

DETECÇÃO DE CICATRIZES DE FOGO EM ÁREA DE FLORESTAS EM RORAIMA UTILIZANDO IMAGENS DO SENSOR MODIS

DETECTION OF FIRE SCARS IN FOREST AREAS IN RORAIMA USING IMAGES OF SENSOR MODIS

Haron Abraham Magalhães Xaud¹⁻², João Roberto dos Santos², Egídio Arai²,
Maristela Ramalho Xaud¹⁻²

¹ Embrapa Roraima, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, BR-174, km 08, Distrito Industrial, 69301-970 - Boa Vista-RR, Brasil; ² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 - São José dos Campos-SP, Brasil.
e-mail: ¹⁻² haron@cpafrr.embrapa.br; haron@dsr.inpe.br; ¹⁻² maris@cpafrr.embrapa.br; mramalho@dsr.inpe.br; ² jroberto@dsr.inpe.br; ² egidio@dsr.inpe.br

RESUMO

Em 1998 um forte incêndio atingiu uma vasta área de florestas em Roraima, alarmando a comunidade científica nacional e internacional. Cinco anos mais tarde, outro incêndio florestal de largas proporções acometeu novamente o Estado. À medida que existe a necessidade de execução de acompanhamento destes eventos extremos de alto impacto ambiental ao longo do tempo, o presente artigo visou avaliar imagens do sensor MODIS para a execução de monitoramento das florestas queimadas nesta região. As imagens foram provenientes dos produtos MOD-13, correspondendo a mosaicos de 16 dias das bandas do visível, do infra-vermelho e de índices de vegetação (NDVI e EVI); as imagens diárias do produto MOD-09, foram relativas às bandas de reflectância do vermelho (R) e do infra-vermelho próximo (NIR). Aplicando-se técnicas de processamento digital de imagens foram geradas novas bandas e testadas classificações supervisionadas, baseadas no algoritmo MAXVER. Os resultados das classificações apresentaram desempenho geral acima de 88% à exceção da classificação obtida através da razão de bandas (NIR/R) do MOD-09 (65,5%). Os índices de vegetação NDVI e EVI em mosaicos 16 dias, bem como as imagens diárias do MOD-09 mostraram-se viáveis na detecção de cicatrizes de florestas queimadas na área de estudo.

Palavras-chaves: Sensoriamento Remoto, MODIS, índices de vegetação, incêndios, Roraima.

ABSTRACT

In 1998 a strong fire burned a wide area covered by natural forests in the State of Roraima, in the Amazon Region. In 2003, new fires took place in the same area, indicating that there's something different happening there. For the first and biggest fire, there were many reports and papers about it; for the second one, there is a gap in the evaluation of environmental impacts in these forests. This is the context for this paper, where MODIS images were evaluated to detect fire scars in forests of Roraima. MOD-13 (16-day mosaic) and MOD-09 (daily) images, in visible and infra-red reflectance bands, were investigated. Digital image processing was applied to original bands to generate new bands, such as NDVI (daily) and NIR/R band ratio. These single bands and vegetation indexes are used in the Maximum Likelihood Classifier to generate thematic images. The results showed all bands were useful to generate classification above 88% of performance. There was only one exception: the NIR/R band ratio achieved only 65.5% of performance.

Key words: Remote Sensing, MODIS, vegetation indices, fires, State of Roraima.

INTRODUÇÃO

Em 1998, ano em que ocorreu um dos mais fortes fenômenos El Niño do último século (DESSAY et al., 2004), registrou-se um incidente ambiental sem precedentes na Amazônia que ficou conhecido como o Incêndio (ou Mega-incêndio) de Roraima. A área florestal estimada como afetada pelos incêndios de Roraima no ano 1998 foi de cerca de 11,6 mil km² (SHIMABUKURO et al., 1999) a 13,1 mil km² (BARBOSA, 1998), variando conforme a metodologia empregada em cada trabalho. O incêndio, suas

causas, conseqüências, interações com outros problemas socioambientais como, por exemplo, o desmatamento, foram objeto de análise direta ou indireta em diversas outras publicações como IBAMA (1998), BARBOSA e FEARNSTIDE (2000), SHIMABUKURO et al. (2000), XAUD e XAUD (2006).

