

## Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra

Liana Oighenstein Anderson<sup>1</sup>

Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>

Ruth DeFries<sup>2</sup>

Douglas Morton<sup>2</sup>

Fernando Espírito-Santo<sup>1</sup>

Ellen Jasinsky<sup>2</sup>

Matthew Hansen<sup>2</sup>

André Lima<sup>1</sup>

Valdete Duarte<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>University of Maryland, 2181 Lefrak Hall  
University of Maryland  
College Park, MD 20742  
{rdefries, morton, ewhite, mhansen}@mail.umd.edu

### Abstract

On the last decades, the remote sensing became an important source of information to monitor the natural resources of the planet, due to its possibility to acquire data over large regions. The images derived from remote sensing instruments are an excellent source of information to produce land cover and vegetation maps. Recent estimates of changes occurring in the land cover point to the agricultural intensification, deforestation in the tropic, pastureland expansion, and urbanization as the currently main forces. So, it is unquestionable the importance of developing an accurate map of the different vegetation formations, as base for conservation studies, and studies that involve global change, such as climate change and carbon and hydrological balance. The main objective of this paper is to present a methodological approach to land cover mapping using MODIS multitemporal sensor data. The map generated in this research presents the classification of different vegetation classes, anthropic areas and soybean cultivation areas, over the Mato Grosso State. For the validation purpose, we had two fieldworks, one in 2002 and other in 2004, registering more than 1000 GPS ground truth points.

**Keywords:** Land cover mapping, remote sensing, MODIS sensor, mapeamento da cobertura vegetal, Sensoriamento Remoto, sensor MODIS.

### 1. Introdução

Em uma escala global, a mudança do uso da terra e da cobertura vegetal está ocorrendo em passos acelerados, principalmente nos trópicos. Estas mudanças nos ecossistemas terrestres estão fortemente associadas aos processos de desenvolvimento socioeconômico principalmente em países subdesenvolvidos, onde não se encontram planejamentos para a ocupação do território, nem projetos e estudos para explorar de maneira sustentável os recursos da terra, ou quando estes estudos existem, falta coordenação das ações e objetivos políticos. Segundo Lambin (1997) o conhecimento e o entendimento destes processos ainda estão muito fragmentados para avaliar e estimar o vasto impacto destas mudanças nos sistemas naturais e humanos.

Alterações da cobertura vegetal devido às atividades humanas exercem grande influência nos ciclos biogeoquímicos e climáticos do sistema terrestre. Os ecossistemas terrestres exercem um

controle nos ciclos biogeoquímicos, o que por sua vez influenciam significativamente os sistemas climáticos através de propriedades radiativas dos gases de efeito estufa e outros gases reativos.

Algumas ferramentas importantes para se detectar e mapear estas mudanças são os produtos do sensoriamento remoto obtidos por plataformas orbitais e os sistemas de informações geográficas. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto tornou-se uma importante fonte de informações para monitorar os recursos naturais da Terra, devido à possibilidade de se adquirir dados sobre grandes extensões geográficas, e assim, os processos que ocorrem nestas áreas podem ser melhor compreendidos a partir destes monitoramentos.

Neste contexto, o mapeamento da cobertura vegetal e seu monitoramento mostram-se de extrema importância, e existe um esforço por parte da comunidade científica em melhorar a acurácia destes estudos. Estes trabalhos visam observar as mudanças devido a fatores naturais e antrópicos (Zhan et al., 2002), buscar uma maior eficiência nas elaborações de planos de manejo de recursos naturais, assim como na análise da paisagem (Soares Filho, 2001), delimitar as áreas prioritárias para a conservação (Souza et al., 1998), ou ainda realizar estudos que envolvem tópicos sobre mudanças globais (Justice et al., 2002), modelagens de ciclos biogeoquímicos, estimativas de emissão de carbono (DeFries et al., 2002) dentre outros.

