

Dados do sensor MODIS para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra

Yosio E. Shimabukuro
Bernardo F.T. Rudorff

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto
Av. dos Astronautas 1758 – Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil
{yosio, bernardo} @ dsr.inpe.br

Resumo. Este trabalho apresenta o uso das imagens do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo dos satélites Terra e Aqua do Programa EOS (Earth Observing System), para o mapeamento e o monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra. O sensor MODIS possui 36 bandas espectrais, distribuídas no intervalo de 405 nm a 14400 nm, desenvolvidas para a observação da atmosfera, oceano e terra. As sete primeiras bandas, direcionadas para as aplicações terrestres, possuem resolução espacial de 250 m (para os canais do vermelho e infravermelho próximo) e 500 m (para as bandas do azul, verde e infravermelho médio). Os dados deste sensor são de alta qualidade geométrica, resolução espacial moderada, e alta resolução temporal (diária), características essenciais para mapear e monitorar a cobertura vegetal e as mudanças no uso da terra. O MODIS disponibiliza ainda diversos produtos tais como: índice de vegetação, LAI, etc. e as bandas originais que foram utilizadas para a geração destes produtos, permitindo aos usuários gerarem os seus próprios produtos. Neste trabalho, são apresentados alguns trabalhos que utilizam as imagens MODIS diárias (produto MOD09, reflectância de superfície) e mosaicos do produto MOD13. Como exemplo de mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra são apresentadas as técnicas que utilizam o algoritmo de segmentação das imagens fração por crescimento de regiões, classificação não-supervisionada, e edição matricial da classificação. A metodologia apresentada está sendo utilizada pelo Projeto DETER (Detecção de áreas desflorestadas em tempo real) para auxiliar as atividades de fiscalização do governo. Portanto, a disponibilidade dos dados MODIS adquiridos pelos satélites Terra e Aqua e a funcionalidade das técnicas utilizadas mostram a utilidade da metodologia proposta de mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e mudanças no uso da terra.

Palavras-chaves: cobertura vegetal, áreas desflorestadas, áreas queimadas, uso da terra, imagens fração, modelo linear de mistura espectral.

Abstract. This work presents the use of images from the MODIS sensor (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), on board of Terra and Aqua satellites from the EOS (Earth Observing System) Program, to map and monitor vegetation cover and land use. The MODIS sensor has 36 spectral bands that range from 405 nm to 14,400 nm which were developed for atmosphere, ocean and land observations. The first seven bands are directed for land applications with a spatial resolution of 250 m (red and near infrared bands) and 500 m (blue, green and mid infrared bands). Data from this sensor have high geometric quality, medium spatial resolution, and high temporal resolution (daily) which are essential characteristics to map and monitor vegetation cover and land use changes. There are also several MODIS products available such as: vegetation indices, leaf area index, etc. and also the original bands used to generate these products, allowing the user to generate their own products. In this article there are presented some works that used daily MODIS images (MOD09 product, surface reflectance) and mosaics of the MOD13 product. As an example of vegetation cover and land use mapping the techniques that use segmentation algorithm through growing regions of fraction images, non-supervised classification, and image edition of classification are presented. The presented methodology is being used by the DETER (real time of deforestation detection) Project to support government monitoring activities. Therefore, the availability of MODIS data from Terra and Aqua satellites and the functionality of the presented techniques show the usefulness of the proposed methodology to map and monitor vegetation cover and land use changes.

Key-words: vegetation cover, deforested areas, burned areas, land use, fraction images, linear spectral mixture model.

1. Introdução

O conhecimento da caracterização e a condição dos ecossistemas terrestres é um ponto inicial crítico para modelar e entender os processos de mudança global. Os sistemas sensores atuais e futuros, como: IRS-1C/WiFS (Indian Remote Sensing Satellite/Wide Field Sensors); RESURS-01/MSU-SK (Russian Remote Sensing Satellite/Wide Swath Scan); EOS/MODIS (Earth Observing System/Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer); SPOT/VEGETATION; ENVISAT/MERIS (Environmental Satellite, ESA/Medium-Resolution Imaging Spectrometer); CBERS/WFI (China-Brazil Earth Resources Satellite/Wide Field Imager) são capazes de adquirir observações globais com alta frequência temporal. Entretanto a abertura ampla de visada compromete as resoluções radiométrica, espectral, e, principalmente, espacial. Portanto estes dados podem ser não somente inadequados para detecção prévia de áreas onde estão ocorrendo mudanças rápidas em nível de subpixel, mas também imprecisos para variações tonais nos pixels de borda. O uso de modelo linear de mistura espectral para a estimativa de componentes dos pixels de imagens de resolução baixa e moderada tem sido proposto como uma solução parcial para a baixa resolução espacial desses dados (Cross et al., 1991; Quarmby et al., 1992; Holben and Shimabukuro, 1993; Shimabukuro et al., 1994).

