

Dinâmica espaço-temporal de culturas agrícolas em áreas do bioma Cerrado

Sérgio Caldas Soares¹
João Paulo Domingos¹
Juliana Silveira dos Santos¹
Marcelo Pedroso Curtarelli¹
Maurício Alves Moreira¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{sergio, jpaulo, julianas, mpedroso, mauricio}@dsr.inpe.br

Abstract. The increase of agricultural areas, specially with crops such as soybeans, have shown a direct relationship with the processes of conversion of land use and cover, mainly in areas of natural vegetation. As example, cerrado had about 40% of its area reduced as the establishment of new areas for agriculture and pasture. This way, it becomes increasingly important an operational and systematic monitoring of these areas to ensure the conservation of terrestrial ecosystems and consequently the maintenance of biogeochemical cycles and climate systems. Remote sensing data have been frequently used for monitoring the contiguous areas of natural vegetation, by identifying the process of converting these areas into agriculture, to estimate rates of deforestation and identify the predominant crops in the dynamics of land use and cover. This study was therefore to analyze the dynamic use and land cover, crop years 1990/1991, 1997/1998 and 2009/2010, in areas of cerrado. For this, we used multitemporal remote sensing images, digital processing techniques and interpretation of images as digital classification, editing raster and ancillary data, available for free. The remote sensing data were sensitive to follow the dynamics of the use and land cover, identifying the increased acreage in regions of the cerrado in the State of Maranhão, which makes it possible to identify the processes responsible for fragmentation of the landscape.

Palavras-chave: multitemporal images, remote sensing, image processing, interpretation images, land use and land cover change, imagens multitemporais, sensoriamento remoto, processamento de imagens, interpretação de imagens, mudança de uso e cobertura da terra.

1. Introdução

O Brasil, nas últimas décadas vem sendo considerado uma potência agrícola mundial, impulsionado pelo aumento progressivo da demanda mundial por alimentos que, muitas vezes, não considera a capacidade ecológica de suporte dos ambientes e as consequências sócio-econômicas de um crescimento desequilibrado. O aumento na área cultivada resulta, na maioria das vezes, em uma relação direta com os processos de conversão de áreas de vegetação natural para atividades agropecuárias. Um exemplo é o bioma cerrado que teve aproximadamente 40% da sua área original modificada em função da contínua abertura de novas áreas para o cultivo de pastagem e a implantação de grandes culturas agrícolas (Sano et al., 2002).

O bioma cerrado tem uma extensão de mais de 204 milhões de hectares na região central do Brasil. Abrange os estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins. Em sua parte norte a vegetação natural pode ser encontrada com maior frequência, ao contrário dos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul. Este bioma tem como característica três estratos vegetativos: herbáceo, arbustivo e arbóreo e a ocorrência das estações chuvosa e seca bem definidas (novembro a abril e maio a outubro, respectivamente) (Sano et al., 2002).

Além das pastagens cultivadas, que são paisagens comuns no bioma cerrado (Sano et al., 2000), nota-se um aumento expressivo de extensas áreas de cultivo agrícola nas últimas décadas, onde se destaca a cultura da soja. Esta característica está relacionada com a presença

de condições naturais propícias, alta disponibilidade hídrica, altimetria, declividade, tipos de solo e interesses econômicos, como a ampliação da rede viária.

Neste sentido, o monitoramento sistemático e operacional destas áreas, a fim de garantir à preservação dos ecossistemas terrestres e, conseqüentemente, a manutenção dos ciclos biogeoquímicos e dos sistemas climáticos, se torna de extrema importância. O uso de dados multitemporais de sensoriamento remoto, aliados as técnicas de interpretação e processamento de imagens tem substituído os métodos tradicionais para o monitoramento das áreas contíguas de vegetação natural, pois permite identificar os processos de conversão destas áreas em agricultura, estimar taxas de desmatamento e identificar quais as culturas predominantes na dinâmica do uso e cobertura da terra ao longo do tempo (Ferreira et al., 2003; Mello et al., 2009; Silva et al., 2009; Silva et al., 2010). Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra, em regiões do bioma cerrado, utilizando técnicas de processamento digital e interpretação de imagens.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende os municípios de Alto Parnaíba, Balsas e Tasso Fragoso, localizados na parte sul do estado do Maranhão, região nordeste do Brasil, entre as coordenadas $47^{\circ}3'18''\text{W}$ $10^{\circ}14'33''\text{S}$ e $45^{\circ}29'58''\text{W}$ $7^{\circ}9'40''\text{S}$ (Figura 1).