Desta forma, é inquestionável a importância de se realizar um mapeamento acurado das diferentes formações vegetais, tanto como base para estudos de conservação, quanto para estudos que envolvam questões relacionadas às mudanças globais, como alterações no clima, no ciclo do carbono e no balanço hídrico, devido à causas naturais e/ou antrópicas.

As imagens derivadas de produtos do sensoriamento remoto são uma excelente fonte de dados para produzir mapas de cobertura vegetal e uso da terra. Estes mapas geralmente são gerados a partir de técnicas de processamento de imagens, derivados de produtos da classificação digital.

Até recentemente, o AVHRR era o único instrumento viável para fornecer dados para o mapeamento global da vegetação. Atualmente com a disponibilidade dos dados MODIS, que possui os atributos espectrais, espaciais e geométricos mais finos do que o AVHRR, abre-se uma nova possibilidade de pesquisas e desafios para a geração de mapas baseados em dados de sensoriamento remoto.

O principal objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados de uma metodologia desenvolvida para o mapeamento da cobertura da terra com base em dados multitemporais do sensor MODIS.

## **2. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo proposta para a realização deste trabalho é o Estado do Mato Grosso, localizado na região Centro-oeste do Brasil, entre as coordenadas 06° 00' e 19° 45' de latitude sul e 50° 06' e 62° 45' de longitude oeste, com uma extensão territorial de cerca de 900.000 km<sup>2</sup>. Esta região apresenta uma grande diversidade de tipos de formações vegetais, além disso, nesta área vem ocorrendo uma alta taxa na conversão da cobertura vegetal, devido à utilização da agricultura mecanizada e pecuária nas áreas de cerrado, bem como o desmatamento e queimadas nas áreas de floresta. Neste contexto, o Mato Grosso mostra-se extremamente interessante para os fins deste estudo.

## **3. Materiais**

Os materiais utilizados nesse trabalho são descritos a seguir:

a) dados MODIS: são disponibilizados na forma de produtos. Para esta pesquisa utilizou-se o produto MOD13, constando de 144 mosaicos quinzenais MODIS para o ano de 2002, com resolução espacial

de 250 metros. São necessárias 6 cenas para compor 1 mosaico do Estado do Mato Grosso, sendo que foram utilizados os seguintes “Tiles”: H 11 V 9; H 11 V 10; H 12 V 9; H 12 V 10; H 13 V 9 e H 13 V 10.

O produto MOD13 se refere às imagens índices de vegetação (NDVI e EVI), incluindo as bandas utilizadas para a geração destes índices: azul, vermelho, infravermelho próximo, além de uma banda localizada na faixa do infravermelho médio (banda 7).

b) Mapa de vegetação na forma digital fornecido pela PRODEAGRO/ FEMA.

c) Dados de verdade terrestre: pontos coletados com Global Position System (GPS) e fotografias adquiridas durante os trabalhos de campo para validação do resultado final.

#### 4. Metodologia

O banco de dados geográficos do Estado do Mato Grosso foi elaborado de forma a armazenar os dados relevantes para a realização do trabalho proposto nesta pesquisa. Para isso, foi utilizado o aplicativo SPRING 3.6.03 (Câmara et al., 1996).

Após a aquisição de todas as imagens MODIS referentes ao ano de 2002, foram gerados mosaicos mensais, através da ferramenta de análise LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico) disponível no SPRING. O programa foi escrito de forma a selecionar os pixels, com base no valor mais alto do NDVI entre as datas, para a eliminação de nuvens. Esta etapa teve como objetivo reduzir o número de dados utilizados e tamanho do banco, com a finalidade de agilizar o tempo de processamento.

A partir dos mosaicos mensais, foi aplicado o modelo de mistura espectral (Shimabukuro et al., 1991; Aguiar et al., 1999) para toda a série temporal, nas bandas do produto MOD13: azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio. Os modelos foram gerados independentemente, e partiu-se da hipótese que é possível encontrar um pixel puro ou *endmember* nas imagens MODIS, dada a diversidade e características da área estudada, para ser utilizado como dado de entrada para o modelo.

