

Dados de sensoriamento remoto para análise da expansão da fronteira agropecuária no Estado do Mato Grosso

Kleber Trabaquini¹
Pedro Valle de Carvalho e Oliveira¹
Moisés Pereira Galvão Salgado¹
Antônio Roberto Formaggio¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil
{kleber, pedrovco, salgado, formag}@dsr.inpe.br

Resumo. A expansão agropecuária nas últimas décadas no Estado do Mato Grosso tem resultado numa significativa redução da cobertura vegetal natural, sendo convertida em grande parte para atividades agropecuárias. Esse trabalho tem por objetivo realizar uma análise multitemporal, entre o período de 1986 a 2006, das mudanças do uso e cobertura do solo para um município localizado no Estado do Mato Grosso e de domínio do bioma Cerrado, utilizando o modelo linear de mistura espectral (MLME) e imagens do sensor TM/Landsat5. A partir de imagens fração gerados pelo MLME, segmentou-se a fração sombra e, para a classificação automática das classes de cobertura, utilizaram-se imagens fração sombra e solo. Posteriormente, foi realizada uma operação de comparação entre as classificações, através de um script em LEGAL, resultando em três mapas cujas informações representam as transições, seja acréscimo ou decréscimo, das classes de uso. Foi observado que 68.164 ha de vegetação natural sofreram influências antrópicas durante o período de estudo.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, modelo linear de mistura espectral, expansão agropecuária, vegetação natural.

Abstract. The agricultural expansion in the last decades in the state of Mato Grosso has resulted in a significant reduction of natural vegetation cover, largely changed to agricultural activities. This work aims to perform a multitemporal analysis, between the period 1986-2006, of the changes of land use and land cover for a municipality located in Mato Grosso, over the Cerrado domain, using linear spectral mixture model (MLME) and TM/Landsat5 images. From fraction images generated by the MLME, we segmented the shade fraction and, for the automatic classification of land cover types, we used the shade and soil fraction images. Later, we conducted a comparison operation between the classifications applying a LEGAL script, resulting three maps presenting transitions information, in other words, the increase or the decrease of the use classes. It was observed that 68.164 ha of natural vegetation suffered anthropogenic influences during the study period.

Key-words: remote sensing, linear spectral mixing model, agricultural expansion, natural vegetation

1. Introdução

Com características edafoclimáticas favoráveis, o estado do Mato Grosso, o qual possui grande parcela de seu território inserido no bioma Cerrado, antes utilizado apenas para atividades de mineração e de madeira para produção de carvão, vem tornando-se alvo de grande afluência para usos agrícolas a partir da década de 1970. Com incentivos de políticas e programas governamentais de ações diretas e viabilizados por inovações agronômicas, foram criadas, nesse estado, condições para a expansão da agricultura e ocupação do espaço de uma forma intensa (Jepson, 2005).

Todos esses fatores foram determinantes para o início da então chamada “expansão da fronteira agropecuária”, que proporcionou importantes impactos positivos na economia brasileira, transformando este país numa potência exportadora de produtos agrícolas (Faleiro; Souza, 2007). Assim, o estado do Mato Grosso, vem aplicando um modelo de ocupação do espaço e de produção desenvolvido, com o objetivo de atender, principalmente, ao mercado internacional. Para isso, exige-se cada vez mais o aumento da produtividade, produção em larga escala e de forma intensiva, com o auxílio de altas doses de fertilizantes, pesticidas e emprego de grandes frotas de máquinas agrícolas. Conseqüentemente, o estado se tornou, nas últimas quatro décadas, a grande fonte de produção de grãos do país, principalmente com produtos como, soja e milho.

Porém todo esse desenvolvimento e expansão da fronteira agropecuária foram acompanhados de uma significativa redução da cobertura vegetal natural, sendo o desmatamento de áreas naturais uma prática muito observada nas últimas décadas. Segundo Jepson (2005), a pecuária foi a atividade antrópica pioneira e a que proporcionou as maiores taxas de desmatamentos neste ambiente até meados de 1985, porém, em anos posteriores, a prática agrícola de intensa capitalização passa a ser o grande vetor de ocupação. Dada a importância da agricultura sobre a economia brasileira, a economia mato-grossense e os danos ambientais resultantes dessas atividades, se enfatiza a necessidade de análise das dinâmicas das mudanças de uso e cobertura da terra (Lucc).

