

## Detecção de cicatrizes de queimadas a partir de imagens MODIS-TERRA no Estado do Mato Grosso

Haron Abraham Magalhães Xaud<sup>1,2</sup>  
Polyanna da Conceição Bispo<sup>1</sup>,  
Emerson Luiz Servello<sup>1</sup>,  
Andre Lima<sup>1</sup>,  
John Mauricio Arenas Toledo<sup>1</sup>  
Antonio Roberto Formaggio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{haron, polyanna, servello, andre, john, formag}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Roraima  
BR-174, km 08, Distrito Industrial, 69301-970 – Boa Vista-RR, Brasil

### Abstract

The detection of fire scars in Amazon applying remote sensing approach has been object of several studies. In this article, the objective was the identification and characterization of fire scars, using MODIS images, comparing to TM/LANDSAT, in two areas in the state of Mato Grosso - Brazil. It was applied the linear mixture model in both images groups and the shade fraction image and the other bands (3, 4, 5 – TM ; and 1, 2, 6 – MODIS) were used to detect fire scars. To the region studied in the first group of images TM and MODIS (August - 2007), the results of cross-tabulation indicate that MODIS had detected 37% of the fire scars indicated using TM images. To the second group of TM and MODIS images (September – 2007), the results indicated 54,7% of coincidence between MODIS and TM. The products were analyzed and have been compared statistically using fuzzy similarity method. The final results showed a satisfactory similarity between the maps generated from MODIS images in comparison to TM images, meanly in the area that has specific features of large properties and big farmers. We've suggested to future studies that the multi-temporal characteristic of MODIS sensor can be more explored as advantage, since the spatial resolution has some limited aspects.

**Palavras-chave:** áreas queimadas, sensoriamento remoto, segmentação, MOD09.

### 1. Introdução

O Mato Grosso é um dos estados brasileiros onde a ocorrência de queimadas durante o ano (PROARCO, 2008) é intensa e freqüente, sendo que a maior parte das mesmas ocorre durante a estação seca ou no início da úmida. Para o ano de 1999, por exemplo, o percentual total de focos de calor foi de 39%, em 2000 este percentual foi reduzido para 30%, e em 2001 para 23%. Com o período de estiagem, a vegetação se torna um meio de propagação de fogo. Todas as regiões do Mato Grosso se tornam áreas de alto risco para queimadas e incêndios florestais de grandes proporções fazendo deste estado um importante foco no controle e alerta a incêndios (FEMA-MT, 2003; Anderson *et al.*, 2005).

Em períodos do ano favoráveis à ocorrência de queimada em função do acúmulo de material combustível sobre a superfície do solo podem ser originados incêndios de natureza antrópica e não-antrópica (*e.g.* causado por raios). A grande problemática em torno das queimadas se refere aos impactos ambientais gerados causando o empobrecimento do solo, a perda da biodiversidade, aumento na taxa de emissão de CO<sub>2</sub>, entre outros fatores (Coutinho, 1990).

A ocorrência de queimadas é uma das questões discutidas no relatório DETER (2008) referente à detecção das diferentes fases de degradação da floresta. Neste se discute, dentre outros aspectos, a influência do fogo, abordando e exemplificando a partir de imagens de satélite, tipos afins de degradação corroborando com a abordagem de degradação pelo fogo

apresentada em Barlow e Peres (2008). Junto a outros processos de degradação florestal, a ocorrência de incêndios é, portanto, importante como forçante antrópica e ambiental, responsáveis pelas transformações da paisagem rural na Amazônia, principalmente nas regiões de expansão da fronteira agrícola. Desta forma, fica clara a atual necessidade da quantificação e detecção de cicatrizes de queimadas através de metodologias potenciais a serem empregadas em sistemas operacionais, a exemplo dos programas PRODES (2005) e DETER (2008).

