

Detecção de mudanças de uso do solo por sensoriamento remoto e técnicas de classificação de imagens no Cerrado do Mato Grosso

Kleber Trabaquini¹
Bruno Schultz¹
Julio César de Oliveira¹
Antonio Roberto Formaggio¹
Lênio Soares Galvão¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{kleber, schultz, jcesar, formag, lenio}@dsr.inpe.br

Abstract. The expansion of modern agriculture in recent years has resulted in significant changes in Land Use and Land Cover (LULC) in the Mato Grosso state, Brazil. The landscape dominated by agricultural activities became a dynamic mosaic composed of different land use types. Thus, the objective of this study is to characterize the land cover changes due to agricultural activities using images acquired along 20 years in a study area located in the North of Mato Grosso. TM/Landsat-5 images from 1990 to 2010 were classified and analyzed. The classification results indicated a reduction in the Cerrado area from 73.2% (11,699.3 km²) to 46.3% (7,408.9 km²) in only twenty years, which was converted into agro-pastoral land covers.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, agriculture, land use and land change, sensoriamento remoto, processamento de imagens, agricultura, mudanças de uso e cobertura do solo.

1. Introdução

Nas últimas décadas, o estado do Mato Grosso vem passando por intensas modificações do uso e cobertura do solo, devido à substituição da vegetação de cerrado pela agricultura moderna e grandes áreas de pastagens (Kaimowitz e Smith, 2001; Klink e Moreira, 2002). Esta dinâmica de mudança é impulsionada em grande parte pelos incentivos de políticas governamentais e pelo avanço tecnológico das práticas agrícolas na região, o que tem resultado em um avanço da fronteira agrícola e transformado o Estado no maior produtor de soja no Brasil (Fearnside, 2001; Jepson 2006; Arvor et al., 2009).

Diversos autores apontam a agropecuária como o agente que mais influencia nas mudanças de uso e cobertura do solo no mundo (Foley et al., 2005; Goldewijk e Ramankutty, 2004; Haberl et al., 2007; Leff et al., 2004). Sabendo que o Brasil, considerado um dos celeiros do mundo, tem sido alvo de significativas mudanças em determinadas regiões, o sensoriamento remoto tem sido usado a fim de avaliar estas mudanças na região dos Cerrados. Porém, como analisam Brannstrom et al. (2008), verifica-se que têm sido feitas análises de ampla abrangência (p.ex., todo o bioma), fazendo com que diferenças intra-regionais em termos de taxas e de padrões espaciais tenham sido negligenciados.

Entre os trabalhos realizados na área de LULC (Land Use/Land Cover) destacam-se os de Mantovani e Pereira (1998) que visa avaliar a integridade da cobertura vegetal; Machado et al. (2004) que estimam as perdas de áreas naturais; e Jepson (2005) que analisa os perigos da rapidez de antropização do bioma. Entretanto, a taxa, a extensão e o padrão de mudanças que vêm ocorrendo nos Cerrados ainda são pobremente documentados, conforme destacam Brannstrom et al. (2008).

Assim, o presente trabalho teve como principal objetivo utilizar técnicas de classificação de imagens orbitais e detecção de mudanças para verificar a dinâmica das áreas alteradas em função da implantação de atividades agropecuárias em uma região localizada no norte do estado do Mato Grosso, onde vem ocorrendo intensa atividade agrícola ao longo de 20 anos.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo está localizada na porção norte do estado do Mato Grosso, entre as coordenadas 13° 41' S / 55° 44' O e 12° 30' S / 54° 37' O, totalizando 15.736 km². Esta região foi selecionada devido às grandes taxas de desmatamentos e modificações observadas nas últimas décadas, além da intensa conversão floresta-agricultura, em grande parte substituída pelas culturas de soja/milho (Arvor et al., 2009). Os principais fatores que desencadearam estas mudanças estão relacionados principalmente à crescente demanda global por alimentos, às mais recentes contribuições das instituições de pesquisas agronômicas (principalmente novas variedades, adaptadas às características dos cerrados) e a políticas governamentais que incentivando o desmatamento e a ocupação do Cerrado, tendo a cultura da soja como principal prática agrícola no estado do Mato Grosso (Brannstrom et al., 2008; Jepson, 2006).

