

Aplicação do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento de queimadas no Parque Nacional das Emas

Carmen Quintano¹
Alfonso Fernández-Manso²
Yosio Edemir Shimabukuro³
Gabriel Pereira³

¹ Universidad de Valladolid
EII Francisco Mendizábal - 47014 - Valladolid, Spain
menchu@tele.uva.es

² Universidad de León
ETSIA Avenida de Astorga – 24400 – Ponferrada (León), Spain
alfonso.manso@unileon.es

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{gabriel, yosio}@dsr.inpe.br

Abstract. Forest fires are an important problem in Brazil. Rapid and accurate mapping of burned area is essential to manage forestry area. Remote sensing is emerging as a tool to map burned areas with enough accuracy in a reasonable period of time. This paper presents a method to mapping burned areas from satellite images. The study area was the Parque das Emas, that suffered an important wildfire from 12 to 14 August 2010. Thus, the main objective is to develop a method to map accurately the burned area from optical satellite images, specifically, from data recorded by the MODerate Image Spectrometer (MODIS) onboard of TERRA satellite. The method we proposed is based on Spectral Mixture Analysis (SMA). The burned area estimation was calculated by classifying the fraction images obtained by unmixing the original MODIS data. We considered a multitemporal approach, therefore, the input to the classifier was the difference image between the pre-fire and post-fire fraction images. Confusion matrix and KAPPA coefficient were used to validate the burned area estimation and to calculate its accuracy. The ground-truth image was obtained by manual edition of post-fire Landsat image. Regarding the results (KAPPA=0,93), we can conclude that the proposed method is valid to map accurately burned areas from large fires in Brazil from MODIS data.

Palavras-chave: remote sensing, burned areas, MODIS, unmixing, sensoriamento remoto, queimadas, MODIS, modelo de mistura.

1. Introdução

A cada ano vastas regiões do globo sofrem a ação antropogênica e natural das queimadas. Estima-se que aproximadamente 100 milhões de toneladas de aerossóis e gases traços derivados da fumaça são lançados na atmosfera, dos quais 80% ocorrem em regiões tropicais do globo. As queimadas liberam para a atmosfera gases traços e partículas de aerossóis que afetam significativamente a qualidade do ar, a química troposférica e estratosférica, o balanço de radiação e a dinâmica e microfísica de nuvens (Hao e Liu, 2000).

No Brasil as queimadas antropogênicas estão vinculadas essencialmente às atividades agropecuárias, que apresentam grande variabilidade temporal e espacial. A emissão dos gases oriundos da queima de biomassa libera uma grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO), e hidrocarbonetos (Freitas et al., 2005).

Os gases do efeito estufa liberados na queima de biomassa apresentam tempo de vida na atmosfera variável. O tempo de vida pode ser definido como a quantidade emitida dividida pela deposição global média em Tg/ano (IPCC, 2001). Entre os gases do efeito estufa, o carbono apresenta um tempo de vida variável, pois as emissões e mecanismos de deposição

mudam constantemente. Estudos mostram que o tempo de vida do CO₂ permanece na atmosfera varia de 100 a 200 anos. O CH₄ associado a apenas um processo de remoção na atmosfera, a oxidação do radical de hidroxila (OH), possui um tempo de vida de aproximadamente 12 anos. Outras espécies de gases do efeito estufa, como os óxidos nitrosos, podem permanecer na atmosfera por até 114 anos, enquanto que o ozônio troposférico permanece por horas ou dias apenas (IPCC, 2001).

O impacto da queima de biomassa no ciclo biogeoquímico, no clima mundial, na química atmosférica, na biodiversidade e na população em geral, tornou-se uma grande preocupação mundial. Estudos indicam que a ocorrência de grandes incêndios tenderá a aumentar significativamente nas próximas décadas (IPCC, 2001). O sensoriamento remoto orbital, com suas características de visão sinóptica de grandes áreas, alta eficiência de atualização de informações sobre a mesma área e relativo baixo custo, atualmente representa a principal alternativa tecnológica que auxilia na detecção, no dimensionamento e no entendimento dos processos de queimada. O *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), sensor a bordo da plataforma orbital Terra, lançada pela NASA como parte do programa *Earth Observation System* (EOS), é um exemplo disso, pois conta com uma série de produtos “Fogo” que, diariamente, ajudam no monitoramento e detecção de grandes queimadas.