O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia para mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra utilizando as imagens fração de vegetação, solo e sombra derivadas dos dados do sensor MODIS através da aplicação do modelo linear de mistura espectral.

2. O sensor MODIS

O satélite Terra foi lançado em dezembro de 1999, começando a coletar dados em fevereiro de 2000, com o horário de passagem às 10:30 h da manhã no equador, enquanto que o satélite Aqua foi lançado em maio de 2002, com o horário de passagem às 13:30 h. Dentre os sensores que estes satélites transportam, o principal deles, o sensor MODIS, foi projetado para atender os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra. Este sensor apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento

de diferentes necessidades de observação e para oferecer uma cobertura global quase diária (Justice et al., 2002). As especificações técnicas deste sensor estão apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Especificações técnicas do satélite Terra/sensor MODIS.

Órbita do satélite Terra	705 km, síncrona com o Sol, polar; 10:30 a.m descendente
Cobertura de repetição do satélite Terra	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Cobertura dos imageamentos do sensor MODIS	± 55°; 2.330 km (“scans” contínuos no nadir no equador)
Resolução espacial do sensor MODIS	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) no nadir
Precisão radiométrica do sensor MODIS	5% Absoluto, <3 µm; 1% Absoluto, >3 µm; 2% de reflectância
Alcance espectral do sensor MODIS	0,4 –14,4 µm
Quantização do sensor MODIS	12 bits
Taxa de Dados do satélite Terra	6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite)
Potência do satélite Terra	162,5 W (média para uma órbita), 168,5 W (pico)

Fonte: Adaptada de Justice et al. (2002).

As 36 bandas espectrais do MODIS estão localizadas em função de um dado comprimento de onda cuidadosamente escolhido para a observação de feições das propriedades das nuvens, da dinâmica e das propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e a temperatura da superfície dos oceanos no mundo. As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm e 2.155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1.360-1.390 nm), cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660 nm a 14.385 nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (Justice et al., 2002). As bandas desenvolvidas para o monitoramento da superfície terrestre têm uma herança do Landsat/TM e NOAA/AVHRR, com capacidades melhoradas tanto nos menores comprimentos de onda quanto no infravermelho. A faixa espectral de cada uma das bandas e suas aplicações para o monitoramento da superfície terrestre podem ser observadas na **Tabela 2**.

Tabela 2. Bandas espectrais do sensor MODIS para o estudo da superfície terrestre.

Uso preliminar	Bandas	Largura da banda (nm)
Terra/ Nuvens / Limites de aerossóis	1	620-670
	2	841-876
Terra/ Nuvens/ Propriedade de aerossóis	3	459-479
	4	545-565
	5	1.230-1.250
	6	1.628-1.652
	7	2.105-2.155

Fonte: Adaptada do website <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html>

As bandas do MODIS para o estudo da superfície terrestre possuem resolução espacial de 250 m (para os canais do vermelho e infravermelho próximo) e 500 m (para as bandas do azul, verde e infravermelho médio). Em relação à resolução temporal, o sensor MODIS possui um intervalo quase diário para a revisita de uma área, o que lhe confere uma grande capacidade para estudos de dinâmicas ecológicas tanto terrestres quanto oceânicas. O objetivo dos produtos gerados pelo sensor MODIS está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antropomórficos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais existentes (Strahler et al., 1999). Um resumo dos produtos gerados pelo MODIS (MODLAND) para o estudo dos ecossistemas terrestres pode ser verificado na **Tabela 3**.