Para Moran *et al.* (1994), a expansão agropecuária sobre florestas tropicais tem sido a principal causa da perda de habitat natural no Planeta. Tal atividade é o principal agente para o desmatamento no bioma Amazônia e Cerrado e produz diversos impactos negativos, entre eles, a perda de biodiversidade, que coloca em risco um elevado número de espécies endêmicas desses domínios; aumento das perdas de solo por erosão e conseqüente redução da fertilidade do solo; assoreamento e eutrofização dos rios, etc.

Portanto, é necessário avaliar essa expansão agropecuária a fim de se adquirir dados necessários para análise dessa dinâmica, na qual tem sido considerada uma atividade geradora de impactos. Nesse contexto, técnicas de sensoriamento remoto e imagens de

satélites têm se tornado importantes ferramentas para obtenção de informações úteis de forma rápida e eficiente sobre grandes regiões, permitindo uma economia de tempo e recursos.

Dentre as diversas técnicas de processamento de imagens, destaca-se a aplicação do modelo linear de mistura espectral (MLME). O MLME possibilita estimar em cada pixel a proporção das componentes solo, vegetação e sombra com base nas bandas espectrais de um sensor. Por fim, são obtidas imagens fração solo, vegetação e sombra (Shimabukuro; Smith, 1991). O modelo pode ser descrito conforme a **Equação 1** descrita a seguir:

$$r_i = a \times vege_i + b \times soil_i + c \times shade_i + e_i \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde r_i é a resposta espectral do pixel na banda i ; a , b , c são respectivamente as proporções de vegetação, solo e sombra; $vege_i$, $soil_i$, $shade_i$ são respectivamente as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra; e e_i é o erro da banda espectral i .

Diversos autores têm demonstrado a aplicação deste modelo. Ferreira *et al.* (2003) avaliaram o uso MLME no mapeamento de fisionomias do Cerrado. O modelo foi aplicado numa cena Landsat na estação seca (julho de 2001), e as posteriores imagens fracionadas (vegetação, solo e sombra) foram capazes de distinguir grande parte do domínio do Cerrado, ou seja, vegetação herbácea, arbustiva e arbórea.

Shimabukuro *et al.* (1995) apresentaram a contribuição de imagens fracionadas a partir do MLME para monitoramento dinâmico da cobertura da terra. Imagens de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e imagens fração (vegetação, solo e sombra) foram derivadas de dados digitais do sensor TM adquiridos na estação seca e chuvosa no município de Taquari, Estado do Mato Grosso do Sul, a fim de detectar mudanças que ocorreram durante o período de estudo. Os resultados indicaram uma elevada sensibilidade da imagem fração vegetação com as variações de cobertura da terra em comparação a imagem NDVI.

Já Duarte *et al.* (2003) propôs técnicas de imagens do MLME, segmentação por crescimento de regiões e classificação por regiões com o intuito de mapear a extensão de desflorestamento bruto na Amazônia brasileira utilizando imagens originadas do satélite Landsat-5. E, através destes passos, estabeleceram a metodologia para se fazer o monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite – denominado de programa PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia).

Portanto este trabalho fez uso do MLME para a detecção de mudanças do uso e cobertura do solo para um município localizado no Estado do Mato Grosso e de domínio do bioma Cerrado.

2. Objetivo

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar as mudanças de uso e cobertura do solo numa escala multitemporal, no período de 1986 a 2006, utilizando dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens, a fim de quantificar a expansão da agropecuária sobre a cobertura vegetal natural no bioma Cerrado, particularmente no município de Lucas do Rio Verde - Estado do Mato Grosso.

3. Material e Métodos

A região selecionada para este estudo foi o município de Lucas do Rio Verde, localizado no médio-norte do estado de Mato Grosso, possuindo como coordenada central 13° 02'47" S e 56° 08'54" O, distante 350 km da capital Cuiabá (**Figura 1**). Apresenta altitude média de 390 m e uma área total de 3664.34 km², com áreas extensas de planícies.

A região apresenta dois tipos predominantes de fitofisionomias. A primeira é a savana arborizada, a qual ocorre nas regiões de maior altitude e a segunda é a floresta ombrófila, ocorrendo com maior frequência nas matas ciliares e áreas de baixa altitude (Seplan, 2002).

