

# Detecção e mapeamento de desflorestamento e áreas queimadas na Amazônia utilizando dados de resolução espacial moderada do sensor MERIS

Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Valdete Duarte<sup>1</sup>  
Ramon Morais de Freitas<sup>1</sup>  
Egidio Arai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{yosio, valdete, ramon, egidio}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This paper presents a methodology for detecting and mapping deforestation and burned areas in Amazonia using moderate spatial resolution data acquired by MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) sensor onboard the ENVISAT satellite. The proposed methodology is based on DETER (“**D**etecção em **T**empo **R**eal do Desflorestamento na Amazônia”) project that uses the MODIS images. Then it consists on generating fraction images, segmentation of soil fraction images, classification using non supervised approach, mapping and editing the classified image, using MERIS data. For this study, the MERIS image acquired on July 31, 2004, over Para Sate in Amazonia, was selected. The classification results were compared with results derived from the MODIS image acquired in the same day. In addition, the MODIS image acquired in 2001 was also analyzed to evaluate the multitemporal analysis for monitoring land cover changes. The results show that MERIS images can be used as additional data source for DETER project for detecting deforestation activities in a near real time.

**Palavras-chave:** Deforestation, burned areas, monitoring, mapping, MERIS sensor, fraction images, desflorestamento, áreas queimadas, monitoramento, mapeamento, sensor MERIS, imagens fração.

## 1. Introdução

Os processos de mudança do uso e na cobertura da terra entraram nas discussões globais de meio ambiente há algumas décadas, a partir do conceito de que processos que ocorrem na superfície do planeta influenciam o clima. A partir de estudos que demonstraram a relação entre a modificação do albedo terrestre devido as mudanças na superfície que influenciavam a troca de energia entre a superfície-atmosfera em escala local, estudos apontando os ecossistemas terrestres como fonte e armazenador de carbono podendo influenciar o clima global e estudos relacionados à contribuição da evapotranspiração no ciclo da água como outro grande fator de impacto tanto em escalas local quanto regional, vieram a tona, e ainda hoje são alvos de muitos trabalhos (Lambin et al., 2003).

A partir de dados de Sensoriamento Remoto é possível monitorar tais mudanças, no entanto, extrair informações deste tipo de dados requer o desenvolvimento de técnicas e metodologias eficazes e automatizadas. Diversos trabalhos na literatura exploram diversas metodologias com diferentes sensores para a detecção e monitoramento de desmatamentos, como por exemplo, Adams et al. (1995) que estudaram a utilização de imagens Landsat para a avaliação de desmatamentos na região amazônica, através da história espectral de cada pixel. Além da utilização de imagens Landsat, alguns estudos analisam a viabilidade de integração dos sensores TM/ETM+ com outros sistemas sensores, objetivando uma maior disponibilização de imagens da região amazônica, para o monitoramento dos processos de desmatamento. Por exemplo, Almeida-Filho e Shimabukuro (2002) integraram o uso de imagens Landsat-5 TM e JERS-1 SAR para mapear e monitorar áreas de alterações antrópicas em uma região no estado de Roraima. Alves (2001) utilizou mapas derivados de cenas TM e MSS para estudar padrões de desmatamento nos anos 70 e década de 90 na Amazônia Legal.

Outros estudos analisaram a utilização de sensores de resolução espacial moderada e baixa e alta resolução temporal com o objetivo de detectar desmatamentos na Amazônia. Por exemplo, Batista (1994) utilizou AVHRR para estimar o desmatamento no Estado do Mato Grosso e Amaral (1992) analisou a possibilidade de utilizar os dados AVHRR para detectar desmatamentos, avaliando os resultados com base nos dados provenientes do sensor TM. Carreiras et al. (2002) testou a utilização de imagens SPOT-VEGETATION para detectar desmatamentos no Estado do Mato Grosso, a partir de análises de mistura espectral, obtendo resultados que indicam a potencialidade destes dados.