Incêndios de menor porte que aconteceram em anos posteriores a 1998 não encontraram a mesma repercussão na mídia, nem foram objetos de avaliação detalhada de área queimada e de outros impactos às florestas em Roraima. Em 2003 quando houve novo evento de El Niño, parte da área voltou a ser afetada por fogo rasteiro. As informações sobre a área atingida neste último evento de fogo foram fornecidos por BARBOSA et al. (2004), que a estimaram entre 2.000 a 2.500 km², a partir de metodologia baseada na velocidade de propagação do fogo (0.95 ± 0.46 km por dia), extensão das frentes de incêndio e tempo de permanência dos incêndios, com avaliações auxiliadas por sobrevôo na região, na principal região atingida. Em outro trabalho, BARBOSA (2004), cita que o impacto estaria entre 3.000 e 4.200 km² de áreas florestais reimpactadas pelo incêndio, reconhecendo que se tratava de uma estimativa inicial.

Florestas nativas atingidas por incêndios tendem a ficar cada vez mais susceptíveis a novos incêndios devido a uma maior abertura do dossel permitindo entrada de luz, aumento de temperatura e correntes de vento e abaixamento da umidade do sistema afetado. Há concordância de que a repetição de queimadas pode ter um impacto irreversível na biodiversidade e estrutura florestal, principalmente na repetição de ciclos ao longo do tempo (IBAMA, 1998; BARBOSA et al., 2004; BARLOW e PERES, 2008; DETER-INPE, 2008). A depauperação de recursos florestais por incêndios tende a gerar escassez de matéria prima florestal madeireira e não madeireira, a diminuir a biodiversidade e densidade vegetal e animal, podendo aumentar os riscos de erosão e escorregamento de encosta, secar nascentes e abaixar o nível do lençol freático na região.

Não há dúvidas de que é necessário avaliar adequadamente o impacto do fogo nas áreas de florestas naturais na Amazônia. Porém, a região tem reconhecido problema de alta incidência de nuvens que dificultam a utilização de dados ópticos de sensoriamento remoto nestas avaliações, principalmente quando estes apresentam média a alta resolução espacial, mas insuficiente resolução temporal como nos casos do SPOT-HRV (10-20 m; 26 dias) e do Landsat-TM/ETM+ (30-15m; 16 dias).

De outro lado, o desenvolvimento e implementação de Programas de Observação da Terra com o emprego de sensores ópticos de alta resolução temporal (1 a 2 dias) e média resolução espacial (250 m) passa a indicar uma positiva instrumentação para o monitoramento da cobertura vegetal, como no caso do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo dos satélites TERRA e AQUA. Nesta linha, diversos trabalhos sobre monitoramento da vegetação a partir de imagens do sensor MODIS vêm sendo realizados. Como exemplos de aplicações no Brasil podem ser citados: RUDORFF et al. (2007), DETER-INPE (2008) e PROARCO (2008).

O sensor MODIS engloba diversos avanços tecnológicos na área do sensoriamento remoto; entre suas qualidades pode-se citar: i) características de sensor multiespectral, com 36 bandas de alta resolução radiométrica, ii) velocidade de revisita a alvos (1-2 dias), iii) calibração de imagens a partir de parâmetros obtidos concomitantemente por outros sensores a bordo dos satélites, iv) coerência geométrica, v) disponibilidade de diversos produtos aplicados (44 no total) tais como índices de vegetação, temperatura de superfície da terra, índices de área foliar, detecção de fogo, detecção de mudanças na cobertura vegetal, temperatura de oceanos etc. Tais produtos têm sido desenvolvidos através da aplicação de algoritmos e rotinas de processamento já validados ou em permanente regime de validação e aprimoramento pela comunidade científica.

O presente trabalho se baseia na hipótese de que se estes produtos de índices de vegetação (MOD-13) e reflectância de superfície (MOD-09) vêm sendo utilizados com relativo sucesso para caracterização de cobertura vegetal em diversas regiões do planeta, provavelmente poderão ser utilizados para detecção de cicatrizes de fogo em florestas, uma vez que os impactos de incêndios florestais são geralmente traduzidos em mortalidade da vegetação lenhosa, aumento da perda de folhas, alteração nos padrões fenológicos, aumento da exposição direta do solo pela queima do material rasteiro e da abertura do dossel, entre outras conseqüências.

