

# Construção de bibliotecas espectrais urbanas a partir de dados ASTER para a aplicação de modelos de mistura de múltiplos componentes em São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ)

Marcus Andre Fuckner<sup>1,2</sup>  
Teresa Gallotti Florenzano<sup>2</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM  
Avenida Júlio César, 7060 – Val-de-Cans – 66617-420 – Belém – PA, Brasil  
{marcus.fuckner@sipam.gov.br}

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Avenida dos Astronautas, 1758 – 12245-970 – São José dos Campos – SP, Brasil  
{marcus, teresa, bete}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) allows that the number and type of endmembers vary for each image pixel. The goal of this paper is test the use of MESMA in ASTER images of two large tropical urban centers, São Paulo (SP) and Rio de Janeiro (RJ), through the functionality available in the *VIPER Tools* algorithm. To unmix the spectral mixture it was necessary to build specific spectral libraries for each area and date of the study, with careful selection of endmembers, representatives of the Vegetation, Impervious Surfaces and Soil (V-I-S) categories confirmed in the fieldwork. The Impervious Surfaces and Soil endmembers were clustered due to the spectral confusion. The obtained fraction-images characterized the main elements of the physical urban structure. The mapped fractions were influenced by the scene illumination and the seasonality. The algorithm MESMA seemed to be useful in the first stage of the urban areas modeling to help selecting the best model(s). Nevertheless, the model results must be assessed to define if the fractions of a certain material generated by different models, are or not consistent. This recommendation is valid to ASTER data and others sensors data, with application of *VIPER Tools* or other programs.

**Palavras-chave:** MESMA, *VIPER Tools*, mixture model, spectral library, MESMA, *VIPER Tools*, modelo de mistura, biblioteca espectral.

## 1. Introdução

A radiância detectada por um sensor corresponde à média ponderada das radiâncias de todos os materiais contidos no *Instantaneous Field of View* (IFOV). Desse modo, a radiância representa uma mistura de diferentes tipos de superfícies (materiais), além da contribuição da radiância proveniente do espalhamento atmosférico, o que dificulta o estudo da distribuição espacial de determinados elementos representados na imagem. Procurando recuperar a resposta espectral de cada tipo de alvo, Shimabukuro e Smith (1991) desenvolveram um modelo linear de mistura para imagens multiespectrais. A aplicação de um modelo gera imagens-fração ou proporção, em número variável de acordo com o número de elementos selecionados como constituintes da mistura espectral, conhecidos como *endmembers*<sup>1</sup>.

Modelos de mistura espectral se aplicam ao estudo de áreas urbanas. A paisagem urbana é composta por um vasto número de elementos e materiais, que a definem como sendo radiometricamente heterogênea e complexa (SMALL, 2005). Trabalhos como o de Rashed et al. (2003) demonstraram ser possível analisar os componentes gerais da estrutura física urbana a partir de imagens multiespectrais de média resolução espacial. Em qualquer ambiente urbano, conforme cita Ridd (1995), o conjunto de componentes pode incluir superfícies impermeáveis, vegetação e solo, configurando um modelo *Vegetation – Impervious surface – Soil* (V-I-S). Em muitos casos, no entanto, há a necessidade da inclusão de um quarto elemento neste modelo, sombra/corpos d'água, para ampliar a sua aplicabilidade.

---

<sup>1</sup>Neste trabalho, a palavra “*endmembers*” foi traduzida por “componentes”.

Modelos de mistura espectral simples subutilizam o potencial de muitos dados de sensoriamento remoto em discriminar materiais, enquanto produzem ao mesmo tempo erros de estimativa devido à incorreta escolha dos componentes ou do número de componentes usados para decompor um determinado pixel. Desenvolvido por Roberts et al. (1998), o Modelo de Mistura Espectral de Múltiplos Componentes – MESMA (*Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis*) permite que o número e o tipo de componentes varie para cada pixel na imagem. O MESMA busca selecionar como componentes para o modelo pixels que representam a variabilidade espectral de uma classe na cena, que, não necessariamente, correspondem a pixels puros. Os componentes mais puros não são, necessariamente, os mais representativos. Embora deva representar a variedade, a biblioteca espectral criada não deve ser muito grande para evitar a forte confusão espectral.

