

Análise do uso do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para o mapeamento das áreas queimadas no Estado de Rondônia no ano de 2010

Francielle da Silva Cardozo¹

Gabriel Pereira¹

Yosio Edemir Shimabukuro¹

Elisabete Caria Moraes¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{cardozo, gabriel, yosio, bete}@dsr.inpe.br

Abstract. The biomass burning cause local impacts in land use and land cover and in biodiversity, altering the regional and global climate due to modification in energy balance of the atmosphere and of surface. Therefore, the objective of this work is to estimate the burned areas in Rondonia State for 2010 using Linear Spectral Mixture Model (MLME) in images of surface reflectance (MOD09GA and MOD09GQ) of MODIS sensor. Moreover, the results derived from MLME were assessed with data considered as reference obtained from the mapping of burned areas in Thematic Mapper (TM) sensor of Landsat 5 Satellite images. The results showed that from August to October 2010, the study area showed a total of 13,869 km² of burned areas. Regarding the results of MLME compared with reference images, it was noticed that the maps were very similar, with an exception that showed a commission of 271% in mapped burned areas derived from MLME images. This large difference can be explained by the temporal resolution of the sensors, due to lack of available images of TM/Landsat 5. Also, lack of images in October and high incidence of clouds were the main source of errors. Therefore, it was noticed that MLME constitute an important tool and could be used to derive burned areas in larger areas or in long temporal series.

Palavras-chave: remote sensing, fires, mapping, sensoriamento remoto, queimadas, mapeamento.

1. Introdução

As queimadas podem ser consideradas como um fenômeno global, que provocam impactos locais no uso da terra, na biodiversidade e no clima regional e global devido a liberação de gases traço e aerossóis, causando modificações na química da atmosfera e consequentemente modificando o balanço de energia (Werf et al., 2006; Fearnside et al., 2009). As queimadas representam uma das mais importantes ações de conversão da cobertura vegetal em áreas antropogênicas, sendo utilizadas principalmente nas atividades agropecuárias, na abertura e manutenção de pastos, no desmatamento, no controle de pestes, entre outros (Sampaio et al., 2007; Cardoso et al., 2009).

Para facilitar o processo de combustão, na Amazônia as florestas são derrubadas alguns meses antes da queima, principalmente na estação seca, geralmente entre os meses de junho a outubro devido à maior vulnerabilidade da vegetação ao clima seco e a baixa umidade (Crutzen e Andreae, 1990; Freitas et al., 2005). Sendo assim, após a remoção e alteração da estrutura da vegetação, as áreas queimadas podem ser visualizadas na superfície devido aos depósitos de carvão e cinzas, sendo que a permanência dos mesmos irão variar em função do clima, do regime do fogo e da disponibilidade de biomassa, enquanto que a permanência do sinal da cicatriz dependerá da produtividade primária local e da recuperação da vegetação (Pereira et al., 1997).

O reconhecimento da queima de biomassa como importante agente modificador da superfície originou uma maior demanda de dados necessários a modelagem ambiental. Neste contexto, os dados provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) dos satélites Terra e Aqua, com uma alta resolução temporal, proporcionaram uma nova perspectiva para o monitoramento e detecção de queimadas (Justice et al., 2002; Roy et al., 2002; Zhan et al., 2002), pois apresentam uma série de características aprimoradas em relação a outros sensores, como, por exemplo, uma melhor resolução espectral e radiométrica

e uma melhor resolução espacial nas bandas espectrais da região do visível e infravermelho próximo e médio (comparados à satélites geostacionários), além de uma alta resolução temporal (Justice et al., 2002). Assim, a correta quantificação dos eventos de queimadas é de fundamental importância, não só para o manejo florestal e dos recursos terrestres, mas também para auxiliar na melhor representação das características físico-químicas e biológicas em modelos atmosféricos e para os estudos de mudanças climáticas (Zhan et al., 2002).

Desta forma, o sensoriamento remoto representa atualmente a principal alternativa tecnológica que auxilia na detecção e análise dos processos derivados das queimadas, principalmente devido à visão sinóptica, pelo grande número de informações sobre a superfície e pelo baixo custo, quando comparados com outros métodos convencionais de detecção e mapeamento. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consistiu no mapeamento das áreas queimadas no Estado de Rondônia no ano de 2010 a partir da utilização do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) em imagens de reflectância da superfície (MOD09GA e MOD09GQ) do sensor MODIS, analisando os resultados com os dados considerados como referência, obtidos a partir do mapeamento das áreas queimadas em imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do Satélite Landsat 5.