Com o objetivo de selecionar as datas das imagens que seriam utilizadas para a classificação das formações vegetais no Estado do Mato Grosso, os mosaicos NDVI e EVI da série temporal para o ano de 2002 foram processadas no software PCI, em duas etapas:

1) Gerar as assinaturas dos alvos para os dois índices de vegetação: com base no mapa de vegetação para o Estado do Mato Grosso, fornecido pela FEMA/PRODEAGRO, selecionou-se cerca de 30 amostras para cada um dos tipos de formações vegetais em composições coloridas de imagem NDVI e EVI sobre áreas homogêneas.

2) Gerar a seleção de canais para a classificação: a partir das assinaturas geradas, foi utilizado o módulo de seleção de canais para a classificação das imagens. Este módulo analisa a média e desvio padrão para cada um dos canais e gera a matriz de correlação, matriz de covariância, matriz de covariância inversa e matriz de covariância inversa triangular. O resultado final é disponibilizado conforme o número de canais que o usuário pretende utilizar para realizar a classificação. Os resultados obtidos para as imagens NDVI e EVI são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Seleção das melhores datas para realizar a classificação, segundo o número de imagens definidas a serem utilizadas, a partir dos dados NDVI e EVI.

Número de imagens utilizadas	Meses selecionados	
	NDVI	EVI
1	8	8

2	8,9*	7*,8
3	7,8,9	7,8,9
4	7,8,9,11*	4*,7,8,9
5	6-9,11*	4*,6-9
6	4,6-9,11	4,6-9,11
7	4-9,11	4,6-11
8	4-11	2*,4,6-11
9	3-11	2*,4,5-11
10	3*-12	1*,2*,4-11
11	1,3-12	1,2*-12

\* Indica meses diferentes entre os dois índices

Nesta pesquisa optou-se pela utilização de 4 datas no processo de classificação, principalmente devido à limitações computacionais. Com o objetivo de definir entre a utilização do NDVI ou EVI para o processo de classificação, aplicou-se o teste estatístico Tukey. Para isso assumiu-se que a distribuição das amostras é normal e a variância entre elas é homogênea. A partir dos resultados desta comparação múltipla, obtidos para o NDVI e EVI, verificou-se que o NDVI possibilitou a separação entre um maior número de formações vegetais.

Os processos de segmentação e extração de regiões são propostos para a fase anterior à classificação. Para realizar a segmentação são definidos dois limiares: (a) limiar de similaridade e (b) limiar de área. Os limiares utilizados neste processo foram 15 para similaridade e 10 para área. A opção por estes limiares foi definida segundo a limitação computacional, dado o número de imagens utilizadas e o tamanho da área de estudo.

As imagens NDVI dos meses de julho, agosto, setembro e novembro foram utilizadas como dados de entrada na etapa de segmentação. Para a fase de extração de regiões, além das imagens NDVI, foram utilizadas também as imagens fração solo, sombra e vegetação, referentes aos quatro meses selecionados. Desta forma garantiu-se que as informações presentes em todas as bandas espectrais fossem levadas em consideração para a delimitação estatística das regiões com diferentes coberturas da terra: nas imagens NDVI as respostas das bandas do vermelho e infravermelho próximo; e nas imagens fração as respostas das bandas azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio.

Para o processo de classificação não supervisionada das imagens, foram geradas 13 imagens classificadas, a partir de classificadores não supervisionados (Iseseg, Histograma e K-média) com diferentes limiares, disponíveis na versão 4.1Beta do SPRING.

Para a geração do mapa de vegetação foi realizada a avaliação das classes de vegetação em cada uma das imagens classificadas. Esta avaliação foi baseada em dois tipos de dados distintos: em dois mosaicos gerados para a estação seca e estação chuvosa (mês de março e mês de agosto), e no mapa de vegetação disponibilizado pela FEMA/PRODEAGRO. As melhores classificações geradas para cada uma das classes foram mapeadas independentemente, e mosaicadas para diferentes planos de informação. A etapa seguinte foi a edição destas classes para garantir uma melhor qualidade e eliminar erros dos classificadores.