Com base neste contexto, o objetivo desta pesquisa se traduz em avaliar a potencialidade de imagens de sensoriamento remoto geradas pelo sensor MODIS, mais especificamente os produtos nominais MOD-09 e

MOD-13, no monitoramento de vegetação em áreas com ocorrência de incêndios florestais de grandes proporções em Roraima.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo:

Foi escolhido o município de Mucajaí em Roraima como área de estudo para a detecção de cicatrizes do fogo em áreas florestais a partir de dados do sensor MODIS (da plataforma Terra). O Município apresenta como características: cobertura vegetal predominantemente de florestas; uma das maiores concentrações de população rural do Estado; problema crescente de desmatamento e incêndios florestais (BARBOSA, 2004; XAUD e XAUD, 2006). O clima de boa parte da região tem uma estação seca muito pronunciada de 4-6 meses. O relevo varia de ondulado a fortemente ondulado. Os solos em sua maioria estão representados por Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos de fertilidade baixa a média, com algumas manchas de solos de fertilidade um pouco mais alta. Há afloramentos rochosos e solos rasos, principalmente em áreas de acentuada declividade (EMBRAPA, 1982).

Imagens de sensoriamento remoto utilizadas:

Este trabalho tomou dois produtos do MODIS utilizados em estudos de vegetação, o produto MOD-13 dos índices de vegetação e o produto MOD-09 (reflectância de superfície), já com as correções da coleção 5. As imagens MOD-13 foram obtidas nas seguintes especificações: mosaico de 16 dias; imagens-reflectância nos comprimentos de onda R (vermelho) e NIR (infra-vermelho próximo) na resolução de 250m; demais imagens-reflectância B (azul) e MIR (infra-vermelho médio), na resolução de 500m interpoladas para 250m; imagens índices de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index) em 250m. As imagens MOD-09 foram obtidas como imagens diárias na resolução de 250m, composta pelas bandas de reflectância R (vermelho) e NIR (infra-vermelho próximo) (EOS, 2008). As imagens disponíveis do produto MOD-13 iniciam no ano 2000 (fevereiro), em mosaicos gerados a cada 16 dias com a finalidade de diminuir a ocorrência de nuvens e outros fatores de não imageamento: ângulo de visada fora do Nadir, faixas não imageadas, ocorrência de ruídos etc. As imagens foram selecionadas para alguma data dentro do período de alta concentração de focos de calor para Roraima: janeiro, fevereiro, março e abril (Fig.01).

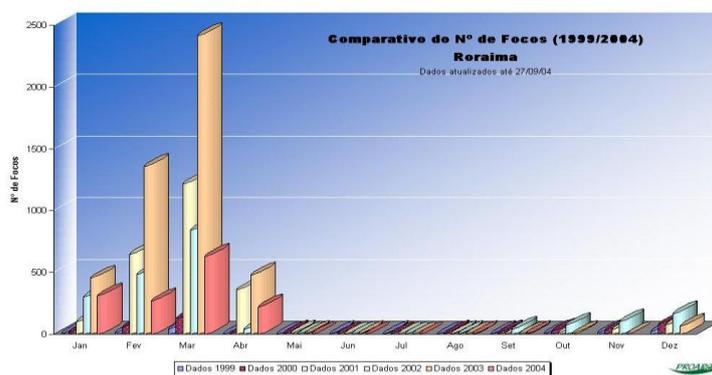


Figura 1. Distribuição de focos de calor para Roraima (1999-2004). Fonte: PROARCO, 2008.

Figure 1. Distribution of hot-spots for State of Roraima (1999-2004). Source: PROARCO, 2008.

O primeiro mosaico MOD-13 disponível para a região é do dia juliano 049 e derivado do imageamento compreendido entre os dias 034-049 de 2000. Todos os mosaicos disponíveis dentro do período seco de interesse (001-120 dias) foram gravados da página de distribuição de dados MODIS (EOS, 2008), totalizando 45 mosaicos. Utilizando-se o software ENVI 4.5 (Environment for Visualizing Images), que permite a abertura das imagens no formato original (HDF - Hierarchical Datafile Format, 16 bits), foi realizada a seleção de datas com a menor cobertura de nuvens e melhor qualidade quanto à geometria e à ocorrência de ruídos. Este procedimento foi baseado na análise visual das 45 imagens.