Aplicações de sensoriamento remoto relacionadas com as queimadas são tradicionalmente baseadas em imagens NDVI ou outros índices de vegetação. Tais imagens, entretanto, são extremamente influenciadas por solo e sombra e, portanto, nem sempre permitem a precisão necessária. Por esta razão, este estudo utiliza imagens fração como alternativa para as imagens NDVI. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é delimitar a área queimada a partir do uso do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) aplicado aos dados do sensor MODIS/TERRA e comparar os resultados obtidos com os dados do *Thematic Mapper* (TM) a bordo do Landsat 5, utilizado como verdade de campo, a fim de propor uma metodologia para o mapeamento de área queimada.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo

O Parque Nacional das Emas (PNEMAS) localiza-se no Estado Brasileiro de Goiás e abrange uma área total de 132.000 hectares, correspondendo as coordenadas 53°16”W e 18°26”S; e 52°36”W e 17°42”S (Figura 1). No parque é possível encontrar espécies endêmicas que são encontradas apenas naquela região, e uma flora e fauna exuberante, representativa do bioma Cerrado. Segundo a classificação climática de Köppen, na região do PNEMAS predomina o tipo de clima tropical com estação seca, com temperatura média mensal superior a 18° C e com a precipitação média mensal em pelo menos um mês, inferior a 60 mm.

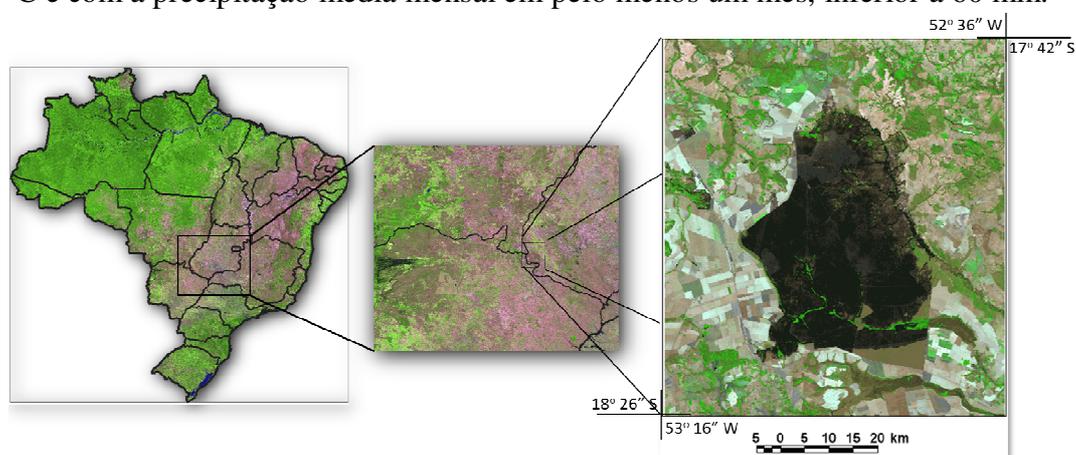


Figura 1 – Área de estudo que compreende o Parque Nacional de Emas - GO

2.2. Metodologia

2.2.1 Pré-Processamento

Nesta fase, duas tarefas principais foram realizadas: (1) a imagem Landsat foi processada e uma estimativa da área queimada foi adquirida. Esta estimativa foi utilizada como imagem de verdade terrestre na fase de avaliação da acurácia do mapa de queimada originado com os dados do sensor MODIS/Terra; e (2) os dados do sensor MODIS, que foram utilizados como dados de entrada no método proposto neste trabalho, foram baixados, selecionados e recortados para a área de estudo.