Após a edição de todas as classes temáticas, foi realizado um mosaico com todos os temas classificados para um mesmo plano de informação, constituindo-se assim o mapa da cobertura da terra para o Estado do Mato Grosso.

Para a validação do mapa final da cobertura da terra, realizaram-se dois trabalhos de campo nos meses de junho/julho de 2003, e outubro e novembro de 2004, onde foram coletados pontos de GPS

para a caracterização de algumas fisionomias vegetais e de uso da terra. As regiões do Estado do Mato Grosso visitadas podem ser observadas na Figura 1.

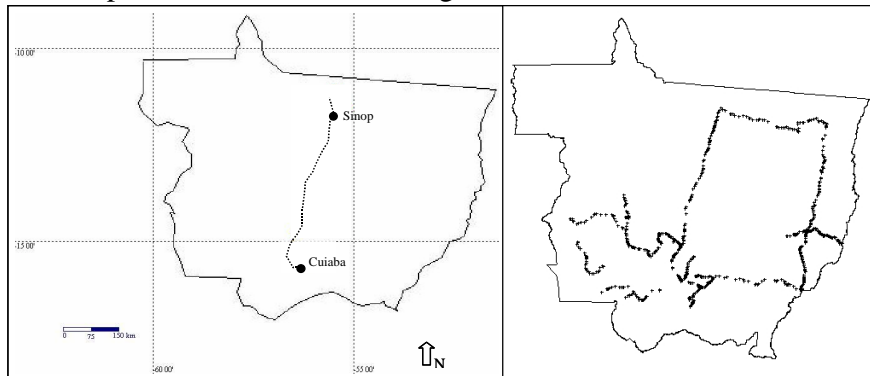


Figura 1- Regiões visitadas durante os trabalhos de campo: (a) em junho/julho de 2003; (b) em outubro/novembro de 2004.

A escolha das áreas para visita nesta região do Estado foram selecionadas com base em uma análise visual do comportamento espectral de regiões em que não foram possíveis inferir com imagens MODIS e imagens de resolução espacial mais fina qual o tipo de cobertura da terra da região.

Um exemplo de uma área com estas características pode ser observado na Figura 2. Nesta Figura, observam-se nos itens (a) e (b) duas cenas MODIS para o ano de 2002, a primeira referente a fevereiro (estação chuvosa) e a segunda referente a agosto (estação seca). No retângulo ressaltado em vermelho, observa-se uma área que apesar de ter sido classificada como Savana gramíneo-lenhosa, nota-se que na estação seca, a resposta espectral do solo não é tão evidente quanto nas demais áreas classificadas como o mesmo tipo de formação vegetal (região central estendendo-se até o oeste do Estado, ver Figura 3). No subitem (c) da Figura 2, observa-se esta mesma área em uma imagem Landsat, com uma resolução espacial de 30 metros. Ao realizar uma análise visual desta cena, observa-se que não existe um padrão no uso da terra, indicando que provavelmente não é uma área de agricultura. Desta forma, com base nos questionamentos levantados, realizou-se uma visita a esta área, com o objetivo de analisar se existia uma formação de Savana gramíneo-lenhosa com uma composição florística e estrutura diferentes, ou se esta área poderia ter algum uso que não foi possível identificar nas imagens (nem pelo padrão nem pela resposta espectral da vegetação). No subitem (d) observa-se fotografias tiradas em campo em uma parte desta região de interesse. Nesta área observaram-se pastagens (a resposta espectral geralmente é bem similar a áreas de cerrado, devido ao tipo de cobertura e a forte influência da sazonalidade), com uma grande cobertura de árvores e palmeiras. Provavelmente, devido a esta cobertura de árvores, na estação seca a resposta espectral do solo não fique tão evidente. Além disso, uma outra possibilidade esta associada ao tipo de solo da região. Caso este solo seja mais profundo e argiloso que os solos encontrados nas outras regiões com Savana gramíneo-lenhosa, é possível que a vegetação não sofra tanto o impacto da seca, permanecendo com as gramíneas sempre verdes durante os meses sem chuvas. Outra característica desta área é o processo de utilização do fogo nos manejos das pastagens, mostrando intenso uso desta região.