Nunes e Souza Júnior (2007) compararam os resultados obtidos com a aplicação de modelos simples e MESMA, utilizando imagens TM/Landsat, e não encontraram grandes diferenças. Entretanto, em imagens Landsat com apenas seis canais não há grande alteração nos espectros de pixels pertencentes às mesmas categorias de materiais, como vegetação, por exemplo, diferentemente do que ocorre em imagens de sensores com mais bandas.

Powell (2006) aplicou o modelo MESMA em imagens TM/Landsat visando analisar a influência da urbanização sobre as mudanças na cobertura da terra na Amazônia, e validou as frações das imagens processadas com dados de videografia. Seus resultados apontaram para a necessidade da construção de uma biblioteca espectral específica para cada área urbana, considerando a diversidade de materiais que compõem a superfície e que ocorrem na mistura espectral. Dados ASTER apresentam grande potencial para a aplicação do MESMA devido à sua resolução espacial e espectral. Por essa razão, o objetivo deste trabalho é testar o modelo para imagens ASTER de dois aglomerados urbanos tropicais, São Paulo e Rio de Janeiro.

## 2. Material e Métodos

Para a execução da pesquisa foram utilizadas imagens adquiridas pelos subsistemas VNIR e SWIR do sensor ASTER e empregados os procedimentos sintetizados na Figura 1.

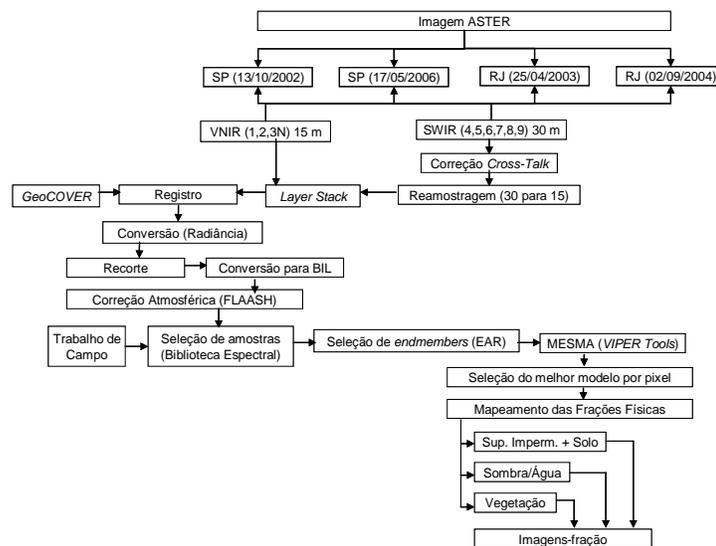


Figura 1. Fluxograma metodológico.

As imagens ASTER foram obtidas no nível 1B, já corrigidas geométrica e radiometricamente, e foram convertidas para radiância espectral (em  $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ) através dos coeficientes de conversão de unidade (*Unit Conversion Coefficient*) (Abrams et al., 1999).

Antes de serem transformadas para reflectância, as imagens ASTER foram corrigidas para o efeito de *cross-talk*, que atua nas bandas do SWIR e é causado pela dispersão da REM incidente sobre os detectores da banda 4 do sensor (ERSDAC, 2003). Os dados do SWIR foram reamostrados de 30 para 15 m (quadruplicando-se o número de pixels) e combinados com os do VNIR para formar um único arquivo. A transformação das imagens de radiância para reflectância de superfície foi efetuada empregando-se um modelo de correção atmosférica. Conforme Slater (1980) a reflectância de superfície é estimada eliminando-se a contribuição da atmosfera em cada pixel através da modelagem da interação da REM com os gases atmosféricos radiativamente ativos. Utilizou-se o modelo de transferência radiativa *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH), baseado em códigos do MODTRAN 4.0 (ACHARYA et al., 1999), com a aplicação de um fator de escala 10 para o ajuste da unidade do arquivo de entrada da imagem ASTER para  $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$ .