Como mostrado em Chuvieco et al. (2005), nem todas as composições temporais são apropriadas para caracterizar cicatrizes de fogo, desta forma, utilizou-se produtos diários de reflectância de superfície do MODIS. Dada a sua maior resolução espacial, optou-se pelo produto MOD09GQ. Evitando-se as imagens cobertas com nuvens, após uma análise visual, decidimos usar o produto MOD09GQ de 03 de agosto como uma imagem pré-queimada e o produto MOD09GQ de 19 de agosto como uma imagem pós-queimada. Ambas as imagens foram recortadas para a área de estudo.

2.2.2 Modelo Linear de Mistura Espectral

Na aquisição de informações da superfície terrestre por sensores orbitais, a variedade dos alvos incluída na resposta espectral que compõe cada pixel dependerá da resolução espacial de cada sensor, e como consequência, pixels de sensores de alta resolução espacial possuem uma maior probabilidade de serem formados pela resposta de alvos únicos, ou puros. Entretanto, esta característica não ocorre em pixels que compõem grandes extensões terrestres, nestes, a mistura espectral se torna indesejada, pois mascara a resposta característica de cada alvo, dificultando assim a sua identificação (Teixeira, 2004).

Essa mistura ocorre devido à existência de mais de um alvo na área de abrangência de cada pixel, no qual o valor digital possui informações sobre a proporção da mistura entre cada componente pura (Shimabukuro e Smith, 1991; Roberts et al., 1998). No Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), uma relação linear é utilizada para representar a mistura espectral dos alvos em cada pixel. Assim, a resposta espectral dos pixels em qualquer comprimento de onda pode ser considerada como uma combinação linear de cada componente da mistura (Shimabukuro e Smith, 1991). O objetivo do MLME é separar cada elemento do pixel da imagem para obter uma imagem fração para cada endmember considerado. As imagens fração representam o porcentual de cada endmember nas imagens originais. Um fator chave no processo de desmistura é a seleção dos endmembers e sua assinatura espectral. A seleção do endmember deve acomodar a dimensionalidade do espaço de mistura. Possíveis endmembers são limitados ao número de bandas da imagem mais um (Small, 2004). Dado que o produto MOD09GQ tem apenas duas bandas de reflectância de superfície (vermelho e infravermelho próximo), o nosso número máximo de endmembers foi três (solo, vegetação e sombra).

Neste trabalho, os pixels puros (*endmembers*) que foram utilizados foram selecionados através de pixels com a resposta espectral mais próxima da curva teórica esperada para alvos puros. Os endmembers para cada um dos conjuntos de dados foram: vegetação, solo e sombra. Desta forma, o valor de um determinado pixel pode ser descrito como:

$$p_i = a \cdot \text{vegi} + b \cdot \text{soloi} + c \cdot \text{sombrai} + e_i \quad (1)$$

em que p_i é a resposta da reflectância do pixel na banda i ; a , b e c são as proporções de vegetação, solo e sombra, respectivamente; vegi , soloi e sombrai são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra, respectivamente; e_i é o erro na banda i .

Para definir os endmembers foi utilizado um algoritmo de índice de pureza de pixel (PPI) para encontrar os pixels espectrais mais puros (extremos) na imagem. Os maiores valores de

PPI das imagens indicaram pixels que estavam mais próximos dos cantos dos dados n-dimensionais das nuvens, e que foram, portanto, relativamente mais puros do que os pixels com valores inferiores. A resposta espectral dos pixels mais puros identificados no gráfico de dispersão n-dimensional foi verificada visualmente utilizando o conhecimento local. Utilizou-se a solução dos mínimos quadrados para resolver o modelo linear de mistura espectral (Shimabukuro e Smith, 1991) devido à sua simplicidade e facilidade de implementação. O erro quadrático médio da imagem (RMSE) foi utilizado para avaliar o ajuste do modelo.