O desenvolvimento de sensores orbitais multiespectrais com alta resolução temporal e média resolução espacial (250 a 500 m), como no caso do MODIS, possibilitam a detecção de queimadas em tempo quase real. Entretanto, o desafio é o de identificar a extensão das áreas afetadas pelas queimadas, cujas cicatrizes permanecem algum tempo após a passagem do fogo e podem ser visualizadas em imagens destes sensores.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar e identificar cicatrizes de queimadas em imagens MODIS, executando sua validação a partir de imagens Landsat/TM e discutindo a utilização das mesmas em monitoramento de áreas atingidas por incêndios relacionados à vegetação.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A área selecionada para o presente estudo situa-se no Mato Grosso que é a região brasileira cuja incidência de queimadas anuais é alta e bastante frequente. Desta região, foram selecionadas duas áreas ao norte do Estado, coincidentes com as órbitas/ponto do sensor TM-Landsat 227/68 ( $10^{\circ} 42'$  e  $12^{\circ} 21'$  de latitude sul e  $56^{\circ} 51'$  e  $55^{\circ} 41'$  de longitude oeste) e 229/67 ( $9^{\circ} 15'$  e  $10^{\circ} 54'$  de latitude sul e  $59^{\circ} 38'$  e  $58^{\circ} 27'$  de longitude oeste). As imagens sobre a área de estudo no Mato Grosso podem ser observadas na Figura 1.

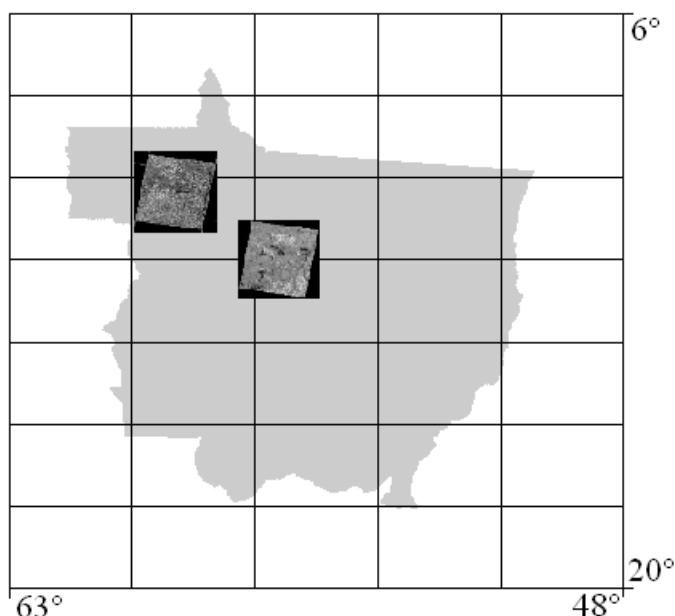


Figura 1. Imagens Landsat TM, ressaltando as duas áreas de estudo - MT.

O clima do Estado é caracterizado como tropical chuvoso com nítida estação seca. Cerca de 95% das chuvas ocorrem no período de outubro a abril. Por outro lado, o período de maio a setembro é considerado seco. A precipitação pluviométrica anual pode atingir médias muito elevadas, algumas vezes superiores a 2.750 mm. Ao Norte, a temperatura anual média é de

cerca de 26°C. Com relação ao relevo, 55% da área do Estado são levemente planas, 30% planas 10% onduladas e 5% montanhosas. A altitude apresenta valores entre 105 e 850 m (EMBRAPA, 2008).

O uso do solo é marcado pela expansão agrícola e pecuária, com destaque para a produção de soja, que corresponde a aproximadamente 30% da produção Nacional (IBGE, 2008). Com isto, nesta área vem ocorrendo uma alta taxa na conversão da cobertura vegetal não somente devido à recente utilização da agricultura mecanizada como também devido aos processos de desmatamento, corte seletivo e queimadas (PRODES, 2005). Na escolha das áreas foi buscada ainda certa diferença entre os padrões de ocupação e uso do solo, com áreas predominantes de pequenas propriedades e outras de grandes propriedades.