O município possui clima, solos e relevo altamente favoráveis à prática agrícola. E por isso, a região encontra-se entre um dos principais produtores de grãos deste estado, ocupando o 5º lugar em produção de soja com 225.830 ha de área colhida no ano de 2006 e 1º lugar em produção de milho segunda safra, com 160.80 ha de área colhida para o mesmo período. Quanto à pecuária, o município apresenta uma pequena parcela de área destinada à esta atividade, com aproximadamente 16.000 cabeças de bovinos (IBGE, 2009).

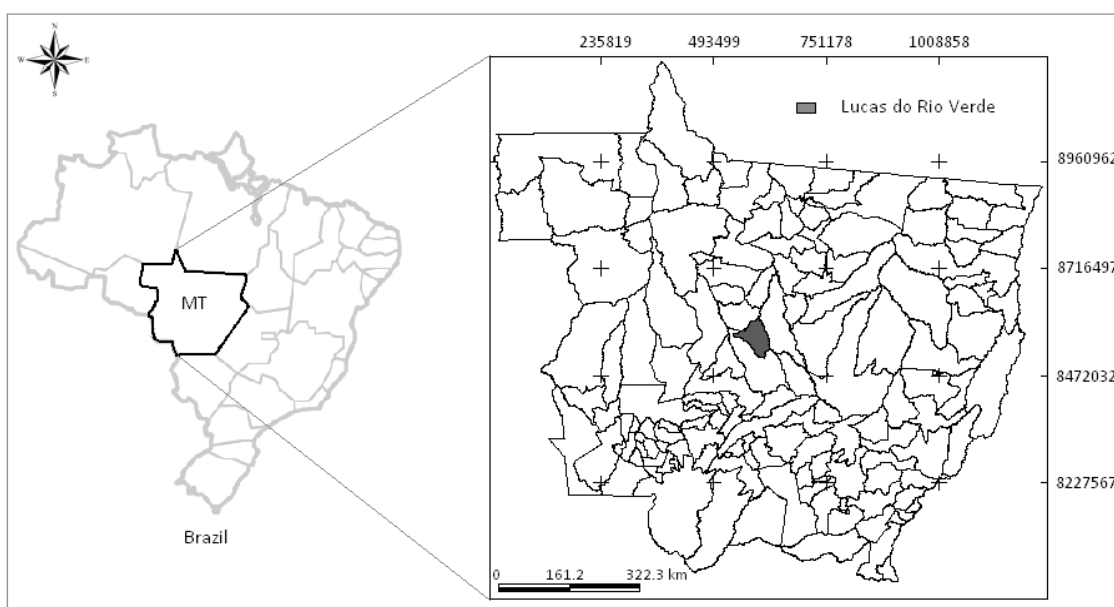


Figura 1. Área de estudo com a localização do município de Lucas do Rio Verde no Estado do Mato Grosso, Brasil.

Foram utilizadas imagens adquiridas pelo sensor Thematic Mapper (TM) de 30 m de resolução espacial, referente ao satélite Landsat-5, disponíveis no banco de imagens da DGI/INPE (2009) para realizar o presente trabalho. As datas das imagens coletadas são as seguintes: 1986-27-06; 1996-06-06; 2006-06-02, todas referentes à órbita/ponto 227/69. No software ENVI 4.5 as imagens foram georreferenciadas com base em uma cena Landsat TM-5, ortorretificada, de 1992-07-05 proveniente do acervo do *Global Land Cover Facility* (NASA, 2009).

Com o objetivo de identificar a expansão agropecuária e o conseqüente desmatamento da região, foram utilizadas as bandas espectrais 3 (0,63-0,69 µm), 4 (0,76-0,90 µm) e 5 (1,55-1,75 µm), do sensor TM, nas quais foram aplicadas o MLME no software ENVI 4.5, segundo a metodologia de Shimabukuro e Smith, (1991). Para isso, foram coletadas amostras de pixels puros (endmembers) das áreas de solo exposto, vegetação e sombra, tendo como resultado três imagens, sendo definidas como a fração solo, sombra e vegetação para cada ano de estudo. Na **Figura 2** é apresentada uma amostra do resultado

do MLME para o ano de 2006, com as frações solo, sombra e vegetação.