Tabela 3. Produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS

Módulos	PRODUTOS
PRODUTOS RELACIONADOS AO BALANÇO DE ENERGIA	
MOD 09	Reflectância de superfície
MOD 11	Temperatura da superfície da Terra e Emissividade
MOD 43	BRDF/Albedo
MOD 10 E 29	Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar
PRODUTOS RELACIONADOS À VEGETAÇÃO	
MOD 13	Grades de índices de vegetação (Máximo NDVI e MVI integrado)
MOD 15	<i>Leaf Area Index</i> (LAI) e FPAR
MOD 17	Fotossíntese líquida e produtividade primária
PRODUTOS RELACIONADOS À COBERTURA TERRESTRE	
MOD 12	Cobertura da terra e mudança na cobertura da terra
MOD 14	Anomalias termais, fogo e queima de biomassa
MOD 44	Conversão da cobertura vegetal

Fonte: Adaptada de Justice et al. (2002a, p.4).

3. Metodologia

Primeiramente realiza-se uma etapa de pré-processamento para as cenas MODIS: os dados MODIS são adquiridos no formato HDF. Após a aquisição das imagens realiza-se a transformação para o formato Geotiff (programa MRT), e conversão de 16 para 8 bits no programa Convgeotiff (Arai, 2002). A etapa seguinte consiste na importação destes dados para um banco de dados no aplicativo SPRING (Câmara et al., 1996) correspondente à área

de estudo selecionada. A próxima etapa é aplicar o modelo linear de mistura espectral nas imagens diárias (MOD09, refletância de superfície) e ou mosaicos (MOD13) do MODIS. Os modelos podem ser gerados independentemente, e parte-se da hipótese de que é possível encontrar um pixel puro ou *endmember* nas imagens MODIS para ser utilizado como dado de entrada para o modelo. Em seguida são realizadas a segmentação das imagens fração, a classificação não supervisionada por região e a edição de imagens classificadas para a geração do mapa de cobertura vegetal da área de estudo.

3.1 Modelo linear de mistura espectral

O modelo linear de mistura espectral visa estimar a proporção dos componentes, tais como solo, vegetação e sombra, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do TM, gerando as imagens fração solo, vegetação e sombra (Shimabukuro e Smith, 1991). O modelo de mistura espectral pode ser escrito como:

$r_i = a \cdot \text{vegei} + b \cdot \text{soloi} + c \cdot \text{sombrai} + e_i$, onde r_i é a resposta do pixel na banda i ; a , b e c são as proporções de vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente; vegei , soloi e sombrai , são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente; e_i o erro na banda i e i indica a banda do MODIS.

Normalmente são utilizadas as bandas 1 (vermelho), 2 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho médio) do MODIS (produtos MOD09 e MOD13), formando um sistema de equações lineares que pode ser resolvido utilizando o método dos mínimos quadrados (Shimabukuro e Smith, 1991). Os “pixels” mais puros referentes aos componentes vegetação, solo e sombra são geralmente selecionados diretamente das imagens (“image endmembers”). As três bandas sintéticas geradas representam a proporção de vegetação, de solo e de sombra existente em cada pixel da imagem.

3.2 Segmentação e classificação de imagem digital

Segmentação de imagem

A segmentação de imagem é uma técnica de agrupamento de dados, na qual as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas. Inicialmente, o processo de segmentação rotula cada “pixel” como uma região distinta. Em seguida, é utilizado um critério de similaridade para cada par de regiões espacialmente adjacente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre regiões. Finalmente, a imagem é dividida em um conjunto de sub-imagens e então realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de similaridade. Para realizar a segmentação é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, limiar mínimo, abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região; e b) o limiar de área, valor de área mínima, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada.

Classificação e mapeamento

O classificador ISOSEG é um algoritmo disponível no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. É um algoritmo não-supervisionado de agrupamento de dados, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área. Na metodologia proposta é definido o classificador ISOSEG a ser aplicado sobre a imagem segmentada. Após a classificação, os temas gerados são associados às classes de cobertura vegetal e uso da terra previamente definidas no banco de dados formado para a área de estudo.

Edição de imagem

A edição matricial do aplicativo SPRING permite que o intérprete corrija alguns erros de classificação. As áreas de tipos de cobertura da terra mapeadas são então analisadas pelo intérprete utilizando como base as imagens RGB do MODIS referentes às datas utilizadas para assegurar a acurácia da classificação. Esta fase do trabalho é realizada com o objetivo de minimizar os erros de omissão e inclusão que são gerados por qualquer um dos classificadores digitais utilizados.