As imagens foram registradas com base no mosaico *GeoCover*, segundo o método de interpolação vizinho mais próximo e polinômio de 1º grau. Para as imagens de reflectância da superfície o erro variou entre 4 e 5 m. Os modelos de mistura foram processados considerando os arquivos de imagens do VNIR e SWIR agregados (nove bandas). Foi utilizado o aplicativo *Visualization and Image Processing for Environmental Research* (VIPER) *Tools* (versão *Beta* 1.12), desenvolvido por Roberts e Halligan (2006). No *VIPER Tools* encontra-se embutida uma rotina de otimização da seleção dos modelos para cada pixel.

Na primeira etapa de aplicação do modelo foi construída uma biblioteca espectral. Os espectros foram selecionados a partir de regiões de interesse nas imagens, identificadas por análise visual de composições coloridas e análise espectral, bem como através de pesquisa de campo. A seleção teve como objetivo a busca de componentes representativos da diversidade de alvos existente, agregados segundo classes e categorias de interesse, definidas segundo o modelo V-I-S (RIDD, 1995). Dada a inexistência de bibliotecas espectrais de alvos urbanos brasileiros, construídas a partir da coleta em campo com espectrorradiômetros (que poderiam vir a ser reamostradas para as bandas ASTER), foi necessário construir uma biblioteca espectral específica para cada área de estudo a partir dos dados das respectivas imagens.

O MESMA, conforme implementado no *VIPER Tools*, permite modelar para cada pixel de uma imagem modelos com até quatro componentes. Entretanto, o uso de muitos componentes para decompor o espectro do pixel resultará em erros de fração, causados pela confusão espectral entre eles (RASHED, 2004). Conforme aumenta a complexidade do modelo, em função do maior número de categorias ou pela inclusão de mais componentes por categoria, diminui sua exatidão e aumenta o gasto computacional. Por essa razão, Halligan (2002) não recomenda o emprego de um número muito grande de modelos. Otimizando a seleção de modelos, se um pixel é modelado por um modelo de dois componentes, então este modelo deve ser selecionado. Dessa forma, o pixel será modelado por um modelo mais complexo somente se não tiver sido modelado anteriormente por modelos menos complexos. Esta seleção otimizada ainda não se encontra implementada na versão do *VIPER Tools*.

### 3. Resultados e Discussão

Para as áreas de estudo de São Paulo e Rio de Janeiro foram criadas bibliotecas espectrais com dez classes conforme a Tabela 1. Considerando os tipos de materiais escolhidos para inclusão nas bibliotecas e após a análise visual e o trabalho de campo, foram determinadas 30 regiões de interesse na imagem, contendo 36 pixels cada, para inclusão na biblioteca e processamento das técnicas de seleção dos melhores componentes. Algumas amostras, em São Paulo, foram selecionadas como referência apenas para uma das datas. Um exemplo é a área com solo exposto no futuro pátio do Metrô (Linha 4 Amarela), distrito de Vila Sônia, zona oeste, presente apenas na imagem de 2006 e selecionada apenas para esta data.

Tabela 1. Organização das bibliotecas espectrais.