2.2.3 Classificação das Imagens TM/Landsat 5 e MODIS/Terra

Para a classificação da imagem MODIS, utilizou-se a fração sombra, Quintano et al. (2006) mostrou a adequação deste tipo de imagens para mapear as áreas queimadas, indicando que a imagem fração sombra tende a reduzir as confusões entre a vegetação queimada e a água que são comuns quando se utilizam entradas tradicionais como o NDVI, desde que uma perspectiva multitemporal seja adotada (diferença entre as imagens sombra pré-queimada e pós-queimada). Desta forma, a imagem diferença (pós-fogo subtraído os valores do pré-fogo) possui dois tipos de níveis de cinza (NC): a) aqueles que estão perto de 0, representando os pixels que não foram afetados pelo fogo; e b) aqueles com maior NC, representando pixels afetados pelo fogo.

A imagem diferença destaca a mudança ocorrida durante o intervalo temporal (a área queimada). Por essa razão, para obter a estimativa da área queimada a partir da imagem diferença, pode-se aplicar classificadores simples, baseados no limiar da média e desvio padrão da imagem. Neste estudo, foi utilizado o classificador não supervisionado k-médias. Desta forma, aplicou-se o classificador não-supervisionado k-médias com 5 classes. Estas classes foram agrupadas em duas classes (queimadas e não queimadas). Finalmente, um filtro mediana 3x3 foi aplicado para remover os ruídos deixados na estimativa da área queimada final.

Para avaliar os resultados do mapeamento de queimada, utilizaram-se a matriz de confusão e o índice kappa (Congalton e Green, 1999) aplicados aos dados do estimado pelo MODIS e a verdade de campo obtida pela edição manual da cena Landsat 5.

3. Resultados e discussões

Depois que as imagens MODIS foram baixadas e recortadas para a área de estudo, as componentes solo, vegetação e sombra, foram definidas. Conforme indicado, o algoritmo PPI juntamente com um visualizador n-dimensional possibilitaram a caracterização espectral desses endmembers. A Figura 2 mostra as três imagens fração obtidas através da aplicação do SMA para a imagem pós-fogo. É notável a delimitação da área queimada na imagem fração sombra (Figura 2c). Na imagem fração vegetação, podemos ver um NC muito baixo na área queimada, indicando uma grande redução da cobertura vegetal.

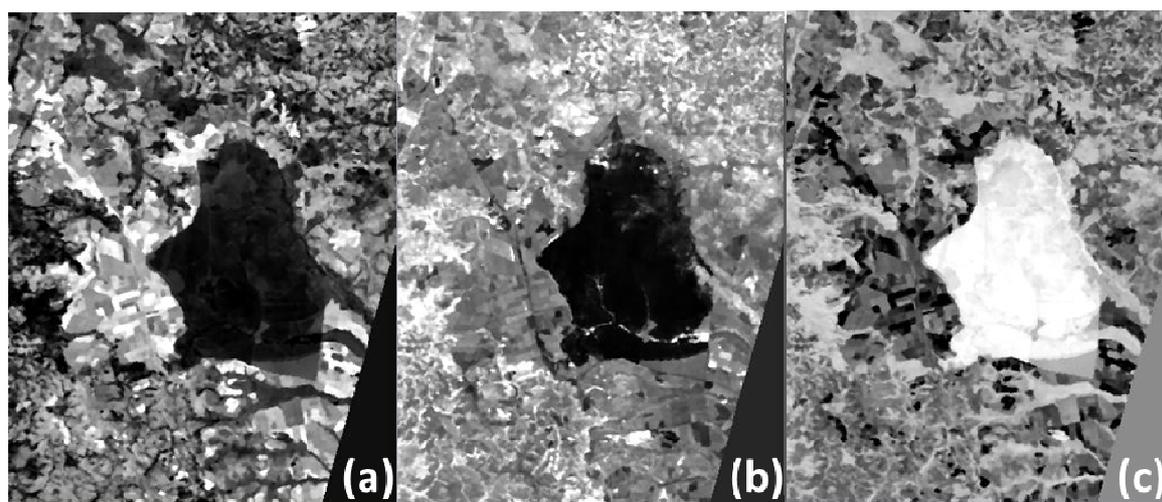


Figura 2. Imagens fração pós-fogo. (a) Imagem fração Solo; (b) Imagem fração vegetação; e (c) Imagem fração sombra;