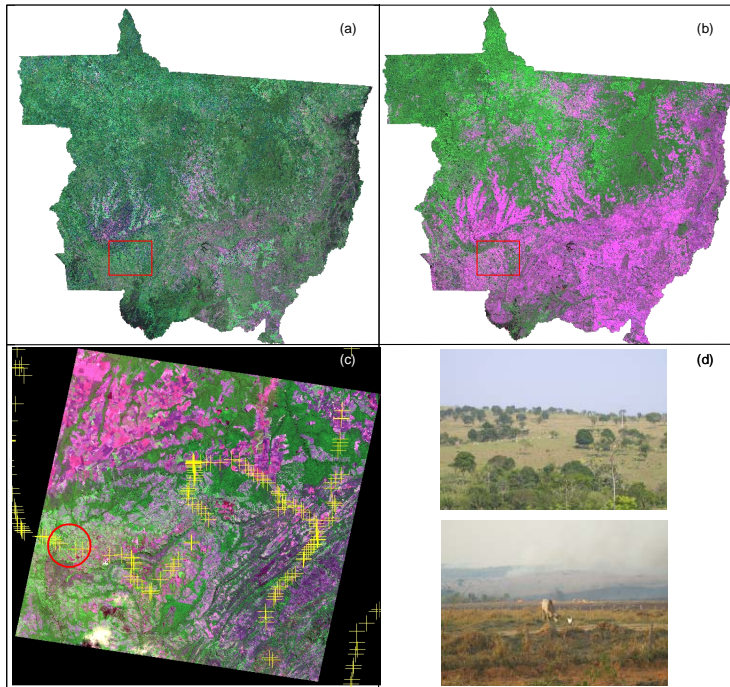


Figura 2 - Exemplo de uma área visitada devido a duvidas na classificação e na identificação da feição em análise visual de imagens. Em (a) observa-se uma imagem MODIS do ano de 2002 no mês de fevereiro; em (b) observa-se uma imagem MODIS do ano de 2002 no mês de agosto; (c) imagem ETM+, com o percurso percorrido em amarelo e no detalhe em vermelho ressalta-se a área de duas fotos tiradas durante a visita desta área (d).

## 5. Resultados e discussão

No processo de classificação notou-se que não houve uma grande diferença entre as imagens classificadas a partir das imagens fração e NDVI para 4 datas, utilização apenas das imagens fração das 4 datas selecionadas, utilização das imagens fração do mês de agosto e imagem NDVI do mês de agosto. Em todas as classificações testadas, observou-se que existe uma distinção clara entre pelo menos duas classes (a floresta e as formações de cerrado), que portanto são possíveis de se mapear. O resultado final do processo de classificação e mapeamento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso pode ser observado na Figura 3.

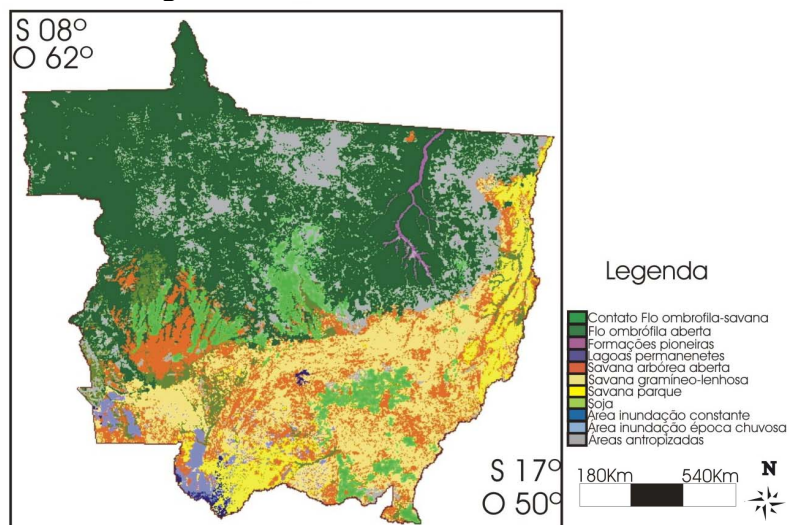


Figura 3 - Resultado do mapeamento da cobertura da terra para o Estado do Mato Grosso.