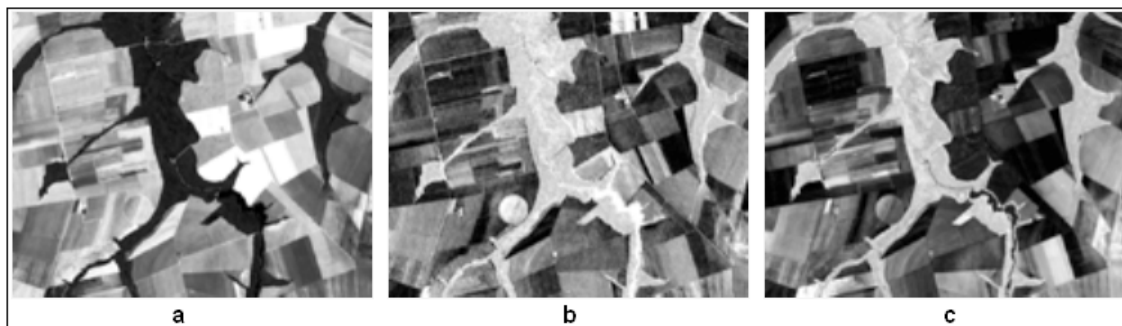


Figura 2. Amostras do MLME para o ano de 2006, apresentando as frações solo (a), sombra (b) e vegetação (c), para uma determinada região do município de Lucas do Rio Verde, MT.

Apenas as frações sombra e solo resultantes de cada um dos cenários foram utilizadas como produto para a segmentação, a qual tem por objetivo o agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Para esta etapa foram definidos dois parâmetros, a saber: 1) limiar de similaridade de 20 e 2) área de 35 pixels para cada ano. A imagem fração sombra foi escolhida para a segmentação por representar áreas densamente vegetadas com significativo percentual da componente sombra, em função dos vários estratos que compõem a estrutura de uma floresta e a irregularidade do dossel, contrastando com uma baixa quantidade de sombra no caso de áreas com ocorrência de regeneração florestal, áreas agrícolas e pastagens.

Já a fração solo foi escolhida por apresentar alto contraste das áreas nativas em relação às áreas de solo exposto (**Figura 2**). Para a quantificação das áreas naturais e antropizadas, foi utilizada a classificação supervisionada pelo método de Bhattacharya, com limiares de aceitação de 99% para todas as cenas. Ambos os procedimentos anteriormente citados foram executados no software SPRING 4.3.3.

A partir das classificações realizadas nas imagens verificaram-se as mudanças que ocorreram entre os anos nas classes vegetação natural e antropizado para os três anos de estudo. Para este estudo considerou-se áreas antropizadas todas aquelas ocupadas por alguma classe de atividade antrópica, sejam estas culturas agrícolas ou pastagens. Para a classe vegetação natural, considerou-se todas as áreas sem nenhum tipo de ocupação antrópica. Com o objetivo de verificar as transições de classes entre os anos, foi criado, no mesmo software, um script em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). A partir dele se originaram três mapas que apresentam as transições e o incremento entre as classes de uso.

4. Resultados e Discussão

Pode ser observado que o uso do MLME se mostrou eficiente na determinação das áreas com vegetação natural e antrópicas. Diferentemente dos resultados obtidos por Ferreira *et al.* (2003), no qual vislumbraram a potencialidade de identificar as fitofisionomias do Cerrado, no caso desse estudo se buscou analisar as áreas com vegetação como um todo, ou seja, minimizou os possíveis erros de definição das classes de uso.

Os mapas temáticos resultantes da classificação das imagens fração solo e sombra são mostrados na **Figura 3** e os resultados da estimativa de áreas desflorestadas ao longo do

período de estudo são apresentados na **Tabela 1**. Os resultados das classificações indicam uma redução de 11,8% de áreas que eram cobertas por vegetação natural entre 1986 e 1996 e uma diminuição de 4,2% entre 1996 e 2006, mostrando ainda uma elevada taxa de desflorestamento no período 1986-1996 em relação a 1996-2006. Conseqüentemente, as áreas classificadas como antropizadas, ou seja, alteradas pela atividade humana, tiveram um aumento de 16% durante o período estudado, elevando a ocupação a 71,7% da área total do município em 2006.