Partiu-se do princípio de que os indícios de eventuais incêndios florestais ocorridos entre os anos 2000 e 2005, quando houvesse, poderiam ser observados nestas imagens. Para aqueles anos em que fossem verificados incêndios, seriam priorizadas imagens para o mês de abril, visando a detecção de cicatrizes ao final do período de incêndios. Assim, foram selecionadas seis datas, uma para cada período seco de cada ano: 049 (2000), 017 (2001), 001 (2002), 097 (2003), 017 (2004) e 049 (2005).

Uma vez que a quantidade de imagens para serem vistoriadas do produto MOD-09 era muito maior (120 imagens por ano, à exceção do primeiro ano com apenas 65 imagens), utilizou-se outra forma de seleção das melhores datas do MOD-09. A vistoria foi então realizada em página da Internet a partir de “quicklooks” disponíveis na documentação de dados e metadados do MODIS (NASA, 2008). Buscou-se a seleção da melhor imagem quanto à baixa incidência de nuvens e à boa qualidade geométrica, para o período seco de cada ano, de 001 a 120 dias no calendário juliano. Na seleção das imagens diárias houve uma facilidade: a área de estudo está integralmente contida no “Tile” h11v08 da grade de referência do MODIS, citado como “golden tile” (NASA, 2008), contando com acesso e visualização facilitados. As datas diárias selecionadas para o produto MOD-09 foram: 057 (2000), 029 (2001), 002 (2002), 099 (2003), 026 (2004) e 049 (2005).

Pré-processamento de imagens:

Após a aquisição (“download”), visualização (ENVI) e confirmação das datas a serem utilizadas no trabalho, foi realizado o pré-processamento de todas as imagens utilizando-se os programas MRT (Modis Reprojection Tool) e o ConvGeotiff (ARAI, 2003). O MRT permitiu que as imagens originalmente em formato HDF fossem convertidas para o formato GEOTIFF e associadas a uma projeção cartográfica (Geográfica) e a um Datum (WGS84). Já o ConvGeotiff (ARAI, 2003) permitiu que a imagem fosse convertida de 16 para 8 bits. Segundo ARAI et al. (2005) a conversão não afeta o desempenho de processamentos digitais posteriores, havendo uma alta correlação entre o dado original de 16 bits (com quantização de 12 bits, 4096 níveis digitais) e a imagem de 8 bits obtida (256 nd.). Seqüencialmente foi criado um banco de dados georreferenciados no SPRING (INPE-DPI, 2007) e as imagens em formato GEOTIFF de 8 bits foram importadas e mosaicadas (recortadas) para um projeto de área retangular (“box”) correspondente ao município de Mucajaí, com coordenadas geográficas aproximadas: O 60°48’28” a O 63°07’49” e N 02°05’14” a N 03°00’32”.

Processamento Digital das Imagens (PDI):

O PDI foi realizado no SPRING, versão 4.3.3 (INPE-DPI, 2007) tendo sido aplicados: a) aumento linear de contraste com manipulação do histograma; b) geração de NDVI a partir de imagens diárias do MOD-09; c) geração de imagens de razão simples entre bandas (NIR/R); d) classificação supervisionada MAXVER (95%); e e) pós-classificação. Para o treinamento de amostras na classificação supervisionada, utilizou-se uma máscara de polígonos retangulares, repetida para cada grupo de imagens. Para a coleta de dados NDVI nas diferentes imagens e datas, também foi utilizada a mesma máscara de polígonos. As classes de mapeamento foram: Floresta 1 – Não Queimadas, Savanas, Florestas 2- Não Queimadas e Florestas queimadas. A diferenciação em relação às classes de florestas 1 e 2, foi baseada nas distâncias diferenciadas destas aos setores mais antropizados.