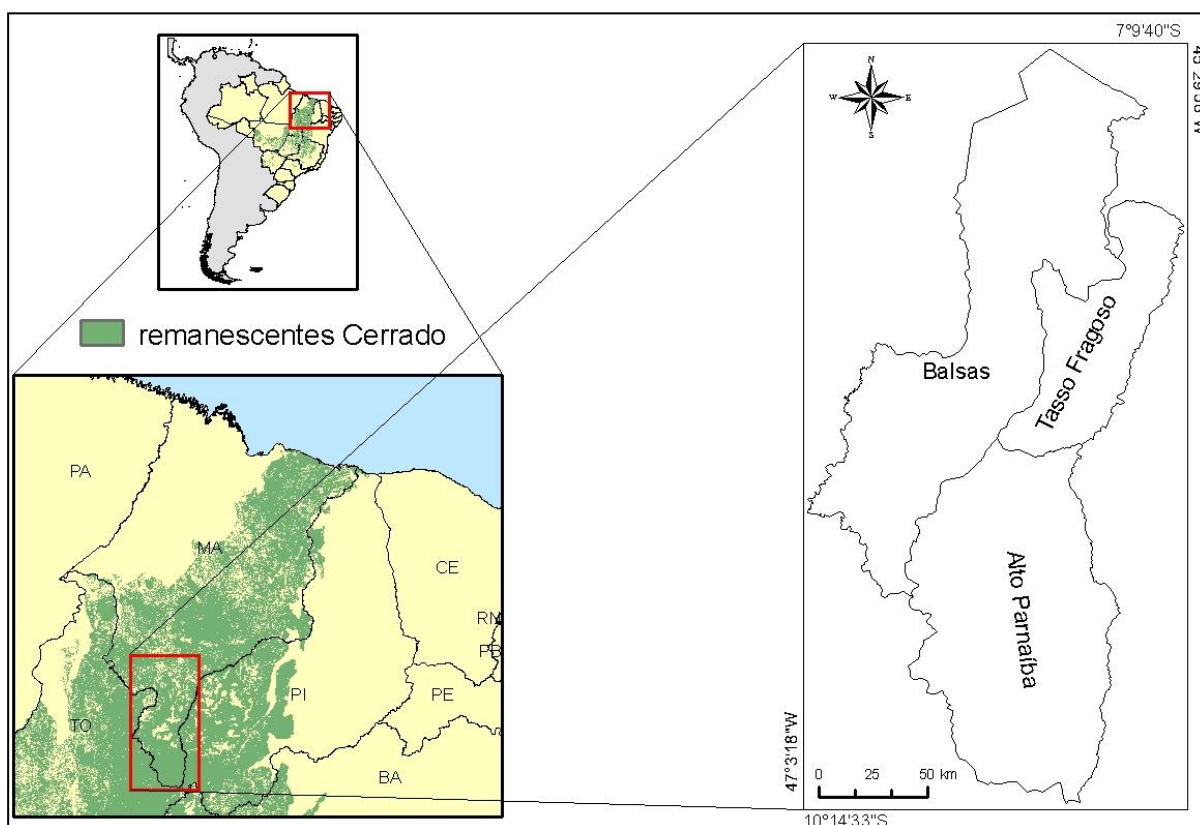


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

Para este trabalho foram utilizadas 9 imagens do sensor TM/Landsat 5 referentes às órbitas/ponto 221/65, 221/66 e 221/67 referente aos anos safras de 1990/1991, 1997/1998 e 2009/2010 e dados auxiliares extraídos a partir do Modelo Digital de Elevação do SRTM (MDE-SRTM). Estes dados são disponibilizados gratuitamente no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e no EROS data center do United States Geological Survey (USGS) (Figura 2).

