, sendo que nestas bandas a CP2 apresentou forte contribuição negativa, e no intervalo espectral de 9,4 a 12,59 μm (bandas 48 a 50), estes materiais apresentaram alta emissividade relativa e a CP2 uma contribuição positiva. Os materiais asfalto, cerâmica e solo claro, apresentaram uma forte feição de emissividade na banda 47, com centro em 9,16 μm .

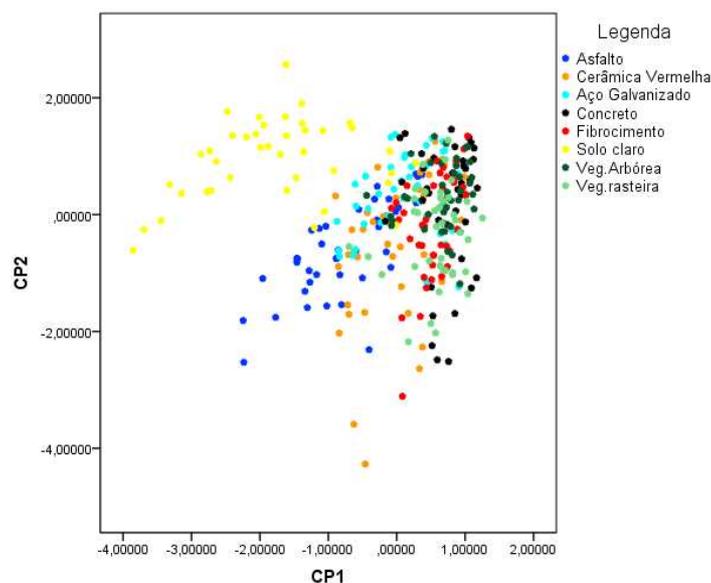


Figura 6. Diagrama de dispersão dos escores componentes principais para dados de emissividade espectral.

4. Conclusões

O estudo da emissividade se mostrou importante na caracterização de materiais urbanos específicos. Em termos de separabilidade, com base na análise dos espectros de reflectância (VNIR-SWIR) e emissividade (TIR), observou-se que ao utilizar combinadamente as bandas VNIR-SWIR e TIR da imagem HSS, foi possível separar materiais como o asfalto e o fibrocimento que não possuíam feições de absorção evidentes no VNIR-SWIR dos demais, utilizando feições espectrais evidentes no TIR. Este resultado foi observado tanto numa análise qualitativa quanto numa análise quantitativa (ACP) do comportamento espectral da reflectância e da emissividade do material.

Referências

Andrade, L. L.; Souza, L. H.; Sakuragi, J.; Castro, R. M. Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. In.: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Florianópolis, 2007. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 473-480.

Andrade, L. L.; Galvão, L. S.; Castro, R. M. Conversão dos números digitais de imagens TIR do sensor HSS para radiância e estimativa da temperatura e emissividade. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.64, n. 4, p. 487-502, 2012.

Franke, E. J.; Roberts, D. A.; Halligan, K.; Menz, G. Hierarchical Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) of hyperspectral imagery for urban environments. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.1712–1723, 2009.

Gillespie, A.; Rokugawa, S.; Matsunaga, T.; Cothern, J. S.; Hook, S. J.; Kahle, A. B. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n. 4, p. 1113-1126, 1998.

Lu, D.; Weng, Q. Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. **Remote Sensing of Environment**, v.104, n.2, p.157-167, 2006.

Moreira, R. C.; Castro, R. M; Esposito, E. S. C.; Lucca, E. V. D. Sensor hiperespectral HSS: sumário das características técnicas. In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 12., Goiânia, 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 4517-4524. 2005.

Moreira, R. C.; Galvão, L. S. Variation in spectral shape of urban materials. **Remote Sensing Letters**, v.1, n.3, p.149 – 158, 2010.

Small, C. Comparative analysis of urban reflectance and surface temperature. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, n. 2, p. 168–189, 2006.