## 2.2 Procedimentos

A seleção das imagens foi realizada em função da proximidade entre as datas e ausência de nuvens tanto nas imagens TM e quanto nas MODIS sendo preferenciais aquelas referentes ao período seco, portanto, mais sujeitas à queimada. Tal critério de seleção se justifica pelo fato de quanto mais próximas forem as datas de obtenção entre os pares de imagem TM/MODIS, maior a correlação entre as mesmas. Assim, as variações nas respostas espectrais dos alvos de interesse (cicatrizes de queimadas) serão relativas apenas às diferenças entre as resoluções espaciais, radiométricas, espectrais e de calibração dos dois sensores. Neste estudo foram utilizadas as imagens Landsat/TM, bandas 3, 4 e 5 dos dias 06 de agosto e 09 de setembro do ano de 2007, com resolução espacial de 28,5 m, da base GeoCover da NASA. Das imagens do sensor MODIS/Terra, foi usado o produto MOD09 (reflectância) nas bandas 1, 2 (250 m) e 6 (500 m), datadas de 05 de agosto e 10 de setembro de 2007, amostradas segundo as órbitas ponto do Landsat; a banda 6 foi interpolada para 250 m. Utilizou-se o produto MOD09 do sensor MODIS, que apresenta uma estimativa diária dos dados de fator de reflectância de superfície, nas bandas 1, 2 e 6 (EOS, 2008); equivalentes às bandas 3, 4 e 5 do TM.

As imagens MODIS foram convertidas para o formato Geotiff, associadas a uma projeção cartográfica (Policônica) e a um datum (SAD 69) através do software MRT e convertida para 8 bits através do ConvGeotiff (Arai, 2003). Após tal compatibilização, cada par TM/MODIS foi então registrado entre si. O processamento digital das imagens foi realizado no software Spring 4.3.3, sendo aplicado o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) sobre cada uma das imagens. O MLME consiste na separação entre as proporções da resposta espectral dos alvos presentes em um pixel, formando imagens fração de elementos básicos como solo, sombra e vegetação (Shimabukuro e Smith, 1991). Os modelos foram gerados a partir da coleta de amostra de pixels puros nas próprias imagens. Segundo o MLME, os pixels puros são os parâmetros de entrada para a equação:

$$r_i = a*vege_i + b*solo_i + c*sombra_i + e_i$$

onde:  $r_i$  é a resposta do pixel na banda  $i$  do TM-Landsat ou MODIS-Terra,  $a$ ,  $b$  e  $c$  são as proporções de vegetação, solo e sombra (ou água);  $e_i$  é o erro na banda  $i$ .

A partir da imagem fração sombra foi feita uma segmentação utilizando-se do algoritmo de segmentação por crescimento de regiões. Foram feitos alguns testes preliminares e para as imagens MODIS foram definidos os limiares de área e de similaridade de 8 e 4; para as imagens TM os limiares foram de 6 e 30, respectivamente. Cada imagem rotulada obtida pela segmentação passa a ser representada por um conjunto de regiões (polígonos) com atributos estatísticos que caracterizam a população de pixels dentro da região e as diferenciam das regiões vizinhas.

Após a segmentação todas as imagens foram classificadas de modo não supervisionado a partir do algoritmo Iseseg, com probabilidade de aceitação de 75%, utilizando cada imagem sombra como base. Após esta etapa foi feita uma visualização da imagem classificada para verificação daquelas classes que coincidem com áreas queimadas que se pretende mapear.