A avaliação de áreas desmatadas da Amazônia Legal (PRODES) realizado anualmente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) revela taxas de desflorestamento variando entre 1 e  $3 \times 10^6$  ha.ano<sup>-1</sup> no período 1991-1999 e a perda de cerca de  $6 \times 10^7$  ha (mais de meio milhão de km<sup>2</sup>) de florestas até o ano 2000. Do ponto de vista de políticas públicas, a análise de dados feita pelo INPE é ainda insuficiente como base de ação governamental. Como os dados são agregados por estado e publicados seis meses após as ocorrências dos eventos de desmatamento, os governos federal e estadual não podem se antecipar à dinâmica de mudança de uso da terra na Amazônia. Deste modo, é preciso complementar os dados do PRODES com outras iniciativas que permitam ao Estado Brasileiro uma ação preventiva de combate às atividades ilícitas de desmatamento.

Neste contexto, o lançamento de sensores como o MODIS (“Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer”) em 1999 (a bordo do satélite TERRA) e do sensor MERIS, em 2002 (a bordo do satélite ENVISAT), que possuem características de resolução temporal, espacial e espectral favoráveis para suas utilizações para o monitoramento de alterações no uso e cobertura da terra mostram-se extremamente eficientes para as aplicações em um país que apresenta cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup> de extensão de floresta tropical.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de detecção e mapeamento de desflorestamento e áreas queimadas utilizando dados do sensor MERIS para auxiliar o Projeto DETER que utiliza imagens dos sensores MODIS do satélite Terra.

## **2. Área de estudo**

A área de estudo deste trabalho compreende a região da BR-163 (Cuiabá – Santarém), no Estado do Pará. Esta área é caracterizada pela floresta Amazônica, mostrando as regiões de ocupação em torno das rodovias Cuiabá-Santarém e Transamazônica, e as áreas de cerrado na Serra do Cachimbo na parte sul da imagem.

## **3. Sensor MERIS**

O sensor MERIS foi lançado em março de 2002 pela Agência Espacial Européia (ESA) a bordo do satélite de observação da Terra ENVISAT. O satélite ENVISAT de órbita polar fornece medidas da atmosfera, oceanos, continentes e gelo. Este satélite possui uma carga útil capaz de apoiar programas científicos e monitoramentos ambientais. Potencialmente, os dados coletados pelos diferentes sensores a bordo do ENVISAT podem facilitar o desenvolvimento de aplicações operacionais e comerciais (Kampel e Novo, 2004).

O sensor MERIS é um espectrômetro imageador do tipo pushbroom com ângulo de visada de 68,5° que mede a radiação refletida pela Terra, com resolução espacial de 300m (para regiões limitadas) e 1,2 km em base global, em 15 bandas espectrais, programáveis em largura e posição, nas faixas do visível e infravermelho-próximo (390 a 1040 nm). O MERIS obtém uma cobertura global da Terra em 3 dias (Kampel e Novo, 2004). As características gerais do sensor MERIS estão resumidas na **Tabela 1**.

**Tabela 1** – Características gerais do sensor MERIS. (Fonte: Kampel e Novo, 2004)

<b>Amplitude espectral</b>	390 – 1040 nm
<b>Resolução espectral</b>	1,8 nm
<b>Resolução espacial (FR)</b>	300m no nadir
<b>Resolução espacial reduzida (RR)</b>	1.200 m
<b>Largura de faixa imageada</b>	1.150 km
<b>Campo de visada</b>	68,5°
<b>Acurácia radiométrica</b>	< 2% do sinal detectado, em relação ao sol
<b>Amplitude dinâmica</b>	Até albedo 1,0
<b>Capacidade de transmissão de bandas</b>	15 bandas espectrais programáveis

A **Tabela 2** mostra a comparação das características dos sensores MERIS e MODIS.