2. Área de Estudo

A área de estudo abrange o Estado de Rondônia, localizado nas coordenadas geográficas 09°45' 8°00' de latitude sul e 66°50' 59°50' de longitude oeste, conforme Figura 1.

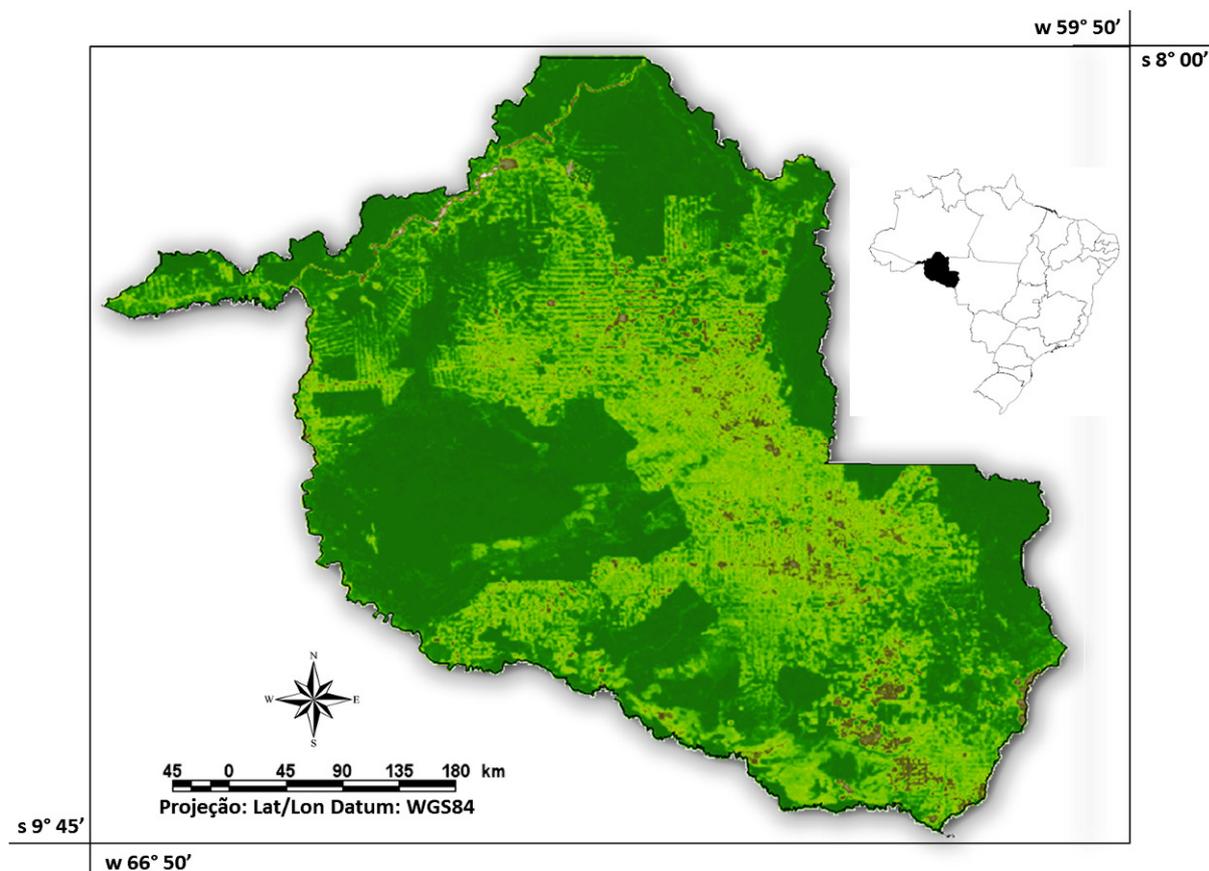


Figura 1. Localização da área de estudo.