Dados auxiliares:

Foram importados para o SPRING, dados geográficos auxiliares para a geração de produtos e consultas após o processamento de imagens. Os dados auxiliares foram: limite estadual, limite municipal (IBGE), e mapa temático do DETER (classes: hidrografia e áreas desflorestadas) para o ano de 2003-2004. Como dados auxiliares também foram consultados dados de ocorrência mensal de focos de calor nos mesmos meses de seleção das imagens: janeiro a abril de 2000 a 2005.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção de Imagens:

Na seleção de imagens do sensor MODIS através das ferramentas de consulta na Internet (EOS, 2008), verifica-se que em alguns momentos são apresentados os índices de vegetação, produtos dos mosaicos de 16 dias, mostrando uma incidência desprezível de nuvens. Isto pode gerar uma falsa impressão, de que a imagem está completamente limpa de nuvens e totalmente corrigida em relação aos índices de vegetação

apresentados, o que não é correto. Na Fig. 2a é mostrada uma imagem utilizada na seleção; a Fig. 2b demonstra a existência de nuvens na mesma data.

Apesar de existirem inúmeros focos de calor registrados pelo sistema PROARCO de detecção de queimadas, no período seco (janeiro a abril), entre anos observados de 2000 a 2005, as queimadas só saíram do controle e se tornaram incêndios florestais no ano de 2003 (BARBOSA et al., 2004; SILVA, 2006; XAUD et al. 2007).



Figura 2 - 2a) Imagem sem nuvens NDVI-MOD-13; 2b) ampliação em composição RGB (B, NIR, R), com círculos mostrando nuvens e outros tipos de ruídos.

Figure 2 - 2a) NDVI-MOD-13 image free of clouds; 2b) enlargement of false color composite RGB (B, NIR, R); the red lines indicate clouds and noises in image.

A seleção de imagens do produto MOD-09, utilizando “quicklooks” disponíveis para o “Tile” de interesse h11v08 (NASA, 2008) foi mais informativo em relação à incidência de nuvens para cada data. A seleção se baseou não apenas na imagem RGB disponível para o MOD-09 (Fig. 3^a), mas também no produto MODIS que diz respeito à emissividade e temperatura (MOD-11). Foi observada correlação entre áreas com incidência de nuvens no MOD-09 e áreas na categoria “ausência de dados” (Fig. 3b) no MOD-11. A observação conjunta destes produtos facilitou a seleção de datas para obtenção das imagens MOD-09.



Figura 3 - 3a) Composição colorida do produto MOD-09, mostrando baixa ocorrência de nuvens na região de interesse, canto inferior direito (Sudeste); 3b) a parte cinza da imagem MOD-11 indica áreas não computadas na estimativa de temperatura, indicando áreas com nuvens ou sem imageamento.

Figure 3 - 3a) False-color composition – MOD-09, showing low cloud occurrence in chosen area at right corner (SE); 3b) the gray color in thematic map MOD-11, indicates areas not measured to estimate temperature and emissivity - caused by cloud or gaps on satellite orbit.

Processamento de imagens:

Era esperado que nos mosaicos de 16 dias, a reamostragem de pixels requerida para a diminuição de pixels com presença de nuvens nos índices de vegetação NDVI e EVI não causasse discrepância entre a resposta de pixels vizinhos, uma vez que existe o efeito benéfico desta técnica de PDI para a diminuição das diferenças de iluminação e visada (RUDORFF et al., 2007). Porém, devido provavelmente ao algoritmo para a detecção de nuvens na geração dos produtos MOD-13, observou-se que mesmo para as imagens NDVI e EVI existem fortes variações entre a resposta espectral de pixels vizinhos para alvos homogêneos (Fig. 4).

Ao se testar o desempenho da classificação supervisionada MAXVER, com limiar de 95% de probabilidade sobre as bandas ou grupos de bandas nas imagens do período seco de 2003, foram obtidos os resultados constantes na Tabela 1. Deve ser ressaltado que este foi o único período onde a análise preliminar das

imagens permitiu a identificação de cicatrizes de incêndio. De uma forma geral, as classificações obtidas a partir de produtos diários do MOD-09 alcançaram o melhor desempenho geral (acima de 90%); apenas a razão de bandas obtidas do MOD-09 (NIR e R) não atingiu resultado satisfatório (65,5%), quando comparada às demais classificações.