**Tabela 2** – Principais características dos sensores orbitais MERIS e MODIS. (Fonte: adaptado de Kampel e Novo, 2004)

	<b>MERIS</b>	<b>Terra MODIS</b>
<b>Plataforma</b>	Envisat	Terra
<b>Agência</b>	ESA	NASA
<b>País</b>	Europa	EUA
<b>Início Operação</b>	03/2002	02/2000
<b>Inclinação (graus)</b>	98,5	98,2
<b>Cruzamento Equador (h)</b>	10:00	10:30
<b>Altitude (km)</b>	800	705
<b>Resolução (km)</b>	1,2/0,3	1
<b>Resolução radiométrica</b>	12 bits	12 bits
<b>Resolução temporal</b>	3 dias	1 dia
<b>Largura de Faixa (km)</b>	1150	2330

A **Tabela 3** mostra a comparação das bandas espectrais do sensor MERIS com as correspondentes do sensor MODIS na região do visível e infravermelho próximo.

**Tabela 3** – Bandas espectrais correspondentes dos sensores orbitais MERIS e MODIS, comprimentos de onda centrais de cada canal ( $\lambda$  nm) e largura total das bandas (nm). (Fonte: adaptado de Kampel e Novo, 2004)

<b>MERIS</b>		<b>MODIS</b>	
$\lambda$ Central	Largura	$\lambda$ Central	Largura
412.5	10	412	15
442.5	10	443	10
490	10	488	10
510	10	531	10
560	10	551	10
620	10	667	10
665	10	678	10
681	7,5	748	10
709	9	870	15
779	14	469	20
870	20	555	20
890	10	645	50
900	10	858	35

Para este trabalho foram adquiridas as imagens MERIS e MODIS do dia 31 de julho de 2004 e a imagem MODIS de 2001 sobre a área de estudo.

#### 4. Metodologia

A metodologia do Projeto DETER (Shimabukuro et al., 2005) foi usada neste trabalho. Ela consiste na geração das imagens fração derivadas do modelo linear de mistura espectral (Shimabukuro e Smith, 1991), segmentação dessas imagens, classificação não supervisionada por regiões, mapeamento e edição da classificação.

##### 4.1 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:

$r_i = a \cdot \text{vege}_i + b \cdot \text{solo}_i + c \cdot \text{sombra}_i + e_i$ , 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;  $\text{vege}_i$ ,  $\text{solo}_i$  e  $\text{sombra}_i$ , são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente;  $e_i$  é o erro na banda  $i$  e  $i$  indica a banda do TM.

Nesse trabalho foram utilizadas 4 bandas, localizadas nas regiões do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, do sensor MERIS, formando um sistema de equações lineares que pode ser resolvido utilizando o método dos mínimos quadrados (Shimabukuro e Smith, 1991). Para o sensor MODIS foram utilizadas as bandas 1 (vermelho), 2 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho médio) (Shimabukuro et al., 2005). Os “pixels” mais puros referentes aos componentes vegetação, solo e sombra foram 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.