4. Exemplos de aplicações

4.1 Mapeamento da cobertura vegetal

A **Figura 1** apresenta a composição colorida (a) e as correspondentes imagens fração de vegetação (b), sombra (c) e solo (d) do estado de Mato Grosso derivadas da imagem MODIS/Terra obtida em agosto de 2002.

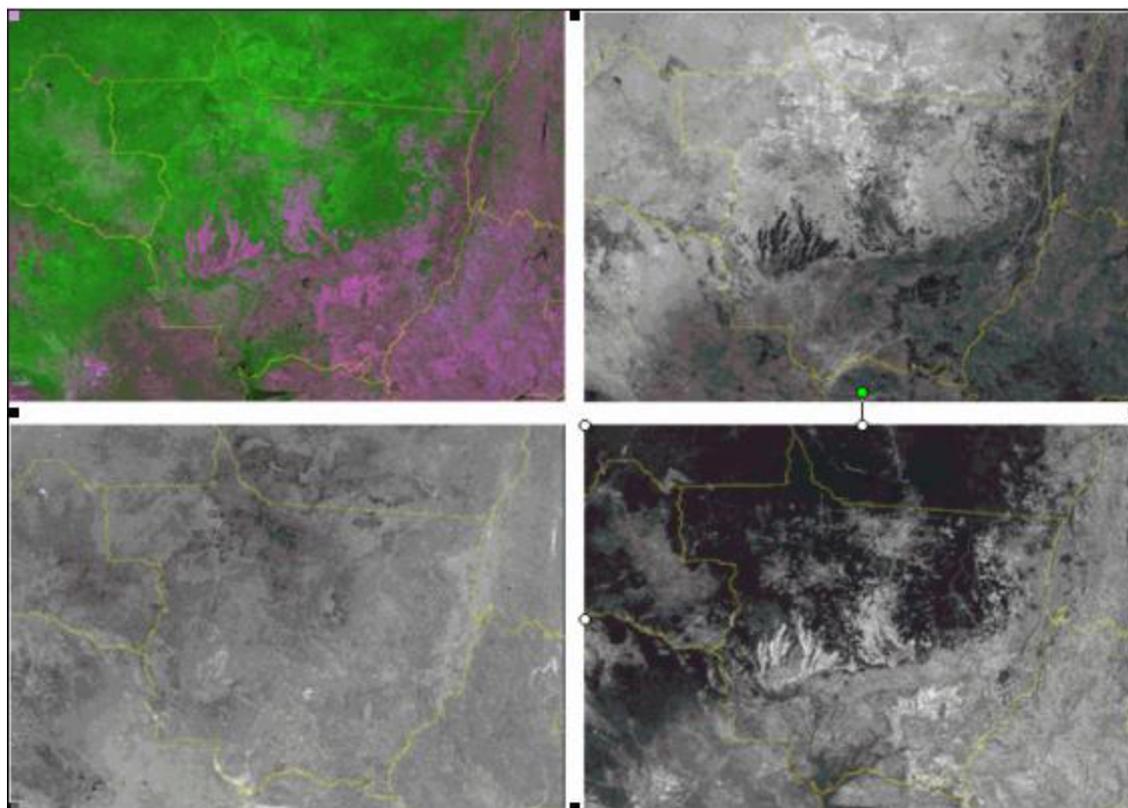


Figura 1. Composição colorida (R6 G2 B1) (a) e as correspondentes imagens fração de vegetação (b), sombra (c) e solo (d) do Estado de Mato Grosso derivadas da imagem do sensor MODIS/Terra obtida em agosto de 2002.

Como pode ser observado na **Figura 1**, as imagens fração contêm informações úteis para a classificação da cobertura vegetal. Por exemplo, a imagem fração vegetação (**Figura 1b**) mostra a diferença, em tonalidades de cinza, entre as áreas de floresta e as áreas de cerrado. A imagem fração solo (**Figura 1d**) mostra a diferença entre as áreas preparadas para cultivo (cinza claro), realçando também as diferenças entre as áreas de floresta e cerrado. Finalmente, a imagem fração sombra realça as áreas de vegetação em áreas úmidas.

A **Figura 2** mostra o mapa de cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso para o ano de 2002. Este mapa foi obtido utilizando os mosaicos mensais do sensor MODIS.