Foram utilizadas duas cenas do sensor TM/Landsat-5 (órbita/ponto 226/69) nas datas de 02/08/1990 e 24/07/2010. As cenas foram selecionadas levando-se em consideração a menor cobertura por nuvens e também pelo fato desta época, mês de julho e agosto, a vegetação natural apresentar alto contraste com o solo exposto (Figura 1).

As imagens foram georreferenciadas a partir das imagens Geocover (GLCF, 2010) disponíveis para o mesmo ano analisado. Em cada cena foram selecionados 40 pontos de controle e, utilizado um polinômio de segundo grau para a correção geométrica das imagens, obtendo ao fim deste processamento um RMSE de 0,4 pixel.

A correção atmosférica foi aplicada nas imagens utilizando o algoritmo Flaash (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) que utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN para estimar os parâmetros atmosféricos (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002).

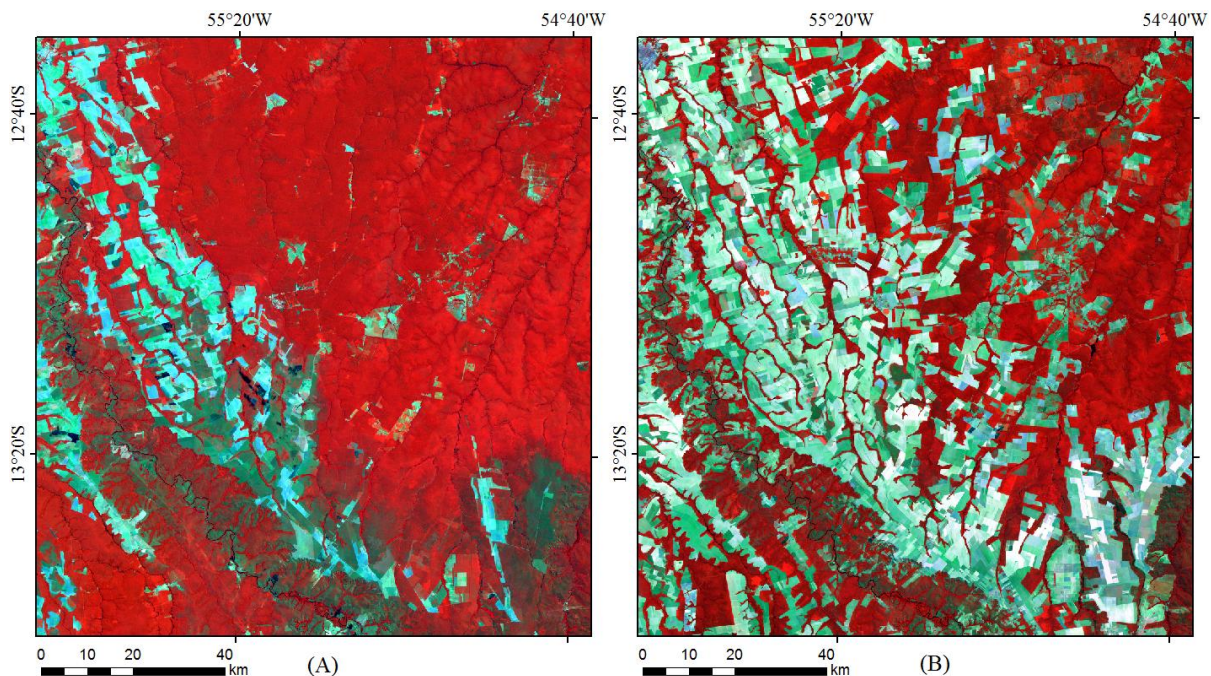


Figura 1. Imagens TM/Landsat-5 utilizadas na classificação e detecção de mudanças entre os anos de 1990 (A) e 2010 (B), em composição colorida R(4)G(5)B(3), localizada na região norte do estado do Mato Grosso.