##### 4.2 Segmentação e classificação de imagem digital

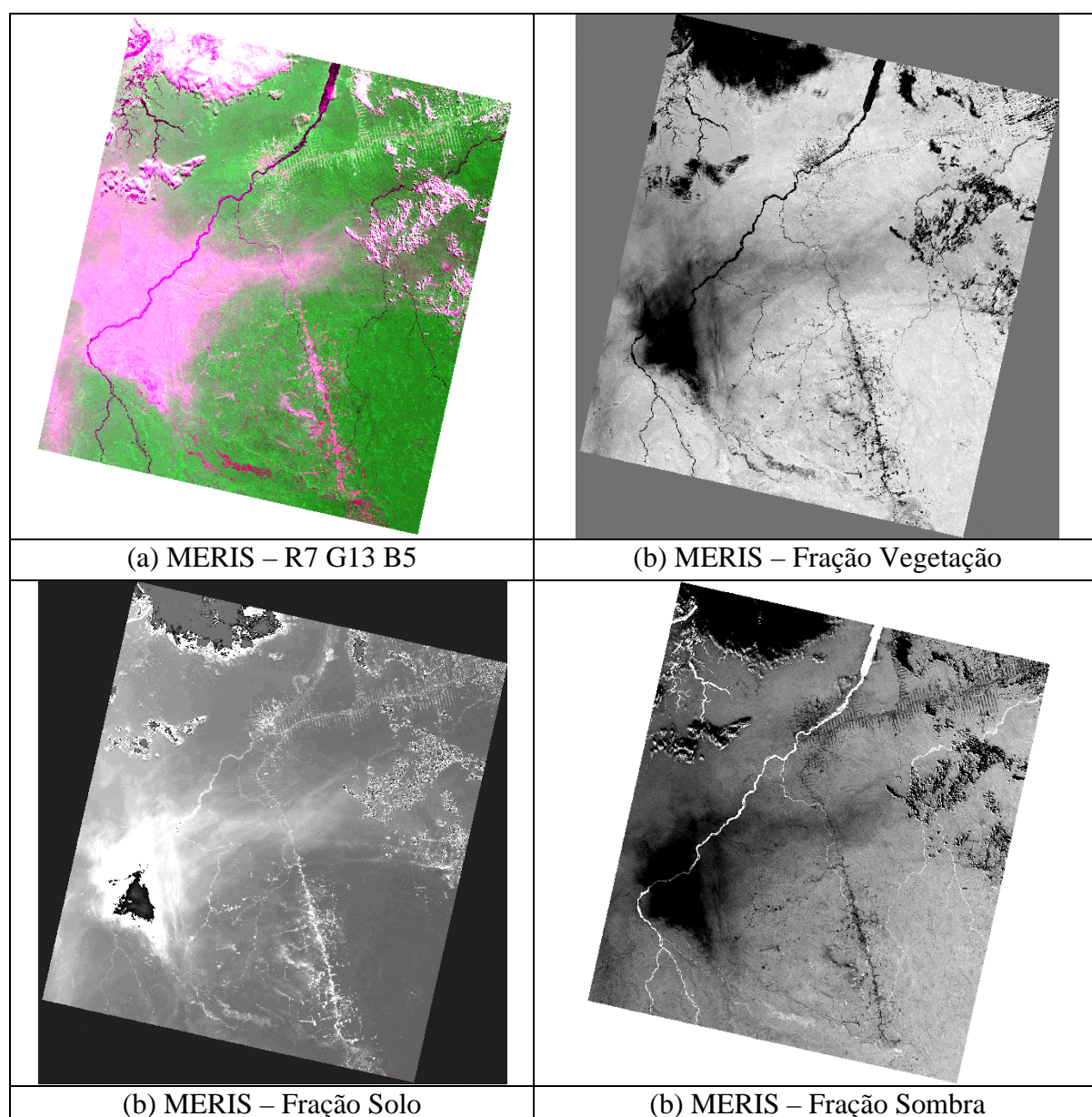
A segmentação de imagem é uma técnica de agrupamento de dados, na qual as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas (INPE-DPI, 1996). Inicialmente, o processo de segmentação rotula cada “pixel” como uma região distinta. Em seguida, é utilizado um critério de similaridade para cada par de regiões 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 (Bins et al., 1993). No presente trabalho o limiar de similaridade igual a 8 foi definido após vários testes. O limiar de área foi definido como 4, isto significa que a área mínima considerada na segmentação equivale a 36 ha no terreno.

O classificador ISOSEG (Bins et al., 1993) é um algoritmo disponível no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. É um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, 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. Foi definido o classificador ISOSEG a ser aplicado sobre a imagem segmentada. Após a classificação, os temas gerados foram associados às classes de cobertura da terra previamente definidas no banco de dados referente ao Estado de São Paulo.