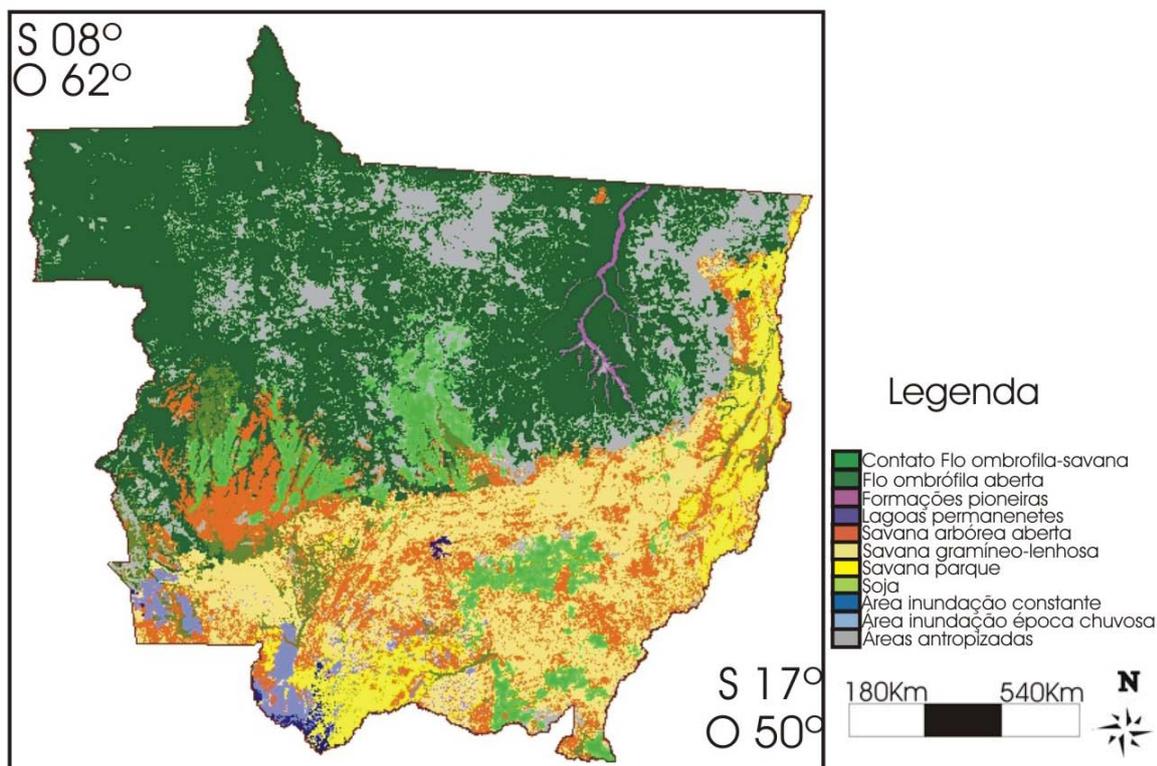


Figura 2. Classificação da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso realizada através dos mosaicos mensais de 2002 do sensor MODIS.

Fonte: Anderson et al. (2005).

4.2 Detecção de áreas desflorestadas

Atualmente, as imagens fração derivadas do sensor MODIS/Terra estão sendo utilizadas para a detecção de áreas desflorestadas em tempo quase real (Projeto DETER, conduzido pelo INPE, em conjunto com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA). Para isto, os procedimentos metodológicos foram adaptados da metodologia do PRODES Digital (Shimabukuro et al., 1998) para os dados do sensor MODIS/Terra. Esta metodologia aplica a técnica de segmentação de imagens fração derivadas do MODIS/Terra, usando a classificação por crescimento de regiões seguida do procedimento de edição de imagem para minimizar os erros do classificador digital (omissão e inclusão). A **Figura 3** apresenta um esquema do procedimento adotado no Projeto DETER para detecção quase simultânea de desflorestamentos na Amazônia em três datas.