Para a classificação das imagens, foram utilizadas as seguintes bandas espectrais: B1 (0,45 - 0,52 μm), B2 (0,52 - 0,60 μm), B3 (0,63 - 0,69 μm), B4 (0,76 - 0,90 μm), B5 (1,55 - 1,75 μm) e B7 (2,08 - 2,35 μm).

A seqüência de etapas necessárias para a classificação das imagens é representada na Figura 2. O eCognition®, software utilizado no processamento das imagens, é um ambiente computacional baseado em análise orientada a objeto, e utiliza a similaridade entre as classes hierárquicas para determinar a proximidade dos objetos segmentados dentro de cada classe.

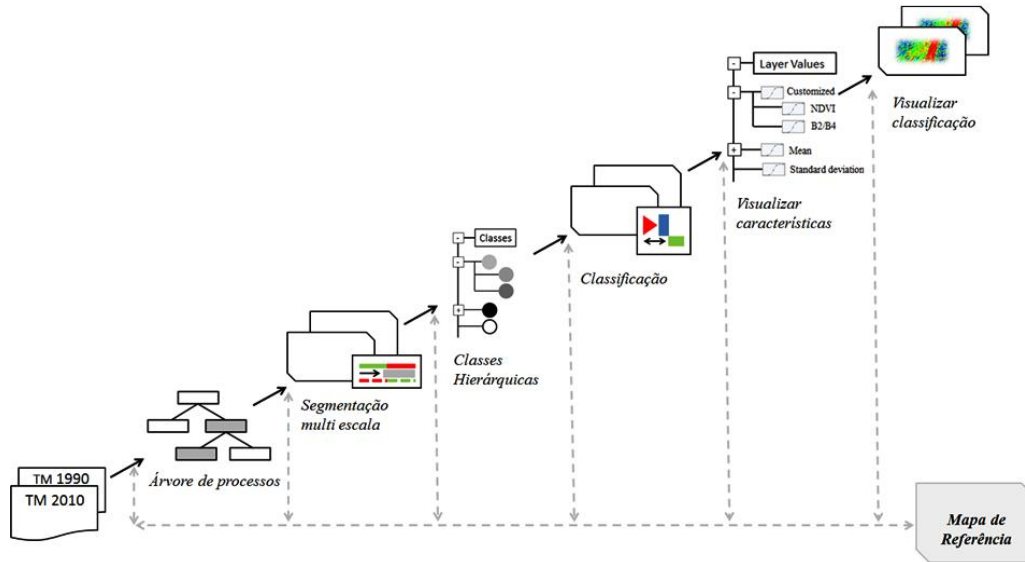


Figura 2. Fluxograma ilustrando as principais etapas e as abordagens utilizadas para a classificação baseada na similaridade entre as classes hierárquicas. Setas escuras indicam a seqüência das etapas para a classificação, e as setas mais claras apresentaram interação entre etapas.

A segmentação da imagem foi realizada pelo algoritmo *Multiresolution Segmentation* (segmentação multiescala) onde foram determinados os seguintes parâmetros: a compacidade para os objetos (0,6); a forma (0,2); a escala dos parâmetros (20); e o peso das bandas B1, B2, B3, B4, B5 e B7 (1). Os valores destas variáveis foram obtidos após vários testes e avaliação visual dos resultados. Após a segmentação das imagens foram utilizados os limiares de similaridade para as classes predefinidas pelo usuário, onde a árvore de decisão gerada para a classificação é descrita na Figura 3.

Inicialmente foram identificadas cinco classes de uso e cobertura na área de estudo: Cerradão (fisionomia florestal); Campo limpo (fisionomia campestre); Agropecuária; Cicatrizes de queimada e Corpos d'água. A partir do conhecimento *in loco* adquirido na área de estudo foram definidas como classe Agropecuária as áreas destinadas tanto para agricultura como para pastagem. Como o principal objetivo do presente estudo é discutir as mudanças ocorridas em relação à conversão da vegetação nativa para agropecuária, as classes Cerradão e Campo limpo foram integradas em uma única classe denominada Cerrado. Finalmente, as classes Cicatrizes de queimada e Corpos d'água foram englobadas numa classe nomeada como "Outros". Portanto, a classificação final de uso e cobertura da área de estudo passou a ter três classes: Cerrado, Agropecuária e Outros.