As estimativas de área dos temas classificados no mapa gerado foram:  
 Savana Parque: 42.400 km<sup>2</sup>; Savana Arbóreo Aberta: 114.200 km<sup>2</sup>; Savana Gramíneo-lenhosa: 152.400 km<sup>2</sup>; Floresta Ombrófila Aberta: 354.700 km<sup>2</sup>; Formações Pioneiras: 4.000 km<sup>2</sup>; Contato entre Floresta Ombrófila Aberta e Savanas: 30.000 km<sup>2</sup>; Áreas antropizadas: 135.000 km<sup>2</sup>; Soja: 41.198 km<sup>2</sup>; Lagos Permanentes: 2.700 km<sup>2</sup>; Área inundada na época de chuva: 16.200 km<sup>2</sup>;  
 Para analisar de uma maneira mais clara a contribuição de cada classe detectada para a área total do Estado do Mato Grosso, organizou-se os dados da seguinte forma (Figura 4):

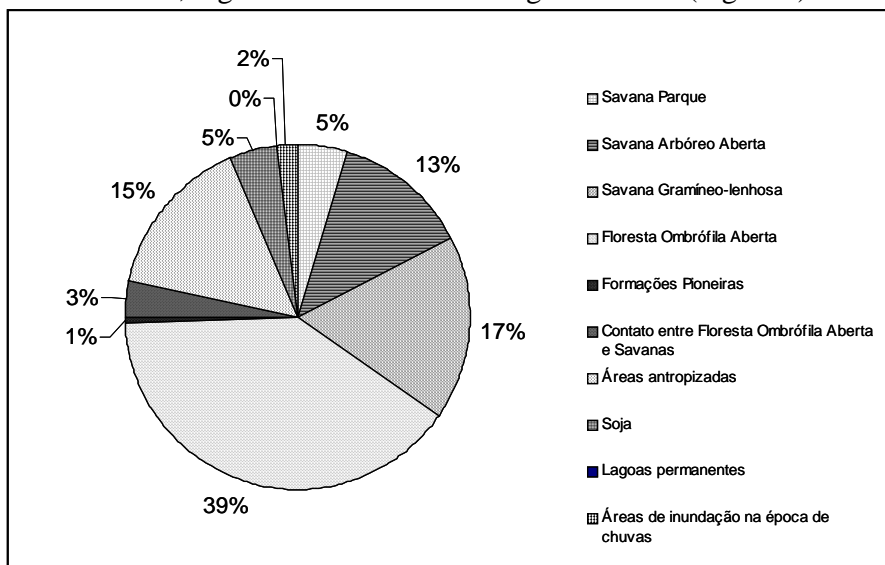


Figura 4 – Porcentagem da contribuição de cada uma das classes mapeadas para a cobertura da terra do Estado do Mato Grosso.

Na Figura 4 observa-se que a formação de Floresta Ombrófila Aberta ocupa 39% da cobertura vegetal da área de estudo, enquanto que a formação de Savana Gramíneo-lenhosa, a segunda formação com maior representatividade no Estado, ocupa uma área de 17%, seguida das áreas antropizadas, que ocupa 15% da cobertura do solo. A estimativa das áreas antropizadas não contabilizou as áreas de soja plantadas, pois foi possível separar no processo de classificação estes dois tipos de uso da terra, no entanto, se juntarmos as áreas de soja com as áreas antropizadas, temos uma área total de conversão da cobertura da terra pelo homem de 20% da área total do Estado.