As dificuldades em se realizar classificações automáticas de imagens para detecção de áreas queimadas existem e devem ser salientadas, uma vez que as áreas queimadas são difíceis de separar de outros elementos como, por exemplo, corpos d'água, sombras de nuvens ou de relevos; nesses casos deve-se utilizar interpretação visual (Chuvieco, 1996). Assim, neste estudo, as classes de interesse (polígonos) foram então copiadas para um plano de informação (PI) o qual foi editado manualmente, visando o aperfeiçoamento dos polígonos de queimada. Esta etapa exigiu experiência por parte do intérprete, tendo sido sujeita a certa subjetividade. Buscou-se neutralizar tal subjetividade, através: a) da interpretação de cada imagem por mais de um intérprete; b) e pela interpretação das imagens MODIS anterior às do TM, pois a melhor resolução do TM poderia tornar tendenciosa a interpretação posterior das imagens MODIS.

As interpretações visuais foram realizadas utilizando-se as imagens sombra (canal monocromático), as bandas 3, 4 e 5 do TM e 1, 2 e 6 do MODIS, em RGB, para a identificação das cicatrizes de queimadas. A partir de tais interpretações foram produzidos mapas temáticos referentes aos polígonos de queimadas.

Os mapas temáticos gerados foram submetidos a operações de cruzamentos no TerraView, tratando-se de uma operação baseada em lógica booleana entre mapas (Burrough, 1986). A operação consistiu em revelar as áreas de interseção entre os polígonos obtidos a partir do TM e aqueles obtidos a partir do MODIS. Para cada par de imagens TM/MODIS foi realizado um cruzamento, obtendo-se como resultante PIs correspondentes às áreas detectadas em ambas as imagens TM e MODIS, concomitantemente (Tabela 1).

Para validação dos mapas de cicatrizes de queimadas gerados a partir das imagens MODIS com aqueles gerados pelas imagens do TM foi aplicado o método de análise por similaridade fuzzy proposto por Hagen (2003), implementado no software Dinamica-EGO (Soares-Filho et al., 2005). Valores próximos a zero (0) indicam similaridade baixa e valores próximos a um (1) indicam similaridade alta entre mapas. Geralmente valores acima de 0,45, são interpretados como satisfatórios. A vantagem do método em comparação a outros métodos tradicionais deve-se ao fato de que utiliza janelas de observação (3x3, 5x5, etc.) com ponderação fuzzy e não apenas realiza as análises pixel a pixel como no índice Kappa. Com base nas imagens TM, as áreas não queimadas foram neutralizadas estatisticamente no teste de similaridade fuzzy para que não houvesse superestimação no cálculo global.

### **3. Resultados e Discussão**

Nas imagens sombra, as cicatrizes de queimadas aparecem realçadas em tons mais claros de níveis de cinza. A vizinhança com áreas florestais que contém resposta de sombra devido ao dossel às vezes pode confundir o classificador automático e o intérprete (Figura 2a). A verificação complementar na composição RGB (543) pode ajudar na identificação das cicatrizes de queimadas (Figura 2b). Os polígonos em vermelho representam áreas já identificadas e mapeadas como cicatrizes de queimadas. Áreas com mais recortes devido ao uso do solo em pequenas propriedades e agricultura familiar, tendem a dificultar a identificação devido à dimensão reduzida e variação nas formas dos polígonos (Figura 2c e 2d). A fase de edição de polígonos tanto remove polígonos relacionados com água e sombra de relevo, confundidos pelo classificador, como pode também servir para adição de novos polígonos de queimadas identificados pelo intérprete.

O padrão de resposta espectral de cicatrizes de queimadas nas imagens MODIS é semelhante ao exposto acima para imagens TM 543, composição RGB e imagem sombra.

Entretanto, observam-se variações na delimitação de limites (bordas) de alvos entre as imagens, as quais são mais nítidas em imagens TM devido à sua resolução espacial mais fina.

Nas imagens analisadas as áreas de queimadas foram, algumas vezes, confundidas com regiões de sombra de relevo (ambientes um pouco mais acidentados), corpos d'água, mata galeria e mesmo por bordas florestais. A identificação dessas áreas foi feita em função do formato de tais polígonos.