No Estado de Rondônia, o desmatamento da floresta ocorre desde a década de 60 devido, principalmente, a fatores como a migração da população, que foram atraídas pela política de colonização desenvolvida pelo governo da época, proporcionando um crescimento

populacional de 324% até 1980; o crescimento da indústria madeireira, que aliadas às melhorias nas estradas propiciaram maior acesso aos agricultores e camponeses às áreas até então inacessíveis; o desmatamento que começou a se expandir para o interior do Estado, até então concentrado na área central; e as queimadas causadas pela população no manejo de pastagens e áreas agrícolas (Batista, 2001). Assim, torna-se importante o estudo nesta região, pois essas ações praticadas desde a década de 60 ainda ocorrem atualmente, principalmente em relação às queimadas, que se expandem todos os dias por áreas que ainda não foram desmatadas.

3. Metodologia de Trabalho

Neste trabalho, o mapeamento das áreas queimadas foi realizado a partir de imagens de reflectância espectral da superfície do sensor MODIS, referente ao produto MOD09GA, que possui 7 bandas com resolução espacial de 500 metros, e MOD09GQ, que possui 2 bandas com resolução espacial de 250 metros, ambos com resolução temporal de 1 dia. A área de estudo abrangeu todo o Estado de Rondônia e o período utilizado consistiu nos meses de agosto a outubro de 2010, período seco e de atuação das queimadas na área de estudo.

Primeiramente foi realizado a conversão dos dados em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para geotiff, utilizando-se para isso o aplicativo *MODIS Reprojection Tool* (MRT), onde foram realizados os mosaicos e o recorte da área de estudo, originando ao final imagens com 7 bandas e 250 metros de resolução espacial. Após as etapas de pré-processamento, foi utilizado o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para a identificação das cicatrizes de queimadas a partir do *Interactive Data Language* (IDL), linguagem implementada junto ao *Environment for Visualizing Images* (ENVI). Posteriormente, as imagens referentes à fração sombra foram inseridas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) e segmentadas (similaridade 12 e área 20). A partir dos polígonos originados na segmentação, realizou-se a edição topológica para as áreas queimadas e edição manual para evitar eventuais erros decorrentes da segmentação. Com o intuito de sanar prováveis dúvidas referentes às cicatrizes de queimadas no momento o mapeamento, também foi utilizado o produto de focos ativos do sensor MODIS chamado MOD14A2/MYD14A2, que fornece a localização dos focos de calor, baseado na temperatura dos alvos nos comprimentos de onda de 4 μ m e 11 μ m (Kaufman e Justice, 1998).

Ainda, para avaliar os resultados decorrentes do MLME, as áreas queimadas foram mapeadas em imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, a partir de um sorteio aleatório. Este sensor possui 7 bandas espectrais, resolução espacial de 30 metros e 16 dias de resolução temporal. Portanto, a área utilizada para análise dos resultados compreendeu as órbitas/pontos 230/69 em agosto e setembro de 2010, 232/67 em agosto e setembro de 2010 e 233/68 em setembro de 2010, pois eram as únicas imagens disponíveis no catálogo do site www.dgi.inpe.br que apresentavam queimadas e sem a ocorrência de nuvens no período de estudo. Assim, as imagens foram inseridas no SPRING onde foram registradas e aplicadas a segmentação, sendo realizado posteriormente uma edição manual com o intuito de evitar erros de omissão e comissão nos resultados finais, já que foram utilizadas como verdade terrestre por possuírem melhor resolução espacial. Como as imagens do sensor MODIS possuem 250 metros de resolução espacial e a imagem de referência possui 30 metros, foi realizada uma compatibilização de escalas com o intuito de padronizar todos os dados em uma mesma escala, facilitando assim a análise e a comparação entre eles.

4. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra as áreas queimadas que ocorreram no Estado de Rondônia no período de agosto a outubro de 2010 e a Figura 3 mostra a distribuição espacial dos focos de

queimadas para a mesma época. Percebe-se na Figura 2, que as áreas queimadas mapeadas a partir do MLME coincidiram com as áreas que apresentam focos de queimadas obtidas do produto MOD14A2/MYD14A2 do sensor MODIS (Figura 3), demonstrando uma boa concordância entre elas. Neste quesito, no período que engloba os meses de agosto a outubro de 2010, a área de estudo apresentou ao total 13.869 Km² de áreas queimadas que se distribuem por todo o Estado de Rondônia, localizadas principalmente na porção centro-norte da região, sendo que as maiores cicatrizes podem ser visualizadas ao sul e na faixa leste do Estado.