São Paulo		Rio de Janeiro	
Categoria	Classe	Categoria	Classe
V	Gramma	V	Gramma
	Mata		Mata
I	Ginásio	I	Banhado
	Asfalto		Ginásio
	Concreto		Asfalto
	Cobertura		Urbano
S	Urbano	S	Rocha
	Areia		Areia
	Solo		Solo
Sombra	Água	Sombra	Água

A seleção dos componentes foi efetuada através da técnica EAR. Dennison e Roberts (2003) e Powell (2006) também utilizaram esta técnica. Os componentes selecionados não são os mais puros ou extremos, mas os mais representativos da classe, que melhor modelam a biblioteca espectral. Como os componentes extremos não são privilegiados, há a tendência dos pixels mais brilhantes da imagem não serem modelados.

Inicialmente testou-se o MESMA com quatro frações: de vegetação, de superfícies impermeáveis, de solo e de sombra/água. Entretanto, a análise visual dos resultados obtidos mostrou confusão espectral, notadamente entre solo e superfícies impermeáveis. Este problema também foi observado por Powell (2006), no estudo do ambiente urbano. Desse modo, considerando que a quantidade de pixels modelados com quatro frações não aumentava consideravelmente se comparada com a aplicação de modelos com componentes de três categorias, utilizou-se esta última opção: componentes representativos de vegetação, superfícies impermeáveis ou solo (agrupados para evitar o ruído) e sombra/água. Operação semelhante foi empregada por Powell (2006), que agrupou vegetação verde (GV) e vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV). A assinatura espectral de cada componente selecionado a partir do EAR e incluído para o processamento do MESMA foi analisada devidamente.

A inclusão de um pixel como referência para a modelagem da fração sombra conduziu a muitos erros. Isto também foi observado por Nunes e Souza Júnior (2007). Para modelagem dessa fração, *VIPER Tools* permite a inserção de apenas um componente de referência, caso a reflectância dos pixels de sombra na imagem seja considerada diferente de zero. No Rio de Janeiro, por exemplo, em que a porção da imagem representada pelo Oceano Atlântico, Baía de Guanabara e demais águas interiores é alta (31,5%), e a radiância detectada pelo sensor no SWIR é baixa se comparada à do VNIR, esses alvos não foram priorizados para a correção atmosférica por apresentarem muito ruído. Após a realização dos testes para a aplicação dos modelos foi verificado que os melhores resultados para a fração sombra e demais frações foram obtidos considerando a sombra fotométrica. Dessa forma a fração sombra foi estimada assumindo valores iguais a zero para todas as bandas para esse componente. A fração sombra máxima permitida ajustada foi 1, em virtude da existência de espectros nas imagens com 100% de água (uma aproximação do elemento sombra) e por ter sido observado que ao se limitar muito a fração de sombra máxima as superfícies escuras (alvos de resposta baixa) não foram bem modeladas. Após a realização de diversos testes os modelos aplicados contemplaram o número e as classes de componentes listados na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos de múltiplos componentes adotados.

Imagem	V	I	S	Total de Componentes	Total de modelos
13/10/2002 (SP)	5	8	2	15	50
17/05/2006 (SP)	5	8	2	15	50
25/04/2003 (RJ)	6	7	4	17	66
02/09/2004 (RJ)	5	6	4	15	50

A representatividade das superfícies impermeáveis e solo na área de estudo de São Paulo é notável em relação às demais categorias, analisando através de uma composição colorida (Figura 2). Na fração sombra são destacadas as represas de Guarapiranga e Billings, os Rios Tietê e Pinheiros e demais corpos d'água, raia para canoagem e lagos nos Parques (Figura 3).

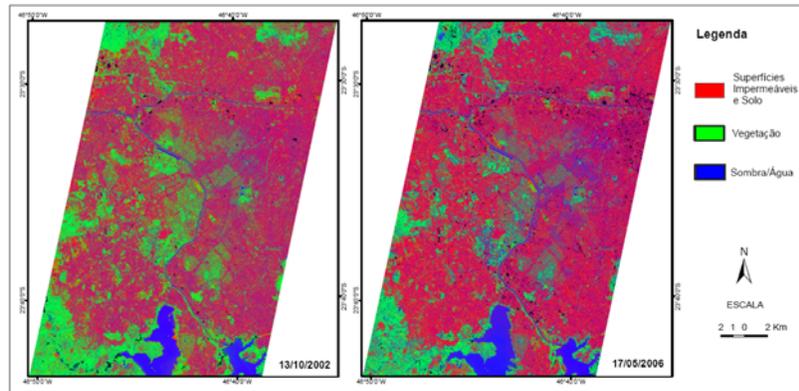


Figura 2. Composição colorida das imagens-fração (São Paulo).