As imagens TM permitiram a detecção de polígonos de cicatrizes de queimadas em dimensões muito pequenas. Após o cruzamento de planos de informação das cicatrizes de queimadas derivadas do TM e do MODIS, foi estabelecida uma dimensão mínima para as áreas a serem consideradas como polígonos de interesse originário do TM. A dimensão considerada foi a de 2,7 ha, seguindo uma metodologia semelhante a do PRODES para detecção de desmatamento. Por outro lado, nas imagens MODIS os menores polígonos detectados e validados foram de pouco menos (18,75 ha) que os 25 ha utilizados como o limite mínimo padrão para o DETER.

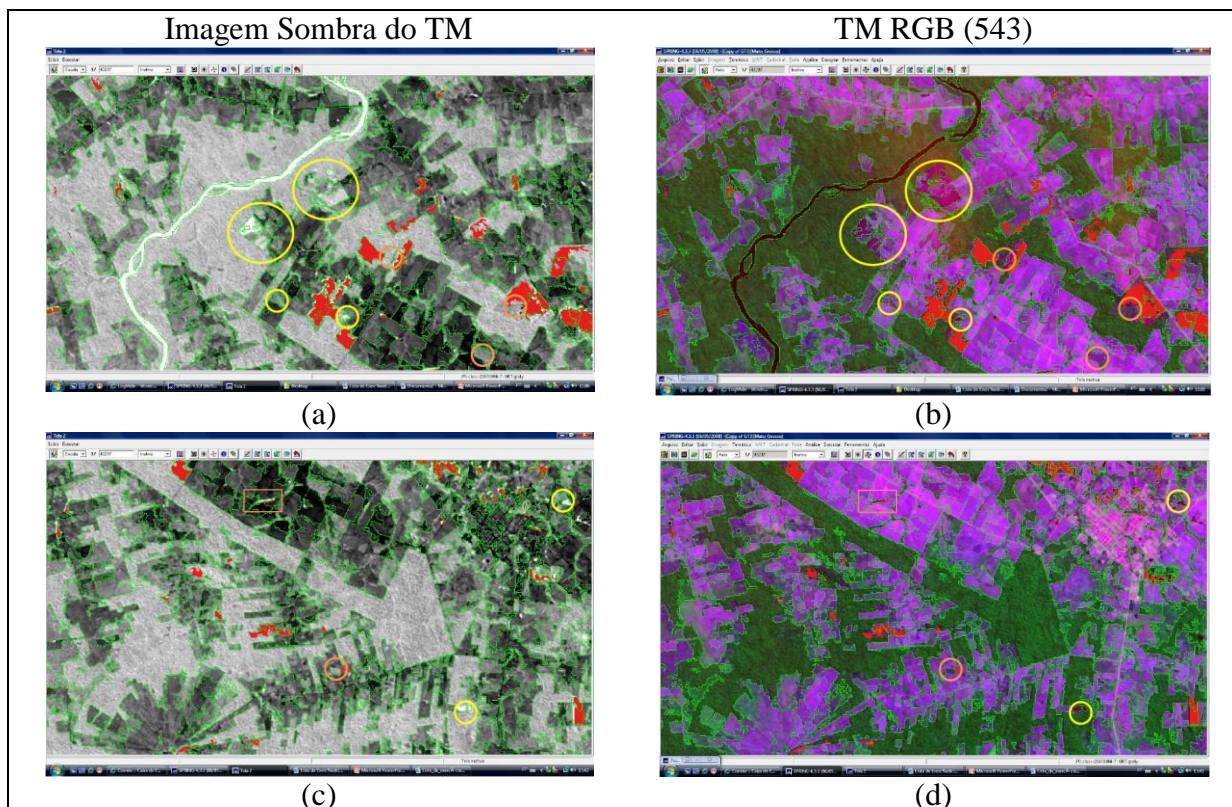


Figura 2. Exemplo de detecção de cicatrizes de queimadas (polígonos vermelhos) em imagem sombra e composição RGB; círculos estão realçando áreas queimadas a serem adicionadas ao plano de informação a partir de edição manual e o retângulo uma área (água) a ser retirada.