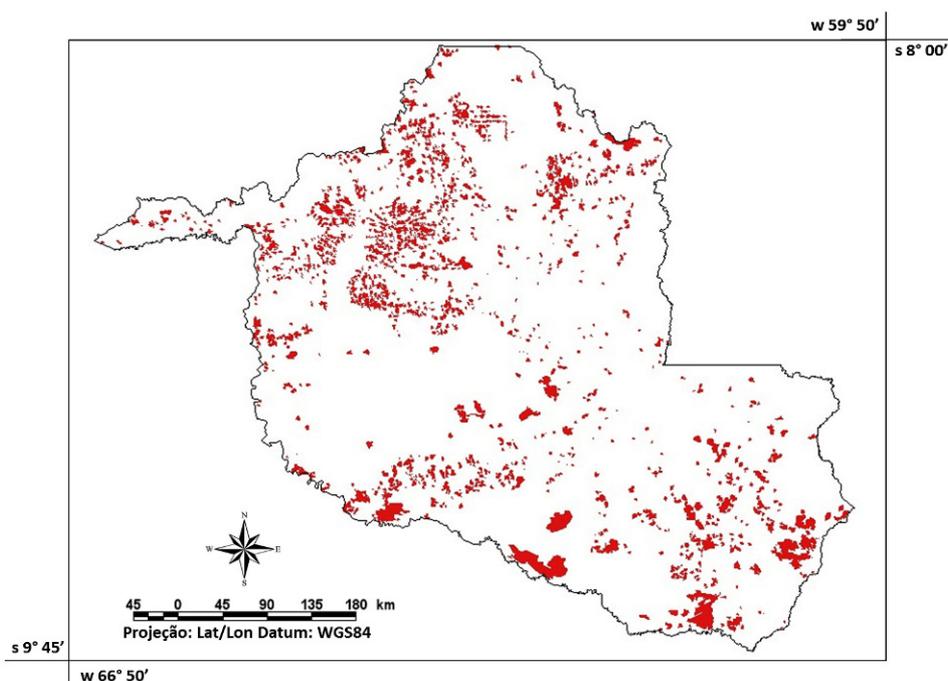


Figura 2. Áreas queimadas no Estado de Rondônia no período de agosto a outubro de 2010.

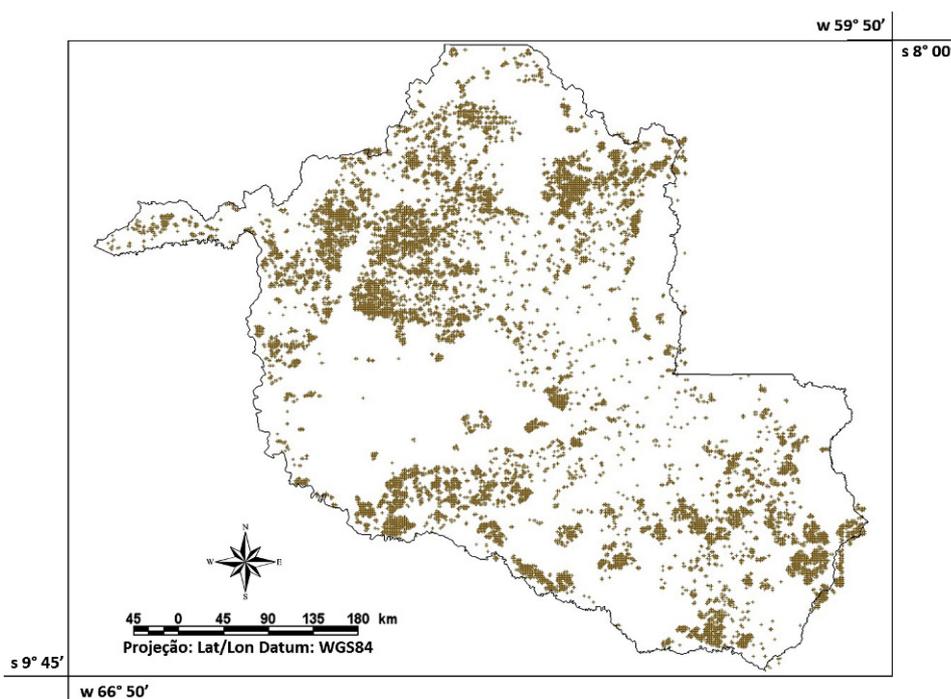


Figura 3. Focos de queimadas no Estado de Rondônia no período de agosto a outubro de 2010.