O município de São Paulo apresenta grandes áreas florestais nos extremos de seu território. As demais áreas florestais resumem-se a parques como o PE Fontes do Ipiranga, do Carmo, do Ibirapuera, da Aclimação e demais parques isolados, os quais apresentaram maiores valores de fração vegetação (Figuras 2 e 3). A localização das áreas verdes no espaço intra-urbano de São Paulo é extremamente desigual em sua distribuição espacial e está relacionada com a inclusão/exclusão social da população. Penhalber et al. (2004) obtiveram um índice de 13,4 m<sup>2</sup> de área verde por habitante para São Paulo, superior ao proposto pela ONU (12 m<sup>2</sup>/hab). Entretanto, se os PE da Cantareira e da Serra do Mar fossem excluídos da estatística, o índice cairia para 5,08 m<sup>2</sup>/hab., muito inferior ao recomendado. Na delimitação territorial sobreposta à imagem-fração vegetação destaca-se que os distritos de Vila Andrade, Morumbi, Alto de Pinheiros, e parte do Jardim Paulista, Pinheiros, Campo Belo e Santo Amaro, ocupados por população de mais alta renda, apresentam maior cobertura vegetal.

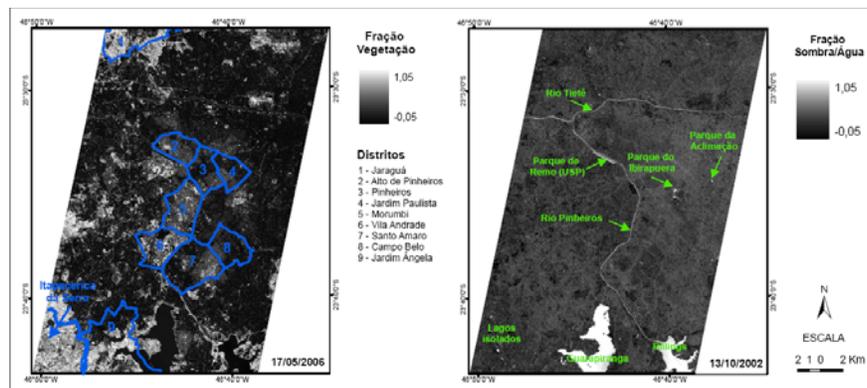


Figura 3. Elementos da divisão territorial municipal de São Paulo sobrepostos à imagem-fração vegetação e principais corpos d'água destacados na imagem-fração sombra.

Segundo Furlan (2004) os quatro distritos de maior privação social (Marsilac, Parelheiros, Jardim Ângela e Lajeado) são os que mais perderam cobertura vegetal e, portanto, estão submetidos à redução da qualidade ambiental. Na Figura 3 observa-se que no Jardim Ângela, por exemplo, há significativa cobertura vegetal. No entanto, isto não significa que ela esteja em espaços que a população pode usufruir para o lazer. Áreas destinadas para a construção de praças e jardins têm sido invadidas por ocupações irregulares, ou configuram-se como áreas

inóspitas (margens de córregos com lixo e esgoto, animais peçonhentos e/ou roedores, parques cercados em função da violência, áreas abandonadas).