Uma vez que as imagens pré-fogo e pós-fogo foram extraídas, realizou-se a diferença entre as frações sombra (Figura 3a). Esta imagem foi classificada utilizando o classificador não-supervisionado k-médias com 5 classes (Figura 3b). A Figura 3c exibe a imagem em que todas as categorias que representam as áreas não queimadas foram agrupadas. Para reduzir o ruído das 2 classes das imagens, foi aplicado um filtro de mediana 3x3.

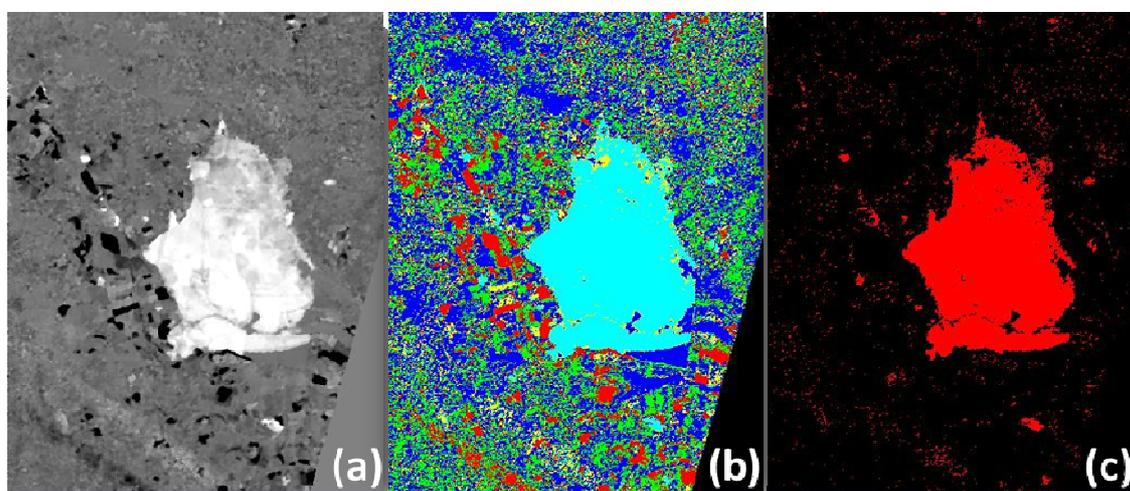


Figura 3. Imagens de entrada e saída do classificador. (a) Imagem de entrada: imagens diferença fração sombra pré-fogo e pós-fogo; (b) Imagem de saída: imagem classificada pelo k-médias com 5 classes; e (c) Imagem de saída: imagem reclassificadas.

A Figura 4a e Figura 4b mostram as imagens TM/Landsat 5 (composição 3B4G5R) pré e pós-fogo, respectivamente. Nota-se que as queimadas que ocorreram no PNEMAS consumiram basicamente toda a vegetação de cerrado existente, com exceção do extremo sul do parque. A Figura 4c mostra a área queimada (em vermelho) estimada a partir da imagem MODIS utilizando o MLME. A área total queimada estimada para a imagem em reflectância de superfície do MODIS foi de aproximadamente 1310 km². Os dados de área queimada

obtidos a partir da delimitação manual da cena do Landsat 5 foi de aproximadamente 1280 km².