Tabela 1. Estimativa de área ocupada pelas classes mapeadas no processo de classificação das imagens fração.

Classes de Uso	Área em hectares e %					
	1986		1996		2006	
	ha	%	ha	%	ha	%
Vegetação Natural	162.2	44.3	119.3	32.5	103.6	28.3
Antropizado	204.5	55.7	247.4	67.5	263.1	71.7
Total	366.7	100	366.7	100	366.7	100

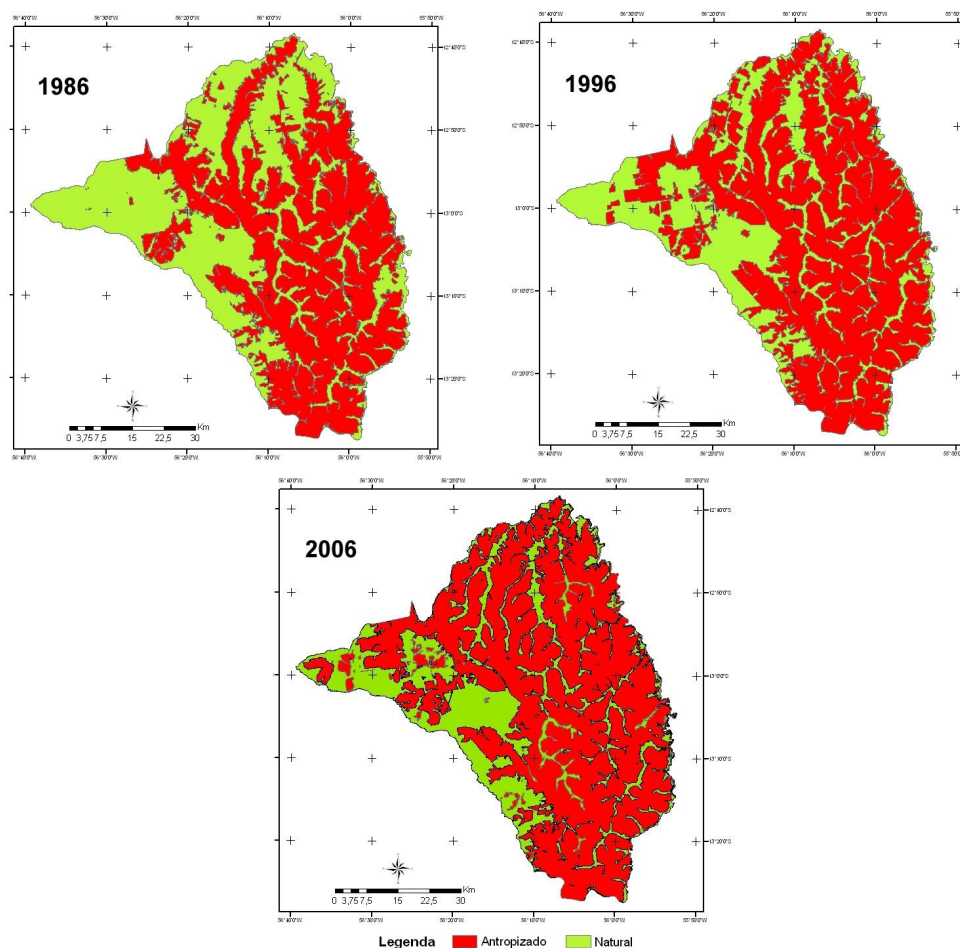


Figura 3. Imagens classificadas (antropizado e vegetação natural) para os anos de 1986, 1996, 2006 para o município de Lucas do Rio Verde, MT utilizando MLME.

Algumas das variáveis capazes de elucidar a dinâmica das classes ao longo dos anos em estudo são a altimetria e a declividade. Conforme se observa na **Figura 4**, há o predomínio das áreas antropizadas a uma altitude que varia entre 400 e 450 metros em

todos os anos de estudo. Cabe ressaltar que houve expansão notória da atividade humana entre 300-350, 350-400 e 400-450 metros de altitude com o passar dos anos e a redução gradativa das áreas de vegetação natural.