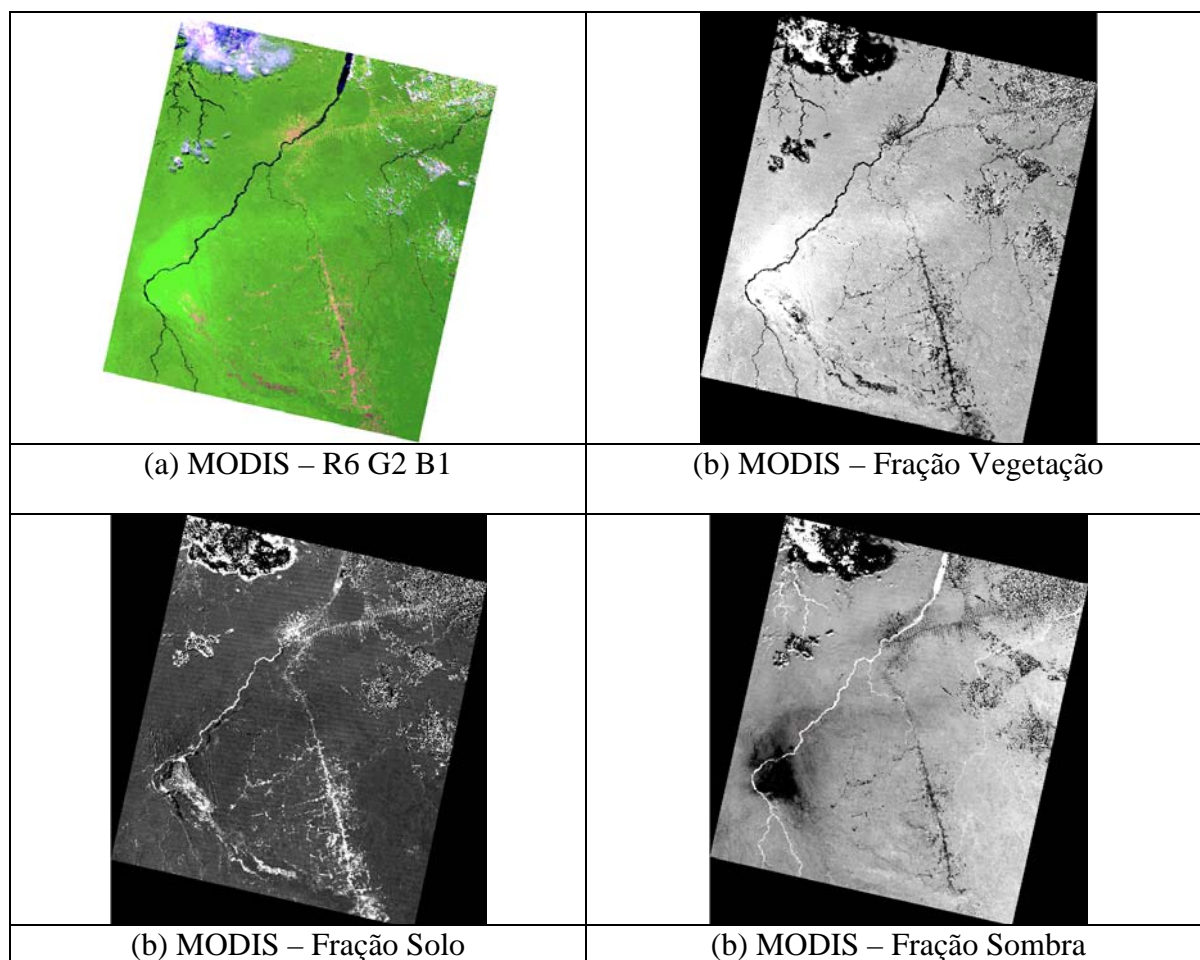
A edição matricial do software SPRING permite que o interprete corrija alguns erros de classificação. As áreas de tipos de cobertura da terra mapeadas são então analisadas pelo interprete utilizando como base a imagem RGB do MERIS para assegurar a acurácia de classificação.