A Figura 4 mostra o gráfico do número de ocorrência dos focos de queimadas no Estado de Rondônia no ano de 2010 obtido do produto MOD14A2/MYD14A2 do sensor MODIS, originado a partir do agrupamento mensal de todos os focos ocorridos na área de estudo com confiabilidade superior a 50%. Assim, percebe-se que a maior ocorrência de focos ocorre no período seco, entre os meses de julho a outubro, sendo que os meses de setembro e outubro apresentam as maiores ocorrências, com 12.449 e 10.697 detecções respectivamente.

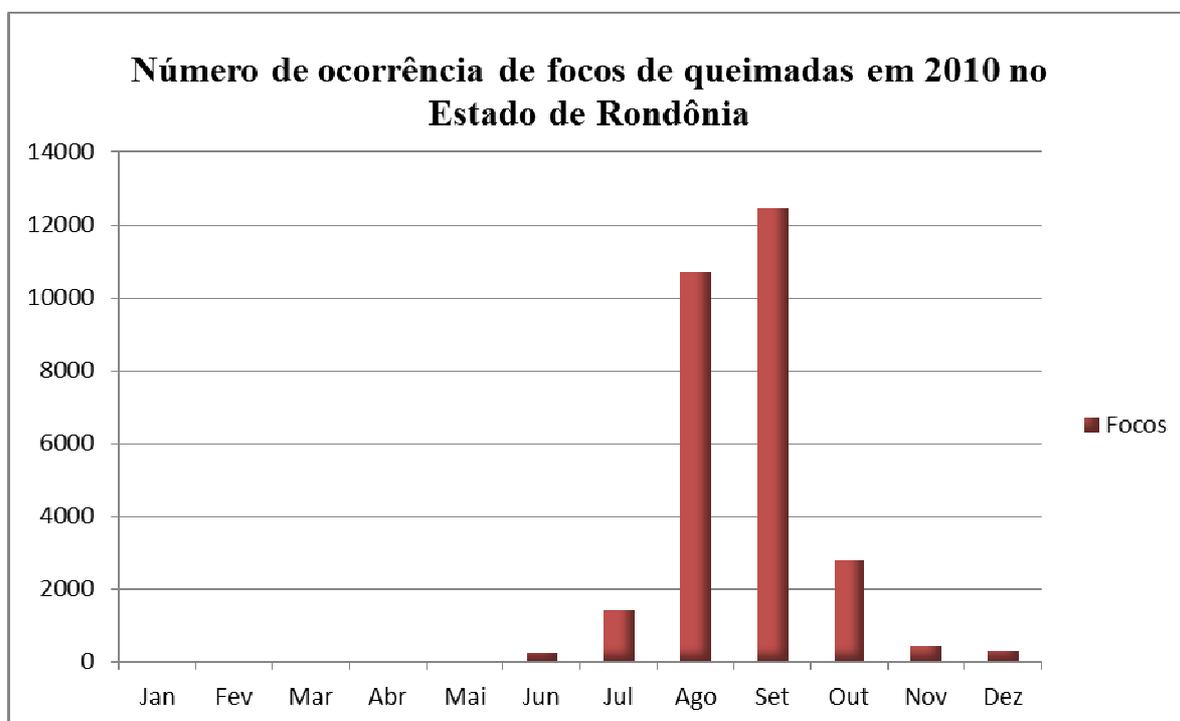


Figura 4. Gráfico do número de ocorrência dos focos de queimadas no Estado de Rondônia no ano de 2010.