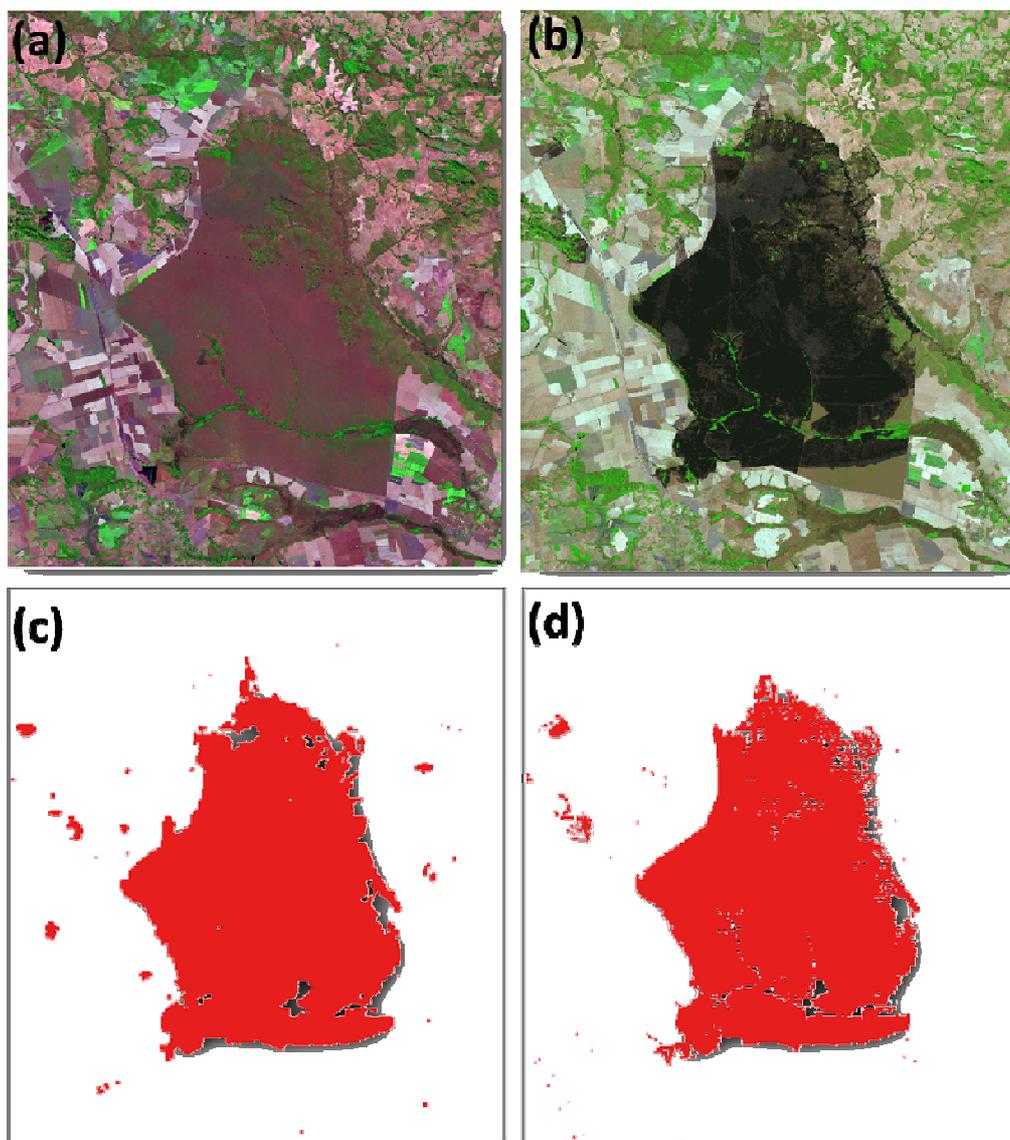


Figura 4. Estimativa final da área queimada. (a) Imagem TM/Landsat 5 composição 3B4G5R pré-fogo; (b) Imagem TM/Landsat 5 composição 3B4G5R pós-fogo; (c) Classificação das áreas queimadas (em vermelho) realizada a partir do MLME aplicado à imagem MODIS; (d) Classificação das áreas queimadas (em vermelho) a partir dos dados TM/Landsat 5 utilizados como verdade de campo.