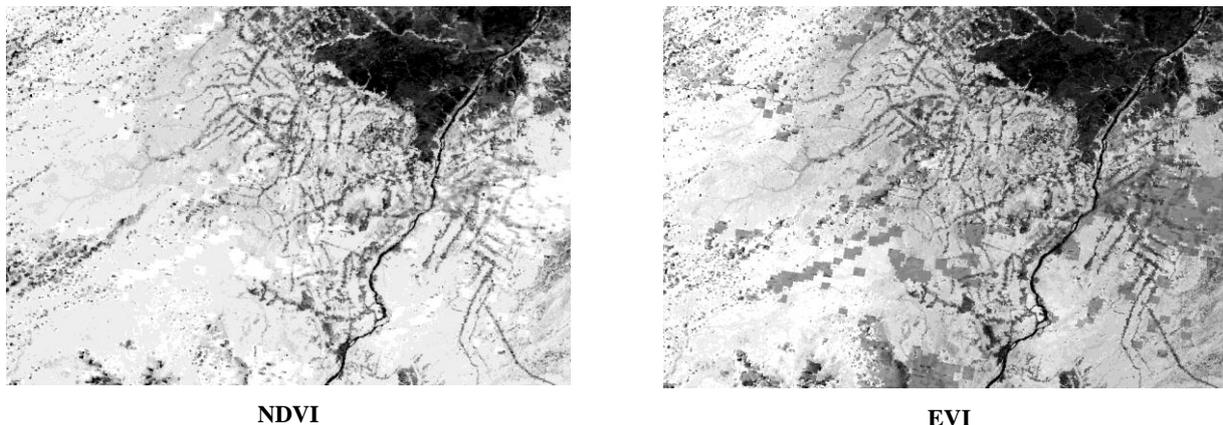


Figura 4: Exemplo de Mosaicos NDVI e EVI que apresentam ruídos, provavelmente devido a nuvens nas imagens originais.

Figure 4: Example of NDVI and EVI mosaic that present noise probably caused by cloud on basic images.

Os desempenhos obtidos das classificações a partir de produtos do MOD-13 (EVI, NDVI e bandas R, NIR e MIR) foram mais baixos, mas mantiveram-se acima de 88%, indicando que poderiam ser utilizados caso houvesse dificuldades em se obter e selecionar imagens diárias de boa qualidade (Tab.1). Para casos em que a resposta espectral da vegetação queimada se modifique rapidamente, diminuindo as diferenças entre as áreas queimadas e não queimadas, os ruídos originados do processo de geração dos mosaicos podem ser mais impeditivos na obtenção de bons resultados por classificação de imagens.

Tabela 1 – Desempenho da classificação supervisionada (MAXVER) para diferentes combinações de bandas, na detecção de cicatrizes de fogo na região de Mucajaí-RR-Brasil, em ordem decrescente de desempenho.

Table 1 – Performance of image classifier (MAXVER) in different band combinations to detection of fire scars in Mucajaí Region- RR-Brazil; exposure in decreasing order.

Bandas utilizadas na classificação supervisionada	Desempenho geral	Confusão média	Abstenção média
2 bandas: R e NIR - MOD-09	92.40 %	5.11 %	2.49 %
NDVI-MOD-09	91.18 %	6.96 %	1.86 %
3 bandas: R, NIR e MIR - MOD-13	89.19 %	7.42 %	3.39 %
EVI-MOD-13	88.55 %	10.63 %	0.82 %
NDVI-MOD-13	88.13 %	11.12 %	0.75 %
Razão de bandas MOD-09 (NIR/R)	65.51 %	34.00 %	0.49 %