A Figura 4 apresenta uma composição colorida elaborada para o Rio de Janeiro a partir das imagens-fração. A imagem-fração vegetação destaca áreas florestadas como o PN da Floresta da Tijuca, a maior floresta urbana do mundo, e o PE da Pedra Branca. A representatividade desta fração é maior em bairros de ocupação recente e de alto padrão, como o Recreio dos Bandeirantes, se comparada com bairros da zona norte, onde as áreas verdes são praticamente inexistentes. Desde a década de 1970, Gallego (1972) aponta para a necessidade da criação de áreas verdes para amenizar elevadas temperaturas nas áreas industriais e a poluição do ar, em bairros como os que se situam ao longo da Avenida Brasil. A imagem-fração sombra modelou adequadamente as áreas de águas interiores e oceânicas, para ambas as datas, o que pode ser confirmado pela análise da Figura 5.

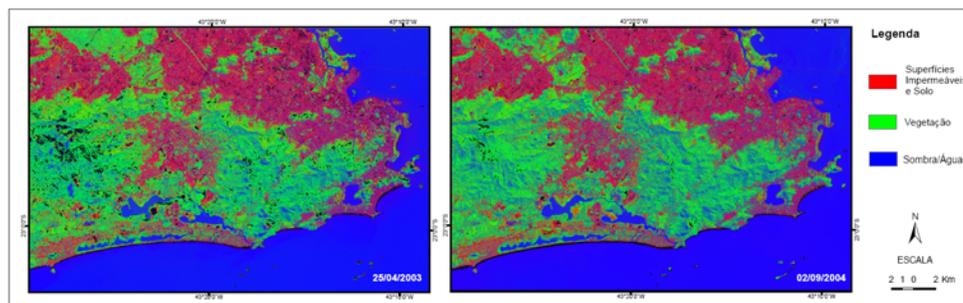


Figura 4. Composição colorida das imagens-fração (Rio de Janeiro).

Pixels muito brilhantes de cobertura vegetal, com valores em média acima de 50% de reflectância na banda 3 (NIR), assim como a areia das praias e da zona de arrebenção, e de afloramentos rochosos, não foram modelados. Na imagem de 25/04/2003 a maior intensidade ocorreu para os pixels mais brilhantes de vegetação. Na tentativa de melhor modelar esta imagem foi empregado um número maior de componentes e processados mais modelos (Tabela 2). No entanto, o percentual não modelado permaneceu acima de 5%. O fato de os componentes utilizados terem sido selecionados através do EAR pode ter contribuído.

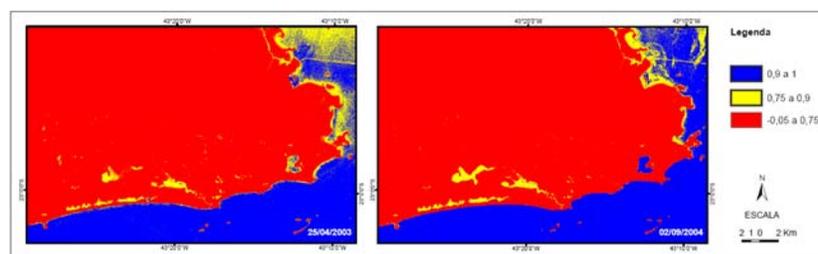


Figura 5. Frações observadas para a componente sombra/água.

De maneira geral, os valores de reflectância na banda 3 foram superiores para a imagem de abril de 2003 (em até 10%), se comparados aos valores na imagem de setembro de 2004 (Figura 6). Embora nem todos os efeitos da correção atmosférica sobre os dados tenham sido analisados, tais diferenças, que dificultaram a aplicação do MESMA, podem estar associadas ao maior vigor da cobertura vegetal na imagem de 2003, adquirida no início do outono, enquanto a imagem de 2004 foi adquirida no final do inverno, após o período mais frio e seco. Pode-se observar nas superfícies impermeáveis que essa diferença não diz respeito unicamente à escala de valores, pois a reflectância na banda 2 (vermelho) para esses alvos se assemelha em ambas as datas.