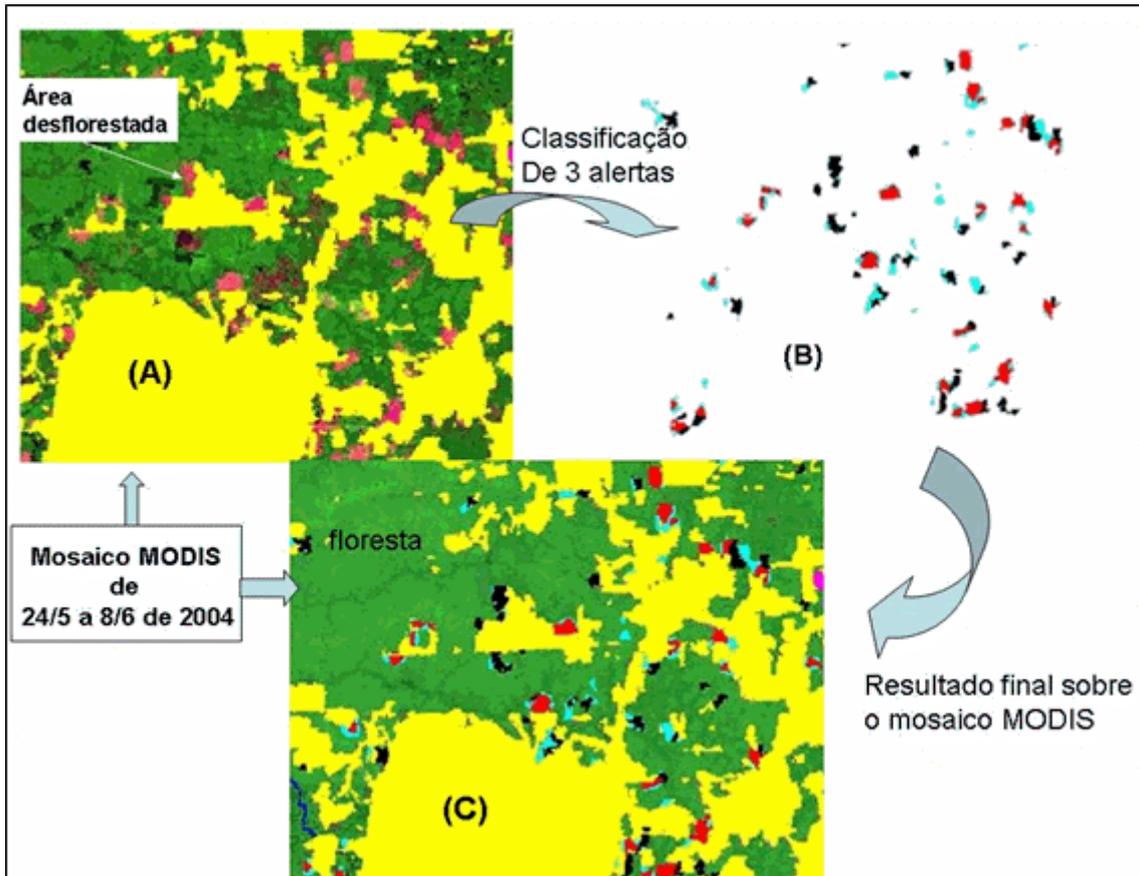


Figura 3. Mapeamento de áreas desflorestadas detectadas em imagens seqüenciais de 3 datas obtidas pelo sensor MODIS.

4.3 Mapeamento de áreas queimadas

Além desse tipo de aplicação, as imagens fração sombra estão sendo utilizadas para o mapeamento de áreas queimadas. A **Figura 4** apresenta a imagem fração sombra derivada da imagem MODIS/Terra obtida em 12 de outubro de 2005 na região leste do Estado do Acre.