Os resultados dos cruzamentos apontaram que a imagem MODIS (MOD09) de agosto foi capaz de detectar 37% (4.604) das áreas queimadas identificadas na imagem TM correspondente (Tabela 1, Figura 3). Através da imagem TM deste período foi possível detectar 12.420 ha de áreas queimadas. Embora o valor de área total para a imagem MODIS respectiva tenha se aproximado deste valor da TM, observou-se através de análise visual dos produtos que: a) houve erros não apenas devido à extrapolação de borda de polígonos, devido à resolução mais grosseira do MODIS em relação ao TM, mas também erros devido à detecção em si. Ressalte-se que esta região tem padrão de ocupação de pequenas e médias propriedades, gerando polígonos de queimadas mais recortados e menores.

Para o par de imagens TM/MODIS de setembro, cujas áreas têm padrões de ocupação de grandes propriedades, os resultados foram melhores. A partir do MODIS foi possível identificar 54,7 % das áreas queimadas identificadas na imagem TM (Tabela 1). Embora a área total obtida do MODIS tenha sido menor que a área obtida no TM, o percentual de acerto se aproximou dos índices de acerto obtidos pelo DETER, que chegam a 65%.

Em termos gerais, foi observado que a área queimada obtida para as imagens de setembro foi quase dez vezes maior que a obtida para a imagem de agosto. O site do PROARCO foi consultado para os dois meses referentes às imagens e para a de setembro de 2007 foram detectados o dobro de focos que no mês de agosto. Desta forma verificou-se coerência entre os dados de áreas queimadas obtidos das imagens e a realidade.

Tabela 1. Síntese dos dados de queimadas para imagens TM e MODIS de agosto e setembro de 2007.

<b>Data: Agosto - 2007</b>	Imagem TM: 06.08.2007	Imagem MODIS: 05.08.2007	Intersecção TM e MODIS
Área total mapeada como queimada	12.420 ha	12.746 ha	4.604 ha (37%)
<b>Data: Setembro - 2007</b>	Imagem TM: 09.09.2007	Imagem MODIS: 10.09.2007	Intersecção TM e MODIS
Área total mapeada como queimada	122.598 ha	104.848 ha	67.120 ha (54,7%)

Uma vez que há diferença entre os padrões de uso do solo entre as áreas correspondentes aos pares de imagens, verificou-se que o maior acerto obtido pela interpretação da imagem MODIS de setembro na detecção de áreas queimadas, quando comparado aos resultados obtidos pelas imagens de agosto, encontra coerência pelo fato dos polígonos da imagem de setembro serem maiores, havendo queimadas em grandes áreas contínuas. Neste caso a utilização da imagem MODIS de 250m de resolução introduz menos erros, quando comparada à detecção obtida através da imagem TM.