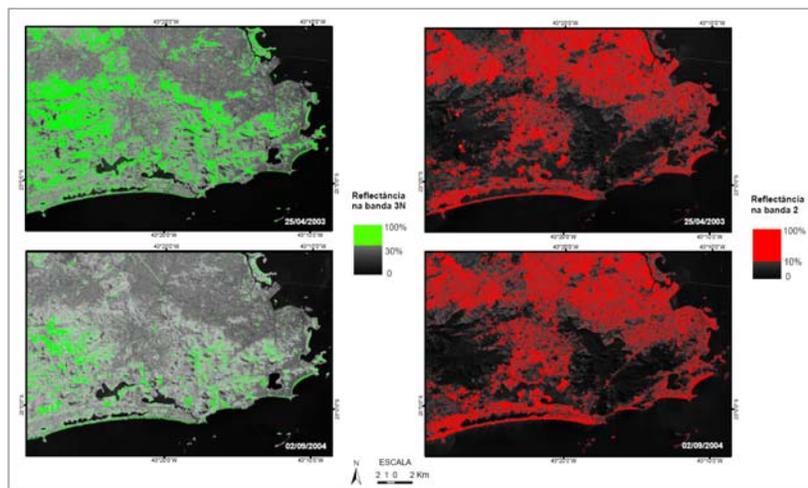


Figura 6. Comparação entre a proporção de pixels de maior reflectância nas bandas 3N e 2.

De modo semelhante ao que foi verificado no Rio de Janeiro, para São Paulo os pixels não modelados foram principalmente aqueles muito brilhantes de vegetação de várzea nas proximidades das represas, e diferentes tipos de materiais de respostas espectrais muito distintas correspondentes à cobertura de edificações industriais, galpões e outros edifícios.

#### 4. Conclusões

Após a realização dos testes visando ao ajuste de parâmetros, o modelo MESMA foi aplicado com sucesso e apresentou bons resultados, pois permitiu detectar a diversidade de materiais pertencentes a uma mesma classe como, por exemplo, superfícies impermeáveis. O maior problema verificado foi a seleção dos componentes, com uma ponderada dosagem de espectros generalistas e especialistas. Quando se prioriza espectros especialistas em uma biblioteca, há a tendência de a imagem ficar submapeada (percentual alto não modelado). Por outro lado, quando se utiliza mais os espectros generalistas ocorre o sobremapeamento dos alvos de interesse para a respectiva fração. Como o interesse, *a priori*, era modelar toda a imagem, foram selecionados como referência espectros generalistas que, entretanto, eram espectros de materiais específicos representativos das cenas. Em geral, um pixel de uma imagem com resolução de 30 m é mais misturado espectralmente se comparado a um pixel de uma imagem com a resolução de 15 m. No entanto, um pixel de 15 m representa ao longo da cena espectros mais diferentes, resultantes da interação entre um maior número de elementos que são perceptíveis e influenciam o sinal detectado na resolução espacial específica.

Conforme Roberts e Halligan (2006) o erro verificado é maior em áreas urbanas se comparado a outros ambientes, devido à forte heterogeneidade espectral. Pixels de superfícies impermeáveis estão em geral misturados espectralmente intra-classe, aumentando a confusão (por exemplo, diferentes tipos de telhados). Por sua vez, cidades maiores e mais antigas são compostas por materiais muito mais diferentes espectralmente, embora a combinação de materiais seja complexa em aglomerados recentes, com maior presença de solo.

Nesta pesquisa a análise dos resultados foi efetuada a partir de interpretação visual, e foi observado que as frações físicas mapeadas, principalmente as de sombra, sofrem influência da iluminação da cena e da sazonalidade (período de aquisição da imagem). Para a validação dos resultados obtidos com o MESMA é imprescindível haver dados de alta resolução espacial e trabalho de campo. O potencial do MESMA ainda não foi esgotado, tanto na construção e/ou adequação de bibliotecas espectrais e seleção de componentes, a partir de diversas técnicas disponíveis, quanto na aplicação de opções de pós-processamento disponíveis no *VIPER Tools*, como a normalização para os efeitos de sombra e a correção para os efeitos do terreno.