A **Figura 5** demonstra claramente a predominância da antropização nas áreas onde há declividade inferior a 3% em relação às áreas entre 3 e 8%. Nessas duas classes de declividade também se percebem a expansão da atividade antrópica ao longo dos anos uma vez que existe a relação inversa entre antropização e área de vegetação natural.

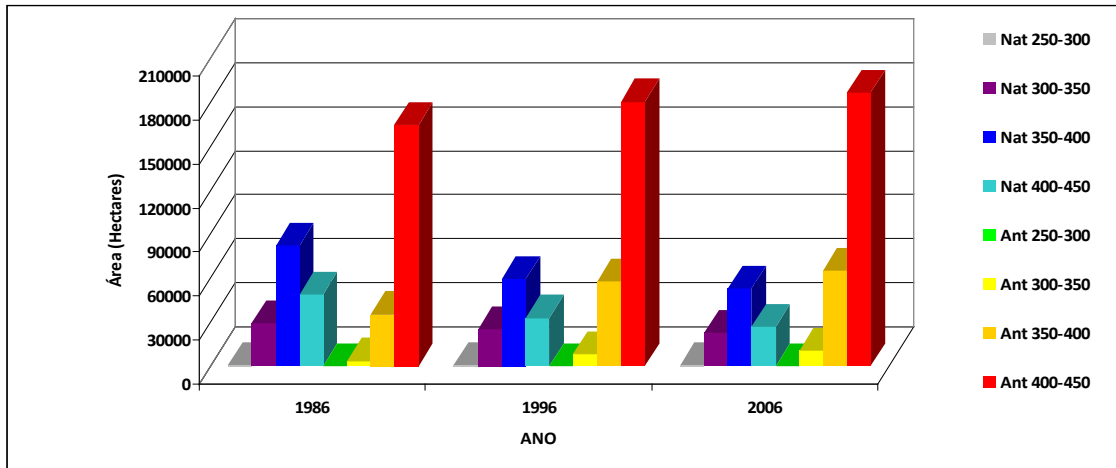


Figura 4. Gráfico da relação entre altimetria e área dos usos natural e antropizado para o período estudado.

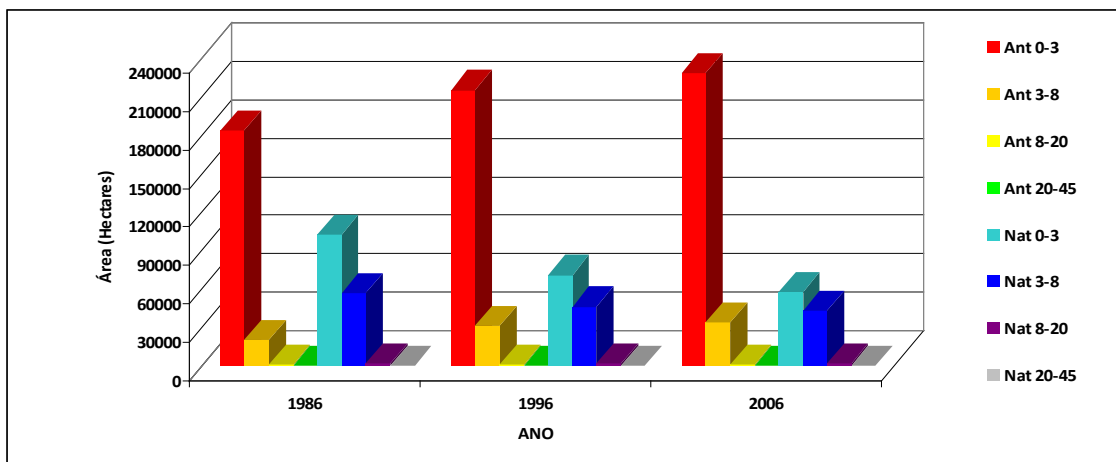


Figura 5. Gráfico da relação entre declividade e área dos usos natural e antropizado para o período estudado.

Com base no que se observa na **Figura 6**, o predomínio de áreas antropizadas ocorre em regiões de declividade máxima de 3% e com altitude entre 400 e 450 metros. Uma razão para que tal fato ocorra se relaciona à facilidade de se operar máquinas, otimizando o sistema de cultivo, principalmente da soja.