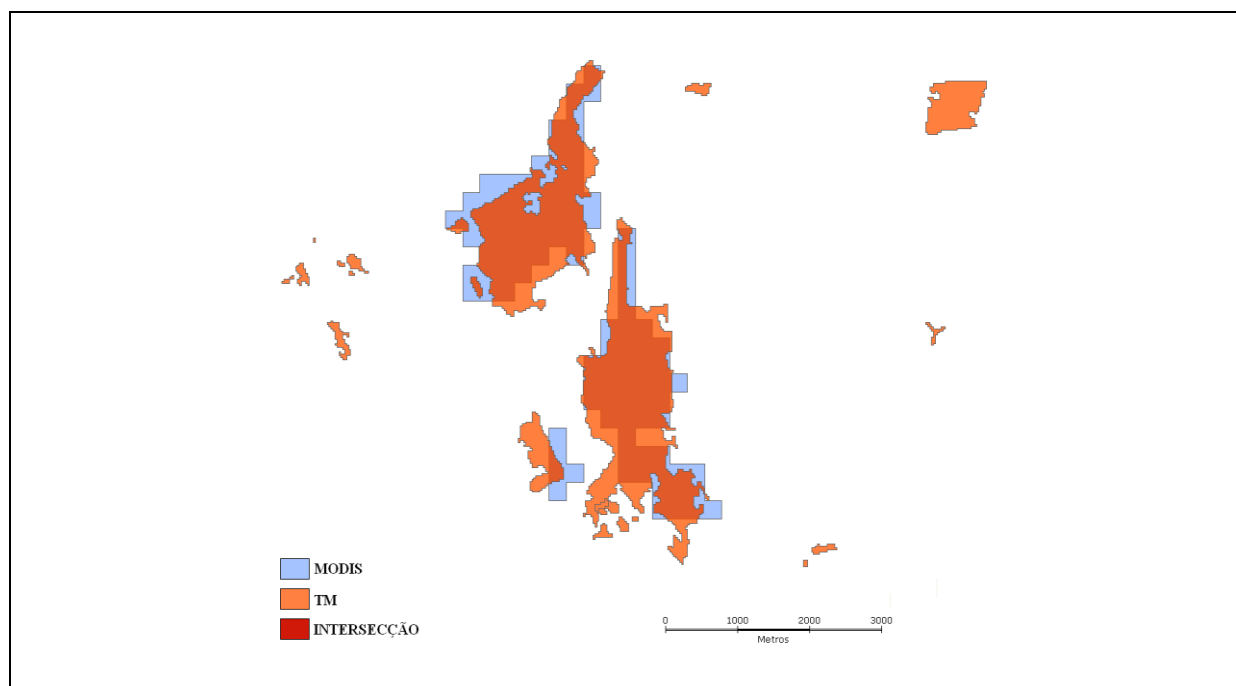


Figura 3. Detalhe do cruzamento entre polígonos de queimadas obtidos na imagem TM e na imagem MODIS para uma data (agosto).



A análise da similaridade fuzzy entre os pares de imagem TM/MODIS, assim como os resultados obtidos através dos cruzamentos, revelou melhores resultados para as imagens de setembro. Para as janelas utilizadas houve uma estabilização na similaridade fuzzy calculada a partir de janelas de 7x7 para os dois grupos de imagem (agosto e setembro), com obtenção de valores acima de 0,4 e acima de 0,6, respectivamente, considerados satisfatórios (Figura 4).