Para avaliar as mudanças de cobertura entre as datas analisadas foi utilizada a mesma metodologia de detecção de mudanças baseada em trabalhos de Kamusoko et al. (2009). O produto final desta análise consiste em um mapa com as categorias de perda, ganho e permanência das classes mapeadas em 1990 e 2010, enfatizando as mudanças ocorridas entre as classes Cerrado e Agropecuária. Além disso, com o intuito de analisar onde ocorreram as maiores mudanças, foi gerado um mapa de tendência de mudanças utilizando o módulo Land Change Modeler do software IDRISI com um polinômio de 7ª ordem.

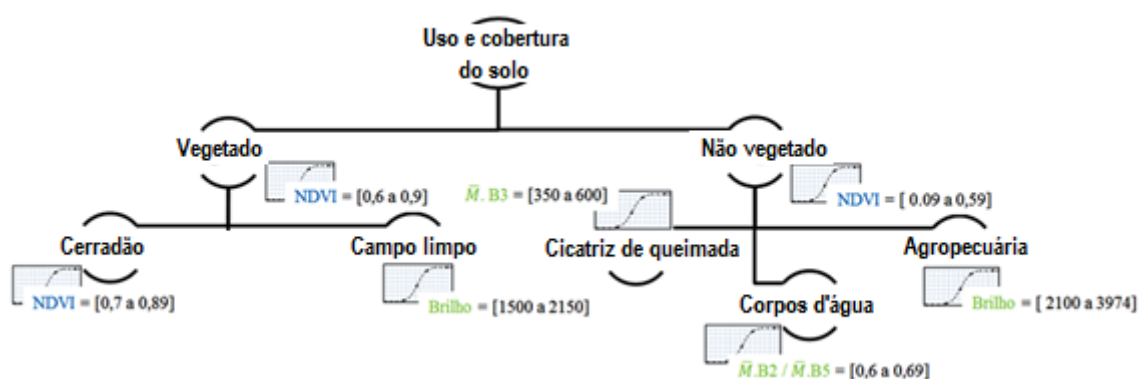


Figura 3. Metodologia utilizada na classificação das imagens de 1990 e 2010.

Informações sobre declividade e hipsometria foram também analisadas usando dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Para isso, os mapas de ambos os períodos foram reamostrados para 90 metros, tornando-se compatíveis com a resolução do modelo de elevação do terreno.

Para avaliar a exatidão do mapeamento, foram sorteados 250 pontos (100 Cerrado; 100 Agropecuária e 50 Outros) de forma aleatória. Através de uma matriz de confusão, foi calculado o Coeficiente Kappa.

3. Resultados e Discussão

As mudanças ocorridas na área de estudo são mostradas na Tabela 1 e Figura 4 (A,B). Os dados demonstram a drástica redução de 73,2% da área classificada com a cobertura Cerrado em 1990 para 46,3% em 2010. Esta redução indica uma perda anual média de 214,5 km² (1,8%). Já a classe Agropecuária representa uma área de 26,4% em 1990 e 53,4% em 2010, o que corresponde a uma taxa de incremento de 216,1 km² (5,1%) ao ano. Em estudos conduzidos por Brannstrom et al. (2008) no leste do Mato Grosso, a redução do Cerrado entre 1986 e 2002 foi de 1,3% ao ano e o incremento da Agropecuária foi de 5,2%, demonstrando que apesar das diferenças entre o intervalo de tempo e local analisado, as taxas de ambas as classes de cobertura se mostram semelhantes às obtidas no presente estudo. Culturas anuais como a soja, milho e algodão são consideradas os principais agentes de desmatamento e das mudanças ocorridas nesta região, pois devido aos solos apresentarem boas propriedades físicas, o relevo plano da região facilita a mecanização das culturas e com isso grandes áreas são convertidas (Arvor et al., 2009).

Tabela 1. Classes de cobertura do solo nos períodos de 1990 e 2010.