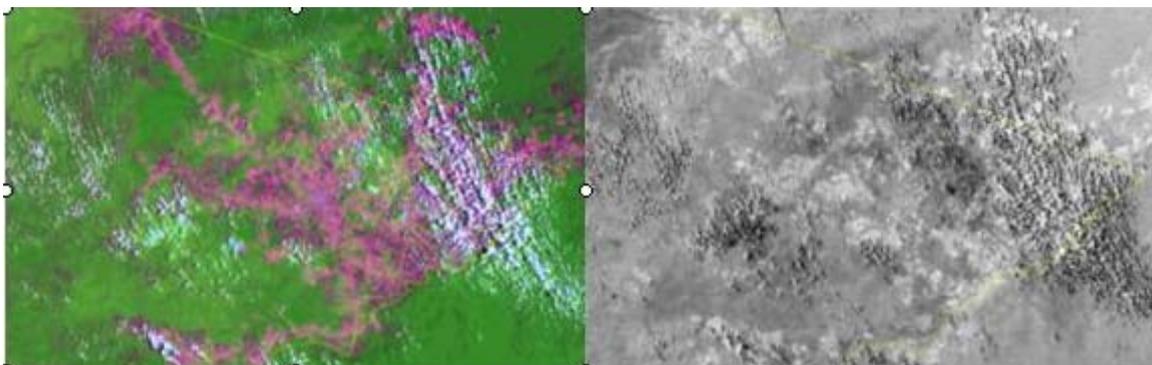


Figura 4. Áreas queimadas na região da cidade de Rio Branco no Acre: a) áreas escuras na composição colorida da imagem MODIS/Terra de 12 de outubro de 2005 e b) áreas claras na imagem fração sombra derivada dessa imagem, mostrando as áreas queimadas.

Nesta **Figura 4**, pode-se observar que as áreas queimadas estão bem realçadas (áreas claras) na imagem fração sombra, facilitando a interpretação especialmente através do processamento digital.

4.4 Região do Pantanal

As **Figuras 5 e 6** mostram imagens do MODIS e as correspondentes imagens fração de vegetação, solo e sombra obtidas em diferentes épocas do ano. Estas figuras mostram o potencial das imagens MODIS e da metodologia apresentada para o mapeamento e monitoramento da região do Pantanal. Como pode ser observado, a imagem fração vegetação pode ser usada para a análise das condições da cobertura vegetal; a imagem fração solo realça as áreas sem cobertura vegetal, como por exemplo as áreas desmatadas; e a imagem fração sombra realça as áreas de umidade e corpos d' água.

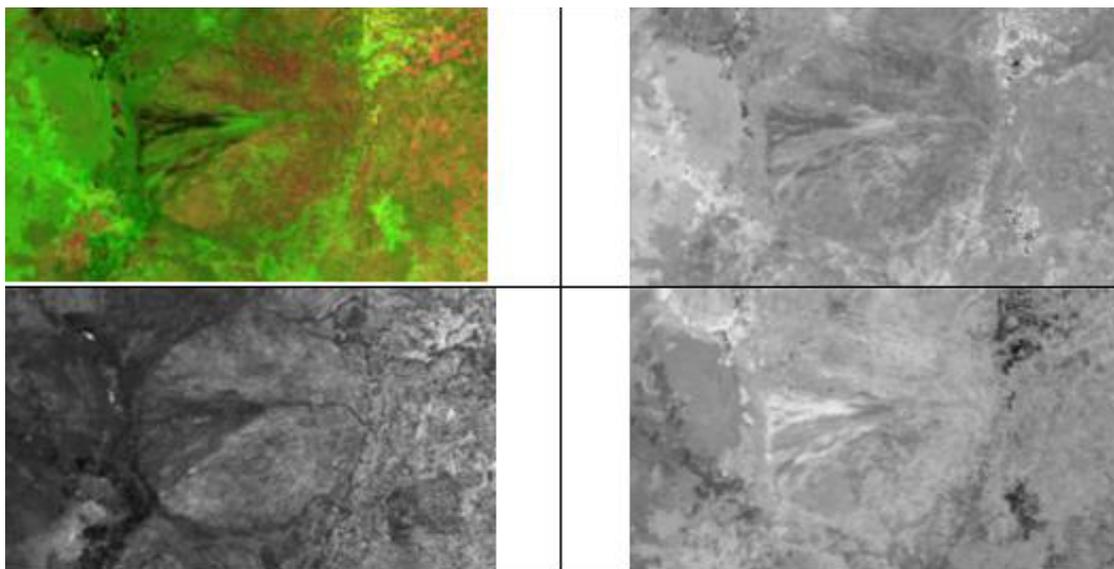


Figura 5. Região do Pantanal: a) composição colorida do mosaico MODIS adquirida no mês de janeiro e as correspondentes imagens fração: b) vegetação, c) solo e d) sombra.