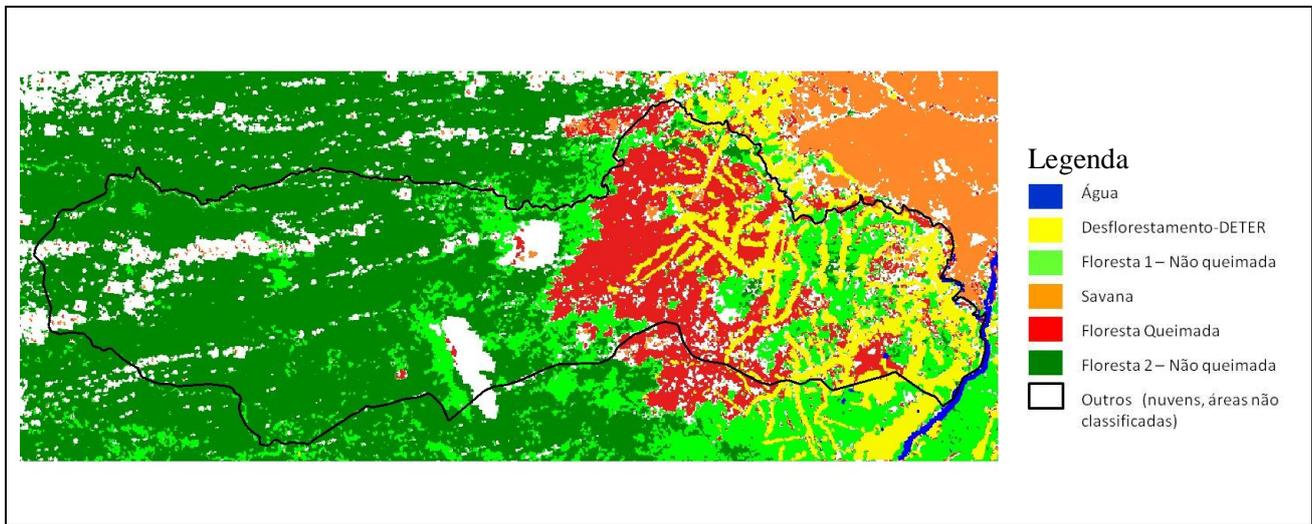


Figura 5. Imagem classificada mostrando as áreas de florestas queimadas no município de Mucajaí-RR-Brazil, abril de 2003. Dados de desflorestamento foram obtidos do DETER.

Figure 5. Thematic image showing burnt areas of forests (in red) in the Mucajaí-RR-Brazil, April, 2003.

Devido à resolução espacial média do sensor MODIS de 250 m, optou-se por não se fazer o cálculo das áreas atingidas pelos incêndios de 2003 em Roraima. À medida que sejam acessados outros dados e imagens que possam balizar a validação de tais estimativas, tal procedimento será realizado.

Quanto aos resultados derivados das análises das imagens NDVI e EVI do MOD-13 e NDVI-MOD-09 gerada a partir das bandas do produto MOD-09, dentro do período de observação de 2000 a 2005, observa-se o que o comportamento para áreas de florestas atingidas pelos incêndios volta a se normalizar quase a partir do ano seguinte. Do ponto de vista de detecção de anomalias na vegetação causadas por incêndios, isto indica que a resposta espectral se recupera muito mais rapidamente que a estrutura e biodiversidade florestal.

O EVI apresentou um comportamento esperado com valores mais reduzidos em relação ao NDVI, uma vez que foi desenvolvido para não saturar tão rapidamente quanto o segundo. O NDVI calculado também apresentou valores conforme o esperado com uma seqüência mais baixa que o NDVI do MOD-13. Este último, devido ao algoritmo de confecção dos mosaicos 16 dias, amostra sempre o pixel de maior valor de NDVI para compor os mosaicos, favorecendo a um acréscimo de todos os valores de NDVI na imagem-mosaico final.

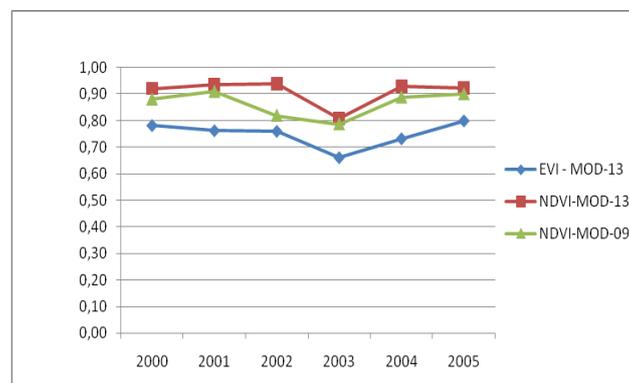


Figura 6 - Valores de NDVI e EVI (MOD-13) de área de floresta queimada em 2003, em Roraima-Brazil.