Classes	1990		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerrado	11.699,3	73,2	7.408,9	46,3
Agropecuária	4.191,0	26,4	8.513,7	53,4
Outros	34,7	0,2	33,6	0,2
Não classificados	38,6	0,2	7,4	0,1
Total	15.963,6	100	15.963,6	100

Um total de 250 pontos selecionados aleatoriamente foi utilizado para avaliar a exatidão da classificação sobre a área de estudo. Esta avaliação demonstrou que para o ano de 2010 e

1990 obteve-se um Coeficiente Kappa de 0,78 e 0,76, respectivamente. As maiores dificuldades encontradas foram na discriminação da Agropecuária com a classe Outros. O Campo limpo em alguns casos foi confundido devido à mistura espectral com a Agropecuária. Outra classe de difícil distinção foi entre Cicatriz de queimada e Corpos d'água, devido ao comportamento espectral muito similar.

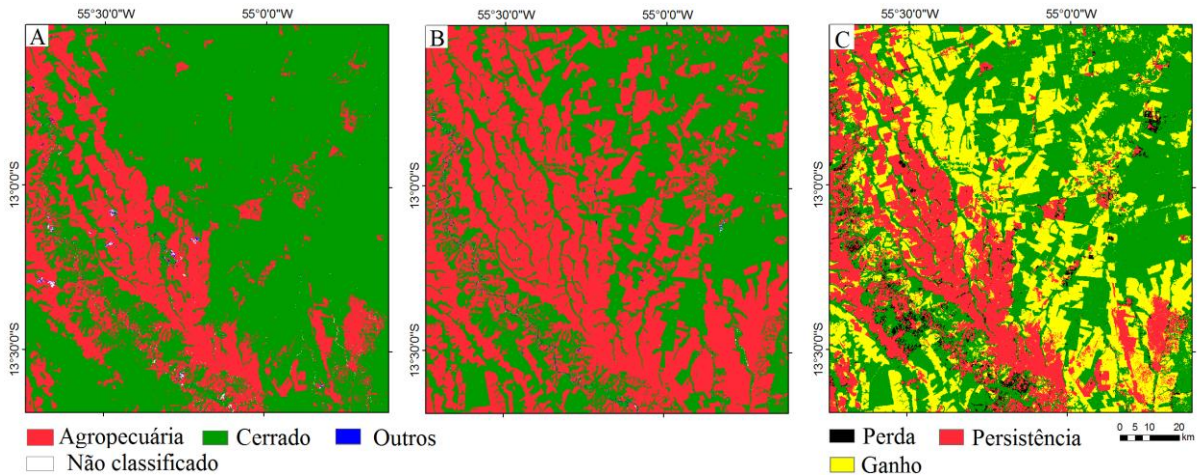


Figura 4. Imagem classificada para os anos de 1990 (A) e 2010 (B). Mapa de transição da classe Agropecuária entre os dois períodos de estudo, demonstrando a perda, persistência e ganho de área (C).

A Tabela 2 e Figura 4(C) mostram as transições de uso do solo ocorridas entre 1990 e 2010. Entre todas as transições, a conversão Cerrado-Agropecuária (ganho) merece destaque, pois o índice de 29,0% reflete uma alta taxa de desmatamento e consequente conversão da vegetação nativa para o uso agrícola. A conversão Agropecuária-Cerrado (perda), considerada como regeneração, representa apenas 335,7 km² (2,1%), demonstrando que uma área dificilmente retorna ao estado natural na região estudada após ter sido desmatada e preparada para uso agrícola (Houghton et al., 2000). É considerado como “persistência”, áreas onde a classe Agropecuária se manteve como principal uso entre os dois períodos de estudo, totalizando 24,1%. As outras transições totalizam apenas 0,5% da área analisada.

Tabela 2. Mudanças de uso e ocupação do solo entre os períodos de 1990 e 2010.