A Figura 5 mostra as áreas queimadas mapeadas utilizando-se o MLME (em preto) e as imagens de referência do sensor TM/Landsat (em vermelho), abrangendo o período de agosto a outubro do ano de 2010. Esses locais foram selecionados após um sorteio aleatório com o intuito de avaliar o desempenho realizado em ambos os produtos. Como pode-se perceber, na primeira imagem, referente à órbita/ponto 233/68 do TM, ambos os mapeamentos foram bem semelhantes, totalizando 181 Km² de áreas queimadas nas imagens de referência e 197 Km² nas imagens do MODIS. Na segunda imagem, referente à órbita/ponto 232/67, os resultados foram bastante distintos, totalizando 858 Km² de áreas queimadas nas imagens de referência e 2.331 Km² nas imagens do MODIS. Na terceira imagem, referente à órbita/ponto 230/69, os resultados também foram semelhantes, totalizando 2.785 Km² de áreas queimadas nas imagens referência e 2.674 Km² nas imagens do MODIS.

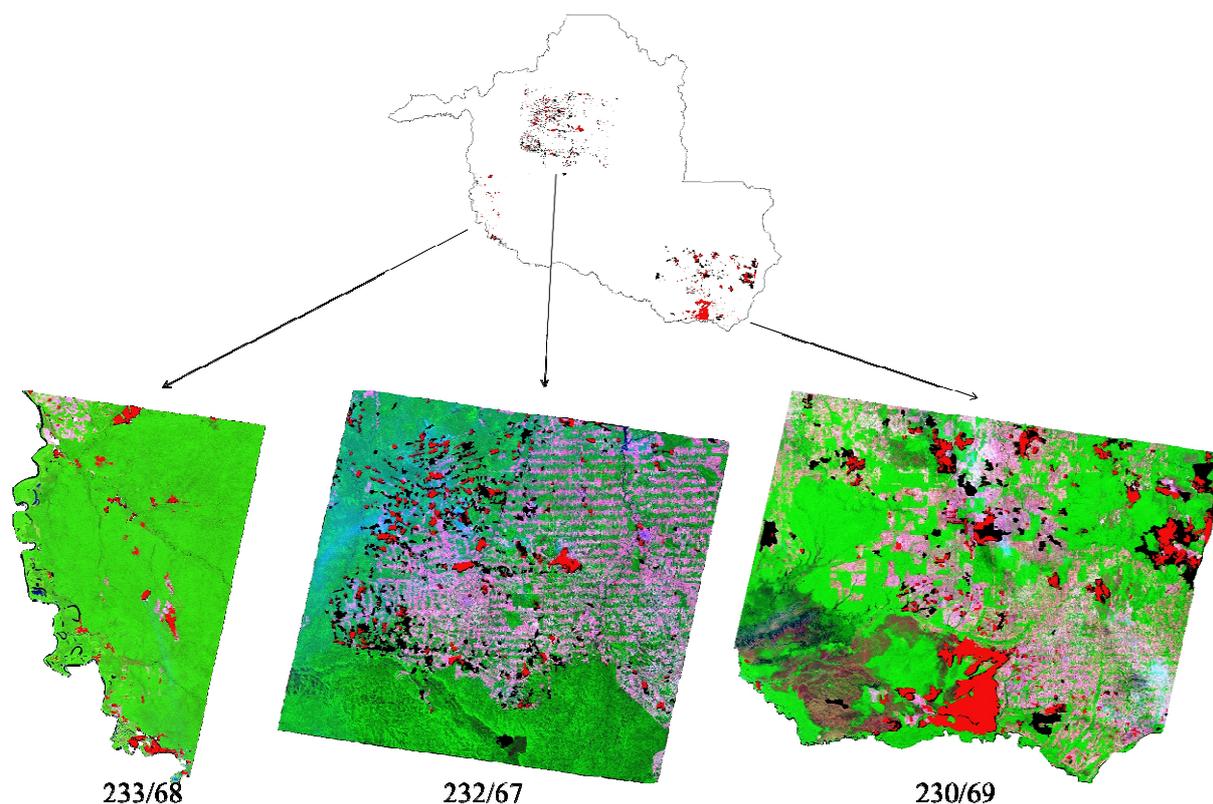


Figura 5. Áreas queimadas mapeadas a partir do MLME (em preto) e nas imagens de referência do sensor TM/Landsat 5 (em vermelho).