Os mapas de transição entre as classes, mostrados pela **Figura 7**, permitem analisar as dinâmicas de mudança de cobertura da terra ao longo do período de estudo. Foi ainda observado que 68.164 ha ocupados por vegetação natural em 1986 se converteram em áreas antropizadas. Somente 9.499 ha foram identificados como áreas de regeneração da vegetação natural.

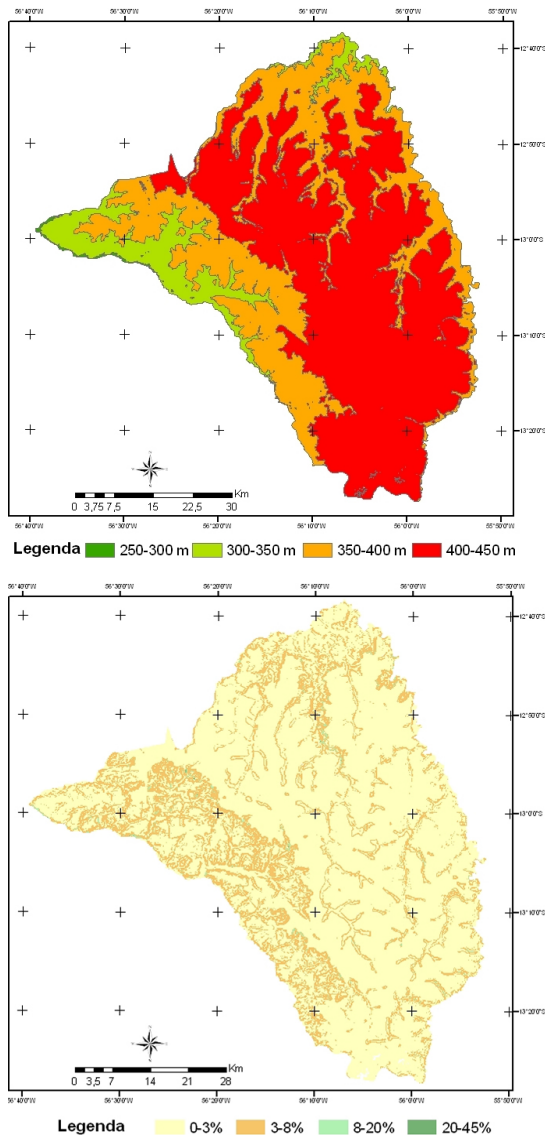


Figura 6. Mapa altimétrico e mapa de declividade do município de Lucas do Rio Verde.