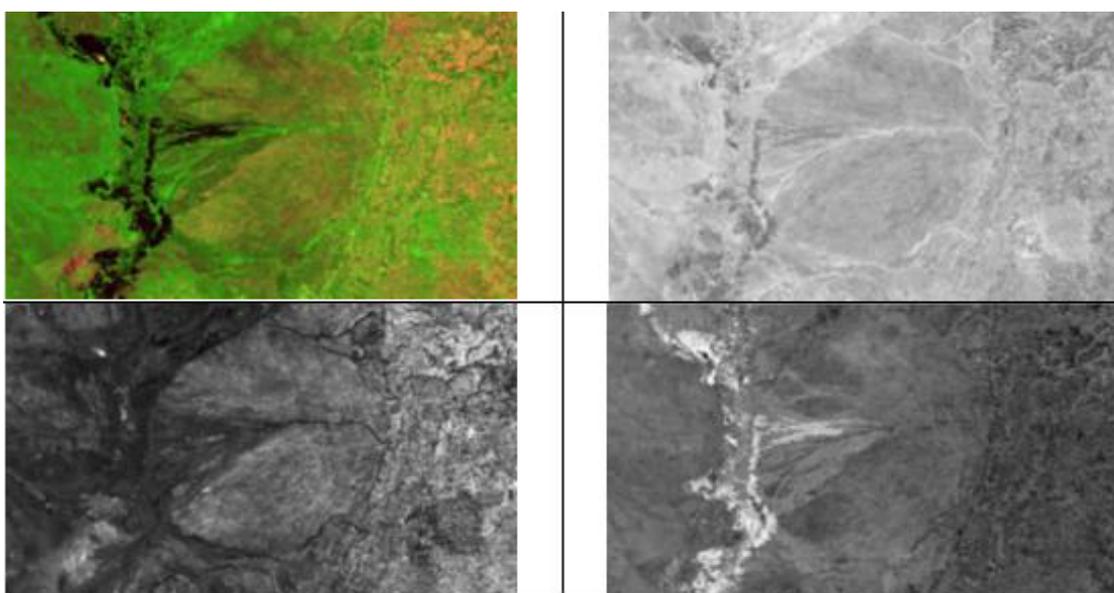


Figura 6. Região do Pantanal: a) composição colorida do mosaico MODIS adquirida no mês de julho e as correspondentes imagens fração: b) vegetação, c) solo e d) sombra.

5. Considerações finais

A metodologia apresentada tem sido utilizada para diversos estudos como o mapeamento da cobertura vegetal, a detecção de áreas desflorestadas, o mapeamento de áreas queimadas, etc. Atualmente esta metodologia está sendo utilizada pelo Projeto DETER (Detecção de áreas desflorestadas em tempo real) para auxiliar as atividades de fiscalização do governo. A disponibilidade dos dados MODIS com a excelente qualidade radiométrica e geométrica adquiridas diariamente pelos satélites Terra e Aqua permitem o desenvolvimento de metodologias para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e mudanças no uso da terra.

6. Referências

- Anderson, L.O., Shimabukuro, Y.E., Lima, A., and Medeiros, J.S. 2005. Mapeamento da cobertura da terra do Estado do Mato Grosso através da utilização de dados multitemporais do sensor MODIS. **Geografia**, p.365-388.
- Arai, E. 2002. Conygeotif. Comunicação Pessoal.
- Câmara, G; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3, p. 395-403.
- Cross, A.M., Settle, J., Drake, N.A., and Paivinen, R.T.M. 1991. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 12, 1119-1129.
- Holben, B.N. and Shimabukuro, Y.E. 1993. Linear mixing model applied to coarse spatial resolution data from multispectral satellite sensors. **International Journal of Remote Sensing**, 14, 2231-2240.
- Justice, C.O.; Giglio, B.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.T.; Roy, D.P.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. 2002. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.244-262.
- Quarmby, N.A., Townshend, J.R.G., Settle, J.J., White, K.H., Milnes, M., Hindle, T.L., and Silleos, N. 1992, Linear mixture modelling applied to AVHRR data for crop area estimation. **International Journal of Remote Sensing**, 13, 415-425.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. 1991. The least-square 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.
- Shimabukuro, Y.E., Holben, B.N., and Tucker, C.J. 1994. Fraction images derived from NOAA AVHRR data for studying the deforestation in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, 15, 517-520.
- Shimabukuro, Y.E., Batista, G.T, Mello, E.M.K., Moreira, J.C., and Duarte, V. 1998. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon region. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n. 3, p.535-541.
- Strahler, A.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E.; and Moody, A. 1999. **MODIS Land Cover and Land-Cover Change products algorithm theoretical basis document (ATBD)**. Version 5.0, Center for Remote Sensing, Department of Geography, Boston University, 72p.