1990	2010	km ²	%
Cerrado	Cerrado	7.081,6	44,3
Agropecuária	Agropecuária	3.858,4	24,1
Cerrado	Agropecuária	4.629,8	29,0
Agropecuária	Cerrado	335,7	2,1
		15.905,5	99,5

O mapa da Figura 5(A) mostra onde ocorreram as principais mudanças para a classe Agropecuária entre os períodos de 1990 e 2010. Nota-se que as maiores mudanças ocorreram no sentido centro-nordeste da área de estudo, caracterizando uma “frente de expansão agrícola”. Pode-se observar que esta expansão está condicionada às áreas de relevo plano, conhecidas como “chapadões”, e ilustradas no mapa de declividade (Figura 5B).

Em 1990, 76% da classe Agropecuária ocupava terrenos com declividades inferiores a 3%. Com o avanço da fronteira agrícola os terrenos mais ondulados começam a ser ocupados, de forma que em 2010 cerca de 18% das áreas classificadas como Agropecuária estavam

implementadas sob declividades superiores a 3%. Em relação à hipsometria (Figura 5C), observou-se que a grande maioria da Agropecuária ocupa altitudes entre 400 e 500 metros de altitude, apresentando o mesmo comportamento em ambos os períodos de estudo.

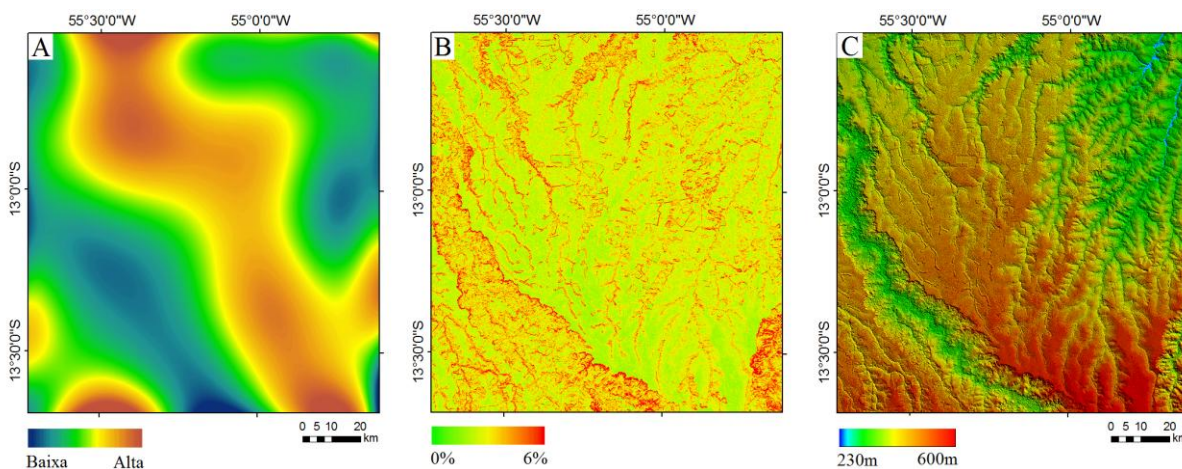


Figura 5. Mapa de tendência de mudança espacial para a classe Agropecuária (A). Mapa de declividade (B) e de hipsometria (C) representado pelos dados SRTM.

4. Conclusões

O desenvolvimento tecnológico da agicultura e internacionalização dos preços das mercadorias são considerados importantes fatores para a expansão da soja no Estado do Mato Grosso ao longo dos últimos anos. Este fato pode ser observado pela dinâmica de uso e cobertura do solo mapeado no intervalo de 20 anos, cuja maior taxa de mudança está atribuída à conversão de Cerrado para agropecuária. Destaca-se que os tipos de uso e cobertura do solo são diretamente influenciados pela topografia, principalmente para a implementação ou expansão de atividades agrícolas mecanizadas.

Os resultados deste trabalho demonstraram que o uso de dados orbitais, aliado a métodos de processamento de imagens e detecção de mudanças, permite ao usuário modelar a dinâmica de uso e cobertura do solo.