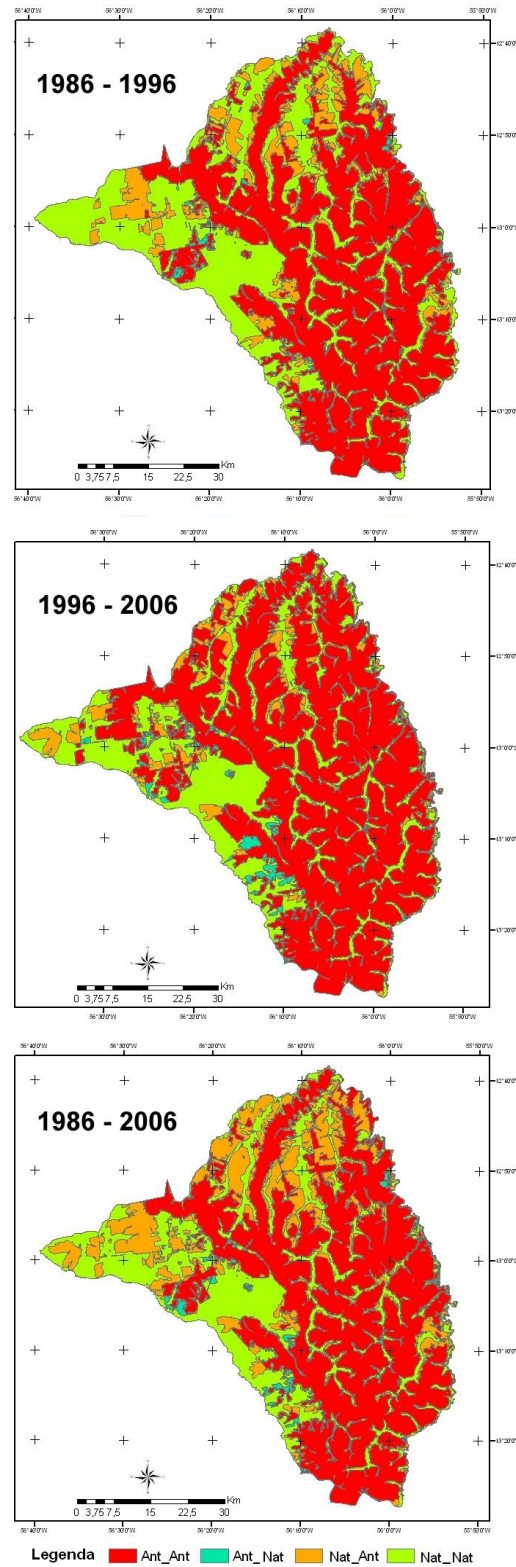


Figura 7. Mapa de transição de classes (antrópico e vegetação natural) gerado através de LEGAL.

5. Conclusões

O trabalho apresentado verificou a evolução do desmatamento no município de Lucas do Rio Verde utilizando dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagem. Utilizando a técnica do MLME, foi possível acompanhar e quantificar as transições do uso e cobertura da terra no município de Lucas do Rio Verde no período analisado. Convém destacar que para um refinamento da classificação seria oportuna a adoção de imagens de referência, ou verdades de campo, visando realizar análises estatísticas, como exatidão global ou índice Kappa. Mesmo assim, a classificação automática aplicada ao mapeamento das classes avaliadas (natural e antropizada) provou ser eficaz para o monitoramento do avanço da fronteira agrícola no bioma Cerrado, apresentando um grande potencial para estudos aplicados a outros biomas e fitofisionomias.

6. Referências

- Aguiar, A.P.D.; Shimabukuro, Y.E.; Mascarenhas, N.D.A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 4, p. 647-657, 1999.
- Barros, A. L. M. **Capital, produtividade e crescimento da agricultura: o Brasil de 1970 a 1995**. Piracicaba, 1999. 220p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E.; Aulicino, L. Metodologia para padronizar e atualizar o banco de dados do Projeto “Prodes Digital”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2705-2712. 2003.
- Faleiro, F. G.; Souza, E. S. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina-DF. Embrapa Cerrados, 2007. 138 p.
- Ferreira, M. E.; Ferreira, L. G.; Sano, E. E.; Shimabukuro Y. E. Uso do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento sistemático e operacional do bioma cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos metodológicos. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 11. Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 657-664. 2003.
- Figueiredo, M.G. **Agricultura e estrutura produtiva do estado do Mato Grosso: uma análise insumo-produto**. Piracicaba, 2003. 188p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Food and Agriculture Organization (FAO). Statistical database: Faostat: agriculture [Online]. Disponível em <<http://www.fao.org>>. Acesso em: dez/2009.
- Jepson, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.
- Klink, C.A.; Machado, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, vol. 1, n. 1, p.147-155, 2005.
- Mas, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 1, p.139-152, 1999.
- Moran, E.; Brondizio, E.; Paul, M. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. **BioScience**, v.44, n. 5, p. 329-338, 1994.
- Olander, L. P.; Gibbs, H. K; Steininger, M.; Swenson; J. J.; Murray; B. C. Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: a review of data and methods. **Environmental Research Letters**, v. 3, p.1-11, 2008.
- Pereira, S.R. A política de garantia de preços mínimos e o complexo soja. **Revista de Política Agrícola**, vol. 2, n. 3, p.23-24, 1993.
- Post, W.M.; Izaurralde, R. C; Mann, L. K; Bliss, N. Monitoring and verifying changes of organic carbon

in soil. **Climatic Change**, v. 51, p.73-99, 2001.

Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN). Relatório técnico de vegetação consolidado para o estado de Mato Grosso. Mato Grosso, 2002. Mapa Temático. Escala 1:250.000.

Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p.989-1003, 1989.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J. A. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.L.M.; Ponzoni, F.J. Índice de vegetação e imagens frações derivadas do modelo linear de mistura espectral para monitoramento da região do Pantanal. In: Encontro Sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal, 1, 1995, Corumbá. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Resumo, p. 175-177. 1995.