As classes localizadas na região sul do Estado foram divididas entre áreas de Savana Parque (áreas que podem sofrer o processo de alagamento na época das chuvas), áreas permanentemente alagadas e áreas alagadas no período das cheias. As áreas que permanecem alagadas na época das chuvas possuem o tipo de formação vegetal de Savana Parque, e assim, pode-se contabilizar então uma área de 7% do Estado ocupado por esta formação vegetal.

Para a análise da proporção de cultura de soja em áreas de savana e em áreas de floresta, utilizou-se como limite entre as duas formações a máscara de não-floresta do PRODES. A porcentagem mostra que 88% da área plantada de soja estão sobre a região de formações de cerrado, e 12% da área plantada está sobre as áreas de florestas convertidas.

Do total de áreas antropizadas, que foram mapeadas em 16% da área total do Estado, não foi possível estabelecer com exatidão o quanto destas áreas foram alteradas em áreas de cerrados e florestas, pois uma grande parte desta ocupação está sobre a região de contato entre os dois tipos de vegetação, e não existe um limite claro entre eles.

## 6. Conclusões

A análise da assinatura espectral das amostras adquiridas nas imagens NDVI, de janeiro a dezembro, com o objetivo de selecionar as melhores datas para garantir a classificação do maior número de classes mostrou-se fundamental para atingir o resultado. Aliado a isso, a etapa de segmentação de imagens, que se utilizou apenas 4 imagens NDVI selecionadas, e a etapa de extração de regiões, em que se utilizou todas as imagens mensais do NDVI e das imagens fração, mostraram-se essenciais para o mapeamento das classes.

Com base na metodologia utilizada no processo anterior à classificação, o número de imagens usadas para a aplicação dos algoritmos de classificação não mostrou ser um fator crucial para se atingir o resultado esperado.

O processo de mosaicagem das classes selecionadas, a partir dos resultados obtidos por diferentes classificadores, permitiu a verificação e edição destas classes separadamente para a geração do mapa final de cobertura da terra.

O resultado final da classificação da cobertura da terra para o ano de 2002 foi considerado satisfatório, pois permitiu o mapeamento de um maior número de classes que os mapas já gerados com sensores de baixa resolução espacial, temporal e espectral.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto (Proc. 2003/01727-0), ao projeto LBA-LC/22, pela verba utilizada no primeiro trabalho de campo.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, A.P.D, Shimabukuro, Y.E., Mascarenhas, N.D.A., 1999, Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 647-657.
- Câmara, G; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n.3, p. 395-403, 1996.
- Defries, R.S.; Houghton, R.A.; Hansen, M.C.; Field, C.B.; Skole, D. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online]. v. 99, n. 22, p. 14256-14261, Out. 2002.
- Justice, C.O.; Townshend, J.R.G.; Vermote, E.F.; Masuoka, E.; Wolfe, R.E.; Saleous, N.; Roy, D.P.; Morisette, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 3-15, 2002.
- Lambin, E.F. Modeling and monitoring land-cover changes processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, v. 2, n. 3, p. 375-393, 1997.
- 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*, 29, 16-20, 1991.
- Soares Filho, B.S. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no norte do Mato Grosso. In: X SBSR. *Anais*. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 987-995.
- Souza, I.M.; Martini, P.R.; Duarte, V.; Moreira, M.A.; Aulicino, L.C.N.; Rodriguez Yi, J.L.; Shimabukuro, Y.E.; Rudorff, B.F.T. Parques indígenas e fronteiras agrícolas na Chapada dos Parecis (MT): uma análise temporal por imagens TM-LANDSAT. [CD-ROM] In: IX SBSR, 1998. *Anais*. Santos, SP: INPE, 1998.
- Zhan, X.; Sohlberg, R.A.; Townshend, J.R.G.; Dimiceli, C.; Carroll, M.L.; Eastman, J.C.; Hansen, M.C.; Defries, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, 2002.