Figure 6 - Values of NDVI and EVI (MOD-13) for forest areas burnt in 2003, in Roraima-Brazil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das seis imagens ou grupos de imagens do sensor MODIS avaliados neste trabalho, cinco indicaram que poderão ser utilizados para detecção de cicatrizes de fogo, conforme a metodologia apresentada. Uma vez que as respostas espectrais indicadas pela variação temporal dos NDVI e EVI consistem num indicativo de como estas cicatrizes poderão ser visualizadas e detectadas, podendo-se adequar a continuidade dos estudos à

busca de análises multitemporais mais refinadas através dos resultados aqui obtidos, talvez integrando datas de imagens num outro período do ano, por exemplo, de setembro a novembro após a época das chuvas.

Frente ao satisfatório desempenho dos mosaicos MOD-13 e à maior dificuldade na obtenção de imagens diárias do MOD-09, recomenda-se a investigação de metodologias e/ou rotinas de pré-processamento capazes de melhorar a qualidade destes mosaicos, no sentido de diminuir os resíduos ou ruídos provocados pelos atuais algoritmos.

Tais resultados realçam a importância da utilização de sensores de alta resolução temporal para o monitoramento da vegetação na Amazônia, onde as altas temperaturas e umidade fazem com que os processos fisiológicos de regeneração e crescimento sejam extremamente rápidos, podendo facilmente mascarar cicatrizes ambientais para alguns sensores ópticos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Embrapa o apoio financeiro na concessão de bolsa de doutorado; ao INPE pela infraestrutura e softwares cedidos; ao colega André Lima pelas discussões no tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, E. *Convgeotiff*. Software para conversão de HDF 16 bits para 8 bits. 2003.
- ARAI, E. et al. Análise Radiométrica de Imagens MOD09 em 16bits e 8bits. *Anais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.3983-3990.
- BARBOSA, R.I. *Avaliação da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida pelo fogo no Estado de Roraima* (01.12.97 a 30.04.98). INPA/NPRR: Boa Vista, 1998. 21p.
- BARBOSA, R.I. et al. Cinzas na Amazônia: incêndios florestais reencontram Roraima. *Ciência Hoje*. v.35, n.207, p.22-27, 2004.
- BARBOSA, R.I. Incêndios Florestais em Roraima, Norte da Amazônia Brasileira. *Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal / 1º Encontro de Engenharia Florestal da Região Norte* (22 a 26.06.2004) / Políticas Públicas, Científicas e Perspectivas Tecnológicas. Manaus. 2004. p.309
- BARBOSA, R.I.; FEARNSTIDE, P.M. As lições do fogo. *Ciência Hoje*, v.27, n.157, p.35-39, 2000.
- 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.
- DESSAY et al. Comparative study of the 1982-1983 and 1997-1998 El Nio events over different types of vegetation in South America. *International Journal of Remote Sensing*, v.25, n.20, p.4063 – 4077, 2004.
- DETER-INPE. Sistema DETER. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/>>. Acessado em 10.06.2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. *Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Projeto de Colonização Apiaú - Território Federal de Roraima*. Boletim de Pesquisa 14, Rio de Janeiro, 1982.
- EOS. Earth Observing System Data Gateway. Disponível em: <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>. Acessada em mar.-jun., 2008.
- IBAMA. *Avaliação rápida dos impactos ambientais dos incêndios sobre as florestas no Estado de Roraima*. Versão revisada, setembro, 1998.
- 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.
- NASA. MODIS Land Golden Tile Browse Images. Disponível em <<http://landweb.nascom.nasa.gov/cgi-bin/goldt/goldtBrowse.cgi>>. Acessada em maio-jun. 2008.
- PROARCO. Página do PROARCO. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>>. Acessado em 15.04.2008.
- RUDORFF, B.F.T. et al. *O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil*. São José dos Campos: A. Silva Silvair, 2007. 428p.

SILVA, G.F.N. *Processamento de imagens digitais e análise espacial para o estudo da susceptibilidade a incêndios florestais nas regiões do Apiaú e Ribeiro Campos – RR*. Dissertação de Mestrado. Boa Vista: UFRR. 2006. 94p.

XAUD, M.R. et al. Dinâmica de focos de calor e parâmetros meteorológicos observados em ecossistemas florestais de contato em Roraima. In: *Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007*, Aracaju. XV CBA - Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007.

XAUD, M.R.; XAUD, H.A.M. 2006. *Desmatamento no Estado de Roraima*. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2006.