## 5. Resultados

As **Figuras 1** e **2** mostram as imagens fração derivadas dos dados MERIS e MODIS, respectivamente. A imagem fração vegetação é similar as imagens índices de vegetação (NDVI e EVI), realçando as condições da cobertura vegetal (**Figuras 1b** e **2b**); a imagem fração solo realça as áreas sem cobertura vegetal (**Figuras 1c** e **2c**), sendo adequada para a detecção e mapeamento de áreas desflorestadas; e a imagem fração sombra realça as áreas de drenagem e áreas queimadas (**Figuras 1d** e **2d**).

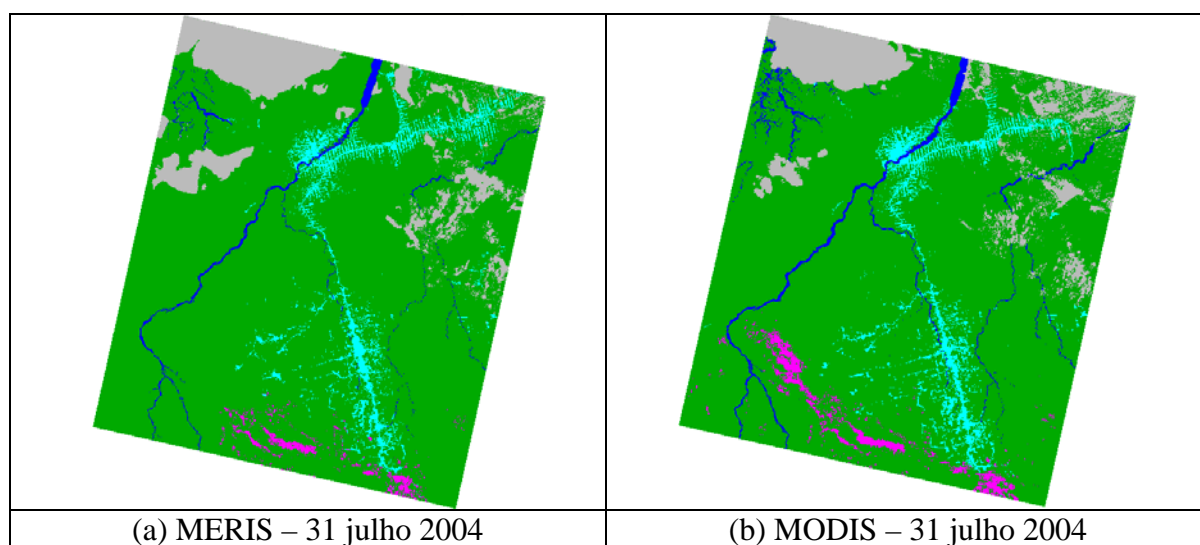


**Figura 1** - Imagens fração derivadas do sensor MERIS: a) composição colorida (R7 G13 B5), b) fração vegetação, c) fração solo e d) fração sombra.



**Figura 2** - Imagens fração derivadas do sensor MODIS: a) composição colorida (R6 G2 B1), b) fração vegetação, c) fração solo e d) fração sombra.