Comparando-se as duas áreas estimadas, percebe-se uma excelente coerência entre o modelo de classificação proposto e a área de referência. Para validar a estimativa da área queimada e calcular sua acurácia, computou-se a matriz de confusão a partir da comparação da estimativa da área queimada e a imagem considerada como verdade. Para essa matriz (Tabela 1), o coeficiente KAPPA foi de aproximadamente 0,93, o que demonstra a potencialidade da metodologia proposta em estimar a área queimada. Ainda, percebe-se que os dados originados a partir da aplicação do MLME nos dados do MODIS, apresentam erros de omissão de aproximadamente 4% e comissão de 6%. Entre os erros de comissão, pode-se

destacar áreas de mata ciliar que foram englobadas como queimada pela resolução espacial do sensor MODIS e áreas com baixa reflectância, água.

Tabela 1 – Tabulação cruzada entre as classificações realizadas.

| | Não-Queimada | Queimada-MODIS |
|--------------------|--------------|----------------|
| Não-queimada | 8243,35 | 87,93 |
| Queimada-LANDSAT 5 | 54,56 | 1224,75 |

4. Considerações Finais

Atualmente encontram-se disponíveis diversos produtos que estimam a área queimada a partir de diferentes sensores como, por exemplo, o GLOBSCAR obtido a partir do *Along Track Scanning Radiometer (ATSR-2)* a bordo do satélite *European Remote-Sensing Satellites (ERS-2)*, o *Global Burnt Area* do sensor VEGETATION a bordo do satélite *Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT)* e o produto MCD45 do sensor MODIS/Terra. Porém, os valores estimados por estes produtos quando comparados com dados observados em campo mostram diferenças significativas. Desta forma, o método proposto neste trabalho, baseado na aplicação do MLME e de técnicas de seleção de pixels puros, e na análise multitemporal dos dados de queimada demonstrou excelente potencial para originar um inventário de queimada anual para diversas áreas de estudo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (2010/07083-0).

5. Referências

- Chuvieco, E.; Ventura, G.; Martín, M.P. AVHRR multitemporal compositing techniques for burned land mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 5, p. 1013–1018, 2005.
- Congalton, R.G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practice**. New York. Lewis publishers, 1999. 137 p.
- Freitas, S.R.; Longo, K.M.; Dias, M.A.F.S.; Dias, P.L.S.; Chatfield, R., Prins, E.; Artaxo, P.; Grell, G.A.; Recuero, F.S. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South América. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 5, p. 135-167, 2005.
- Hao, W.M.; Liu, M.H. Spatial and temporal distribution of biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, p. 495-503, 2000.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Third Assessment Report (TAR), climate change, the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the international panel on climate change**, New York : Cambridge Univ. Press, 2001.
- Quintano, C.; Fernández-Manso, A.; Fernández-Manso, O.; Shimabukuro, Y.E. Mapping burned areas in Mediterranean countries using Spectral Mixture Analysis from a unitemporal perspective. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 645–662, 2006.
- Quintano, C.; Shimabukuro, Y.E.; Fernández-Manso, A.; Delgado, J.A. A spectral unmixing approach for mapping burned areas in mediterranean countries. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 7, p. 1493-1498, 2005.
- Roberts, D.A.; Batista, G.T.; Pereira, J.L.G.; Waller, E.K.; Nelson, B.W. Change identification using multitemporal spectral mixture analysis: applications in eastern Amazonia. In: Lunetta R. S.; Elvidge C. D.

(Org.). **Remote sensing change detection: environmental monitoring methods and applications**. Michigan: Ann Arbor Press, v.1, cap. 9, p. 137 – 161, 1998.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The leastsquares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.

Teixeira, C.G. Validação do Modelo Linear de Mistura Espectral em Imagens ASTER/TERRA a partir de dados Ikonos. 2004. 127 p. (INPE-13183-TDI/1029). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.