Ressalta-se que, com exceção do caso da imagem referente à órbita ponto 232/67, em que os resultados mostraram 271% a mais de áreas queimadas nas imagens utilizando o MLME, todos os outros resultados foram bem semelhantes, denotando que os mapeamentos coincidem. Ainda, esta grande diferença pode ser explicada em função da resolução temporal dos sensores, pois no catálogo das imagens do TM só foi possível encontrar imagens que apresentavam cicatrizes de queimadas e sem a ocorrência de nuvens em agosto e setembro de 2010, ao contrário das imagens do sensor MODIS, que são diárias, sendo que todas as queimadas que não foram mapeadas nas imagens TM ocorreram no mês de outubro. Portanto, denota-se que esta grande diferença de valores não ocorreu devido a um possível erro no mapeamento com o MLME, causando comissões, mas sim devido à falta de imagens do sensor TM para comparação, em que as nuvens foram o principal agente causador da não disponibilidade das imagens.

5. Conclusões

A identificação e a quantificação das áreas queimadas em grandes porções da superfície terrestre são aprimoradas a cada dia, decorrentes principalmente dos avanços das técnicas de sensoriamento remoto, combinadas com o surgimento de novos satélites e produtos operacionais. Neste contexto, percebe-se que o MLME constitui-se numa importante ferramenta, pois permite o mapeamento das áreas queimadas de uma forma rápida e com grande acurácia, quando comparado com os resultados das imagens de referência. Estas estimativas em intervalos de tempo regulares constituem-se em um grande potencial para a aplicação em modelos numéricos de previsão do tempo e qualidade do ar, tendo em vista que estas informações são fundamentais para a modelagem ambiental. Ainda, as diferenças denotadas em um dos resultados decorrem da falta de imagens disponíveis do TM para a análise, sendo a presença de nuvens o principal agente causador da indisponibilidade. Portanto, pode-se dizer que o MLME é uma técnica rápida e confiável, podendo ser utilizado

em outros estudos que contemplem áreas maiores da superfície ou abrangendo uma maior série temporal.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (2008/04490-4, 2010/07083-0, 2010/17437-4 e 2011/08000-4).

Referências

- Batista, I. X. Desenvolvimento em Rondônia: Políticas Públicas, Desmatamento e evolução Socioeconômica (Dissertação de Mestrado). Rio Claro: UNESP, 2001.
- Cardoso, M.; Nobre, C.; Sampaio, G.; Hirota, M.; Valeriano, D.; Câmara, G. Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon. *Biologia (Bratislava)*, v. 64, p. 433-437, 2009.
- Crutzen, P. J.; Andreae, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250, 1669 - 1678, 1990.
- Fearnside, P. M.; Righi, C. A.; Graça, P. M. L. A.; Keizer, E. W. H.; Cerri, C. C.; Nogueira, E. M.; Barbosa, R. I. Biomass and greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management*, v. 258, p. 1968 - 1978, 2009.
- 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 America. *Environmental Fluid Mechanics*, v. 5, p. 135-167, 2005.
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Alleaume, S., Morisette, J. T., Roy, D. P., Petitcolin, F., Descloitres, J., Kaufman, Y. Global fire products from MODIS. (Special Issue), *Remote Sensing of Environment*, 83, p. 245 – 263, 2002.
- Pereira, J. M. C., Chuvieco, E., Beaudoin, A., Desbois, N. Remote sensing of burned areas: a review. A review of remote sensing methods for the study of large wild land fires. In E. Chuvieco (Ed.). Report of the Mega fires Project ENV-CT 96-0256, p. 127 -183, Alcalade Henares, Spain: Universidad de Alcala, 1997.
- Roy, D. P., Lewis, P., Justice, C. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data – a bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*, 83, p. 263 – 286, 2002.
- Sampaio, G.; Nobre, C.; Costa, M. H.; Satyamurty, P.; Soares-Filho, B. S.; Cardoso, M. F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, v. 34, p. 1-7, 2007.
- Zhan, X., Sohlberg, R. A., Townshend, J. R. G., DiMiceli, C., Carroll, M. L., Eastman, J. C., Hansen, M. C., DeFries, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment*, 83, p. 336 – 350, 2002.

Werf, G. R.; Randerson, J. T.; Giglio, L.; Collatz, G. J.; Kasibhatla, P. S.; Arellano Jr., A. F. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 6, p. 3423–3441, 2006.