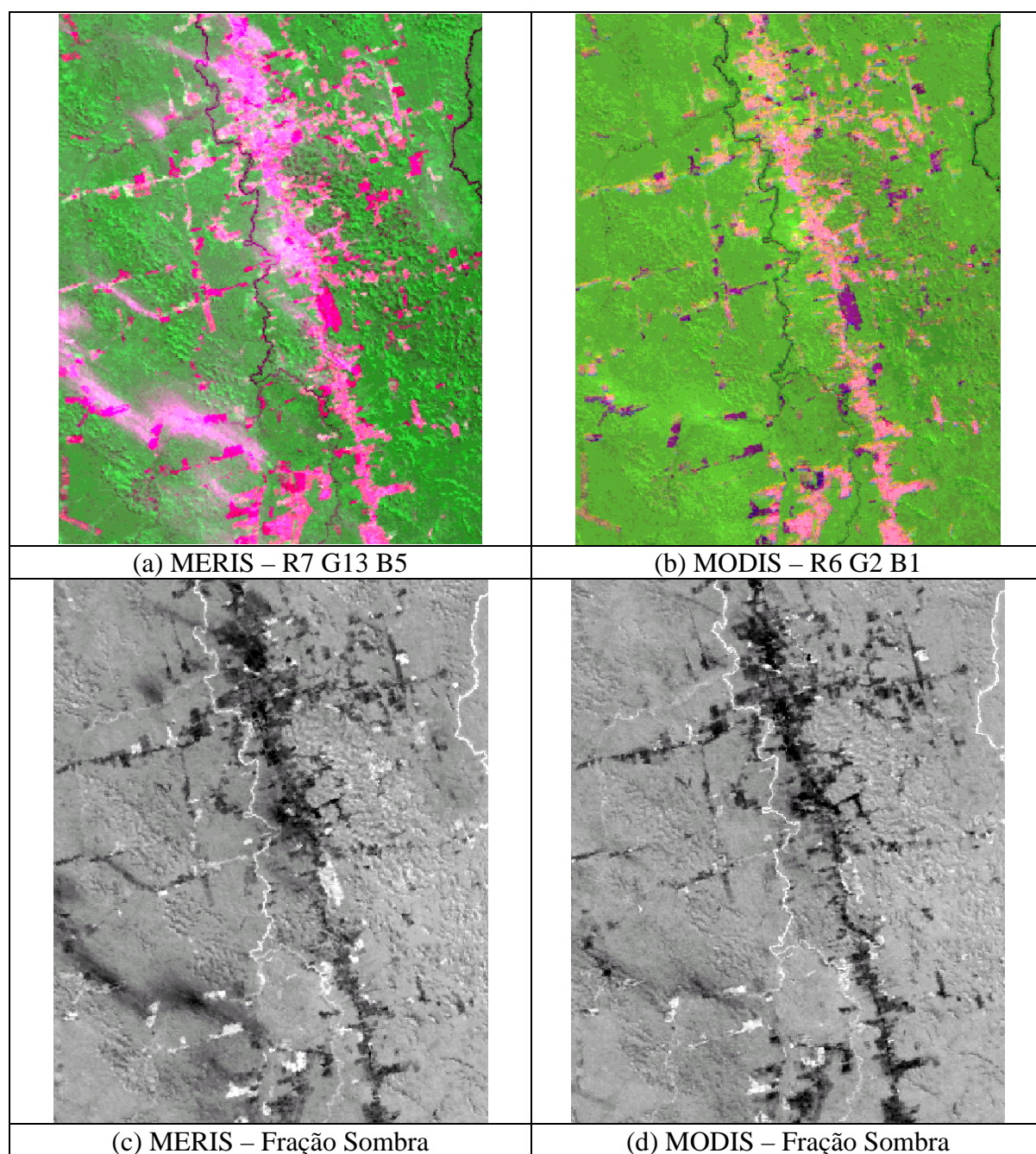
A **Figura 3** apresenta os resultados de classificação das imagens MERIS (**Figura 3a**) e MODIS (**Figura 3b**) de 2004. O resultado da análise multitemporal entre as imagens MODIS mostrou um aumento de cerca de 7.400 km<sup>2</sup> entre os anos de 2001 e 2004 na área de estudo.



**Figura 3** - Classificação da cobertura da terra obtida: a) da imagem MERIS de 2004, b) da imagem MODIS de 2004.

Como pode ser observado na **Figura 3**, o resultado de classificação da imagem MERIS foi similar ao obtido pelo dado MODIS adquiridos no mesmo dia do ano de 2004. A análise multitemporal entre os dados MERIS de 2004 com os dados MODIS de 2001 não foi realizada devido ao problema de georeferenciamento das imagens.