## Agradecimentos

Ao Camilo Rennó, pelo apoio junto à UCSB. Ao Kerry Halligan, pelas dúvidas sobre o *VIPER Tools* e divulgação das pesquisas. À Rebecca Powell, por partilhar sua experiência com o MESMA. Ao Carlos Roberto de Souza Filho, pelo acesso às imagens ASTER. Ao INPE e PG-SER pelo financiamento do trabalho de campo e ao CNPq pela bolsa de estudo.

## Referências

- Abrams, M.; Hook, S.; Ramachandran, B. **ASTER users handbook**. Pasadena: JPL, 1999. 93p.
- Acharya, P. K.; Berk, A.; Anderson, G. P.; Larsen, N. F.; Tsay, S.; Stamnes, K. H. MODTRAN4: multiple scattering and bi-directional reflectance distribution function (BRDF) upgrades to MODTRAN. **SPIE Proceeding III**, v. 3756, 1999. Disponível em: <www.spectral.com/sr115.pdf>
- Dennison, P. E.; Roberts, D. A. Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using endmember average RMSE. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 2-3, p. 123-135, Oct. 2003.
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center. **Cross-Talk correction user's guide**. Tokyo: ERSDAC, 2003. 21p.
- Furlan, S. A. Paisagens sustentáveis: São Paulo e sua cobertura vegetal. In: Carlos, A. F. A.; Oliveira, A. U. (Ed.) **Geografias de São Paulo: a metrópole do século XXI**. São Paulo: Contexto, 2004. p. 255-283.
- Gallego, L. P. **Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro: um ensaio em climatologia urbana**. 1972. 104p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1972.
- Halligan, K. Q. **Multiple endmember spectral mixture analysis of vegetation in the northwest corner of Yellowstone National Park**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) – University of California Santa Barbara (UCSB), Santa Barbara, 2002.
- Nunes, S. S.; Souza Júnior, C. M. Avaliação de modelos de mistura de pixel para áreas urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6885-6892.
- Penhalber, E. F.; Kohler, M. C. M.; Cortes, M. T. M.; Cabral, V. B. Aspectos urbanísticos de espaços públicos e áreas verdes. In: Roméro, M. A.; Philippi Júnior, A.; Bruna, G. C. (Ed.) **Panorama ambiental da metrópole de São Paulo**. São Paulo: USP/FSP/FAU/Signus Editora, 2004. p. 305-349.
- Powell, R. L. **Long-term monitoring of urbanization in the Brazilian Amazon using remote sensing**. 2006. 257p. Tese (Doutorado em Geografia) – University of California Santa Barbara (UCSB), Santa Barbara, 2006.
- Rashed, T.; Weeks, J. R.; Roberts, D. A.; Rogan, J.; Powell, R. L. Measuring the physical composition of urban morphology using multiple endmember spectral mixture models. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 1011-1020, Sep. 2003.
- Rashed, T. **Multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA) of ASTER data for Cairo**. In: WORKSHOP ON APPLIED URBAN REMOTE SENSING. Arizona State University, Tempe, AZ, Apr. 2004.
- Ridd, M. K. Exploring a V-I-S model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 12, p. 2165-2185, Aug. 1995.
- Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church, R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R. O. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture model. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 267-279, Sept. 1998.
- Roberts, D. A.; Halligan, K. **VIPER Tools user manual**. Version Beta 6.0. Santa Barbara: UCSB, 2006. 52p.
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-21, Jan. 1991.
- Slater, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems**. Reading: Addison-Wesley Publishing Co., 1980. 593p.
- Small, C. A global analysis of urban reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 4, p. 661-681, Feb. 2005.