Referências Bibliográficas

Adler-Golden, S.M.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S.; Levine, R.Y.; Berk, A.; Richtsmeier, S.C.; Acharya, P.K.; Anderson, G.P.; Felde, G.; Gardner, J.; Hike, M.; Jeong, L.S.; Pukall, B.; Mello, J.; Ratkowski, A.; Burke, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. **SPIE Proceeding**, Imaging Spectrometry, v. 3753, p. 61-69, 1999.

Arvor, D.; Dubreuil, V.; Villar, P.M.; Ferreira C.M.; Meirelles M.S.P. Développement, crises et adaptation des territoires du soja au Mato Grosso: l'exemple de Sorriso. **Confins**, v. 6, p. 1-23, 2009.

Berk, A.G.P.; Adler-Golden, S.M.; Ratkowski, A.J.; Felde, G.W.; Anderson, G.P.; Hoke, M.L.; Cooley, T.; Chetwynd, J.H.; Gardner, J.A.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S. Acharya, P.K.; Miller, D.; Lewis, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. **SPIE Proceeding**, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research, p. 798-803, 2002.

Brannstrom, C.; Jepson, W.; Filippi, A.M.; Redo, D.; Xu, Z.; Ganesh, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, p. 579-595, 2008.

Crews-Meyer, K., Hudson, P.F., Colditz, R.R. Landscape complexity and remote classification in eastern coastal Mexico: applications of Landsat-7 ETM+ data. **Geocarto International**, v.19, n. 1, p. 45-56, 2004.

Fearnside, P.M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2001.

Foley, J.A.; DeFries, R.S.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

Global Land Cover Facility (GLCF). GeoCover Technical Guide. University of Maryland. Institute for Advanced Computer Studies. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/technical>>. Acesso em: 15 jan. 2012.

Goldewijk, K.K.; Ramankutty, N. Land-cover change over the last three centuries due to human activities: The availability of new global data sets. **GeoJournal**, v. 61, p. 335-344, 2004.

Haberl, H.; Erb, K.H.; Krausmann, F.; Gaube, V.; Bondeau, A.; Plutzer, C.; Gingrich, S.; Lucht, W.; Kowalski, M.F. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 31, 2007.

Houghton RA, Skole DL, Nobre CA, Hackler JL, Lawrence KT, Chomentowski WH. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p. 301-304.

Jepson, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

Jepson, W. Producing a modern agricultural frontier: firms and cooperatives in eastern Mato Grosso, Brazil. **Economic Geography**, v. 82, n. 3, p. 289-316, 2006.

Kamusoko, C.; Aniya, M.; Adi, B.; Manjoro, M. Rural sustainability under threat in Zimbabwe e Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. **Applied Geography**, v. 29, p. 435-447, 2009.

Kaimowitz, D.; Smith, J. Soybean technology and the loss of natural vegetation in Brazil and Bolivia. In: Angelsen, A.; Kaimowitz, D. (Eds.). **Agricultural Technologies and Tropical Deforestation**. CABI Publishing, Oxon, 2001. pp. 195-211.

Klink, C.A.; Moreira, A.G. Past and current human occupation, and land use. In: Oliveira, P.S., Marquis, R.J. (Eds.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press, New York, 2002. pp. 69-88.

Lambin, E.F.; Geist, H.J. (Eds.) **Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts**. Berlin Heidelberg New York: Springer. 2006. 222p.

Leff, B., Ramankutty, N., Foley, J.A., 2004. Geographic distribution of major crops across the world. **Global Biogeochemical Cycles**, 18. doi:10.1029/2003GB002108, 2004.

Rahan M.R.; Saha, S.K. Spatial dynamics of cropland and cropping pattern change analysis using Landsat TM and IRS P6 LISS III satellite images with GIS. *Geo-spatial Information Science*, 12:123-134. 2009.

Machado, R.B.; Ramos Neto, M.B.; Pereira, E.P.; Gonçalves, C.D.; Santos, N.; Tabor K.; Steininger, M. 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. *Conservation International do Brasil*, Brasília.

Mantovani, J.E.; Pereira, A., 1998. Estimativa da integridade da cobertura de vegetação do Cerrado através de dados Landsat - TM. In: *Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 9, Santos, SP (versao em CD-ROM).