A **Figura 4** mostra como aparecem algumas áreas queimadas, próximas a rodovia Br-163, nas imagens MERIS e MODIS e realçadas nas imagens fração sombra correspondentes. As áreas queimadas podem ser facilmente mapeadas através das imagens fração sombra, conforme realizada por Shimabukuro et al. (2006).



**Figura 4** - Áreas queimadas: a) em vermelho escuro na imagem R7 G13 B5 do MERIS; b) em roxo escuro na imagem R6 G2 B1 do MODIS; c) realçadas na imagem fração sombra do MERIS; e d) realçadas na imagem fração sombra do MODIS.

## 6. Conclusões

Os resultados mostram que a imagem MERIS é uma fonte útil de informação para monitorar o desflorestamento e as áreas queimadas. A imagem fração de solo aumenta o contraste entre floresta e as áreas cortadas, enquanto que a imagem fração sombra realça a drenagem e as áreas queimadas, facilitando o trabalho de classificação digital. A metodologia utilizada é consistente, gerando informações com alta acurácia sobre desflorestamentos e áreas queimadas. Portanto as imagens adquiridas pelo sensor MERIS pode ser mais uma fonte de informação para o projeto DETER.

## Referências bibliográficas

- Adams, J.B.; Sabol, D.E.; Kapos, V.; Almeida-Filho, R.; Roberts, D.A.; Smith, M.O.; Gillespie, A.R. Classification of Multispectral Images Based on Fractions of Endmembers: Application to Land-Cover Change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.52, p. 137–152, 1995.
- Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y.E. Digital processing of Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.79, p. 42-50, 2002.
- Alves, D.S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, 2002.
- Amaral, S. Imagens do sistema sensor AVHRR/NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na Floresta Amazônica: relações com dados do sistema TM/Landsat.. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 195p. INPE-5501-TDI/516, 1992.
- Batista, G.T.; Tucker, C.J. Assessment of AVHRR data for deforestation estimation in Mato Grosso (Amazon Basin). **Remote Sensing Reviews**, v. 10, n.1-3, p. 35-50, 1994.
- Carreiras, J.M.B.; Shimabukuro, Y.E.; Pereira, J.M.C. Fraction images derived from SPOT-4 VEGETATION data to assess land-cover change over the State of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 4979-4983, 2002.
- Duarte, V.; Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R.; Mello, E.K.; Moreira, J.C.; Souza, R.C.; Shimabukuro, R.M.; Freitas, U.M. Metodologia para criação do Prodes Digital e do banco de dados digitais da amazônia: Projeto BADDAM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. INPE-7032-PUD/035.1999.
- Kampel, M.; Novo, E.M.L.M. Avaliação do sensor MERIS (Versão 1.0). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 14p., 2004.
- Lambin, E.F.; Geist, H.J.; Lepers, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**, v.28, 205-241, 2003.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. 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, 1991.
- Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.; Mertes, L.K. Mosaico digital de imagens Landsat-TM da planície do Rio Solimões-Amazonas no Brasil. INPE-6746-RPQ/681. 1998. 45 p.
- Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Arai, E.; Freitas, R.M.; Valeriano, D.M.; Brown, I.F.; Maldonado, M.L.R. Fraction Images Derived From Terra MODIS Data for Mapping Burned Area in Acre State, Brazilian Amazonia. IGARSS 2006, Denver, Colorado, 2006.
- Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Moreira, M.A.; Arai, E.; Rudorff, B.F.T.; Anderson, L.O.; Espirito-Santo, F.D.B.; Freitas, R.M.; Aulicino, L.C.M.; Maurano, L.E.P.; Aragão, J.R.L. Detecção de áreas desflorestadas em tempo real: conceitos básicos, desenvolvimento e aplicação do projeto DETER. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. INPE-12288-RPE/796.2005.