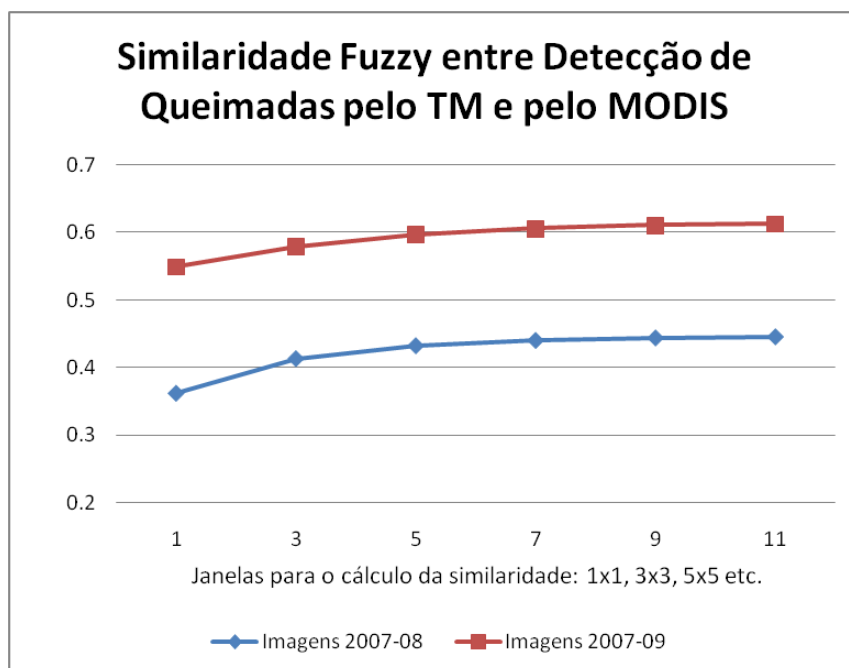


Figura 4. Resultados da similaridade fuzzy entre os mapas de cicatrizes de queimadas obtidos dos conjuntos de imagens TM/MODIS de agosto de 2007 (2007-08) e de setembro de 2007 (2007-09); no eixo Y valores de similaridade; no eixo X as janelas utilizadas (1x1, 3x3, 5x5 etc.).

#### 4. Conclusões

A análise das cicatrizes de queimada observadas nas imagens MODIS (MOD09) e TM mostrou que as mesmas apresentaram similaridade satisfatória, principalmente para as imagens de setembro, indicando que as imagens MODIS podem ser utilizadas para extração deste tipo de feição, ainda que sua resolução espacial (250m) seja inferior quando comparada à resolução espacial das imagens do TM.

Os resultados foram diferenciados em relação aos pares de imagens empregados, com maior eficiência de detecção no par de imagens de setembro, cujo padrão de ocupação é de maiores propriedades, com menor efeito de fragmentação da paisagem.

Para trabalhos futuros, sugere-se a inserção da componente multi-temporal visando melhorar ainda mais a detecção de cicatrizes de queimadas através de imagens MODIS.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao INPE e às respectivas fontes de financiamento de pesquisa e bolsas de estudo de pós-graduação: Embrapa, CNPq e Capes. Agradecem ainda à colaboração do Dr. Camilo Daleles Rennó, Dr. Lauro Haro e Dra. Cláudia Maria Almeida pelas valiosas contribuições.

## Referências Bibliográficas

- ARAI, E. **Convgeotiff**. Software para conversão de HDF 16 bits para 8 bits. 2003.
- ANDERSON, L.O.; ARAGÃO, L.E.O.C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no Estado do Mato Grosso, Amazonia brasileira. **Acta Amazonica**, v.35, n.4, p.445-456, 2005.
- BARLOW, J.; PERES, C.A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Phil. Trans. R. Soc. B*. v.363, p.1787–1794. Published online 11 February 2008. 2008.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 193p.
- COUTINHO, L.M. **Fire in the ecology of the Brazilian cerrado**. In: Goldammer, J.G., Ed. Fire in the tropical biota. New York, Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp. 1996. 568 p.
- DETER-INPE. **Sistema DETER**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/>>. Acessado em 10.06.2008.
- EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/clima.htm>>, Acessado em agosto de 2008.
- EOS. **Earth Observing System Data Gateway**. Disponível em: <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>. Acessada em mar.-jun., 2008.
- FEMA-MT (Fundação Estadual do Meio Ambiente). Sistema de detecção de focos de calor. Cuiabá., 2003. Relatório Anual. 23p.
- HAGEN, A.. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*, v.17, n.3, 2003. p. 235–249.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores Agropecuários**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=498](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=498)>acessado em agosto de 2008.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite - PRODES**. Seminário de avaliação. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/seminario2005/>>(Acessado em Agosto de 2008).
- INPE-DPI. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING**. Versão 4.3.3, 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acessado em 05.04.2008.
- PROARCO. <<http://www.inpe.br/proarco>>. Acessado em agosto de 2008.
- 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.16-20, 1991.
- SOARES-FILHO, B.T; RODRIGUES, H.O.; CERQUEIRA, G.C.; COSTA, W.L.S.; ARAÚJO, W.L.; OLIVEIRA, L.B.R. **Software Dinamica-EGO**: Environment for Geoprocessing Objects. CSR/UFMG. Versão 1.2.1. 2005.1