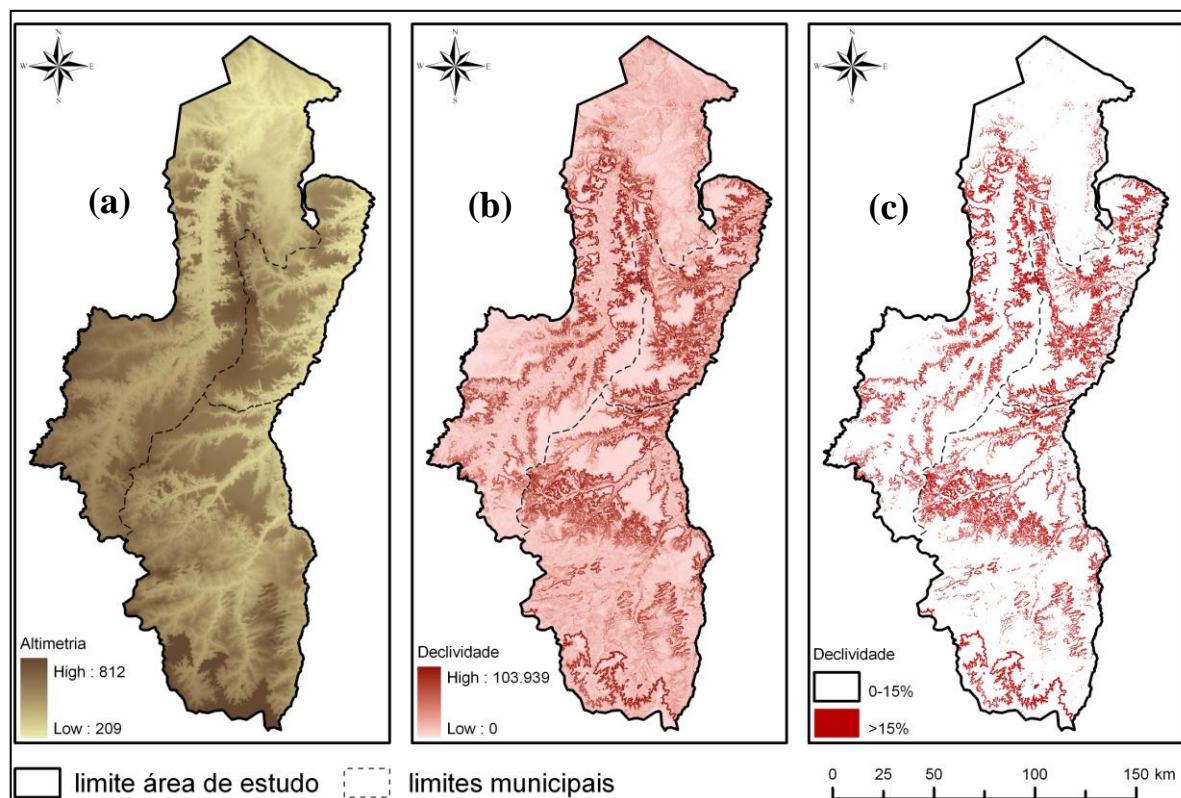


Figura 2. Dados auxiliares. (a) mapa temático de altimetria; (b) mapa temático de declividade e (c) mapa de declividade fatiado de acordo com o limite de declividade para a mecanização (12%, com 3% de margem de segurança).

Na sequência, foi realizada uma classificação supervisionada, em que foi utilizado o algoritmo de classificação por máxima verossimilhança (Maxver). O mapa temático resultante dessa classificação contém a espacialização de cinco classes temáticas: água, área agrícola (basicamente de soja), área queimada, cerrado e mata ciliar. Após esta etapa realizou-se a edição matricial para corrigir erros de classificação. Para validar os resultados obtidos nos três períodos foram selecionados 60 pontos de controle.

Segundo o calendário agrícola da região, o início do plantio das culturas agrícolas começa em novembro e se intensifica no mês de dezembro. Os meses de fevereiro e março correspondem ao período de máximo desenvolvimento vegetativo da planta e a colheita ocorre entre abril e maio. No entanto, por causa da alta taxa de cobertura de nuvens, não foi possível obter imagens do período de fevereiro e março. Assim, para garantir que as áreas de soja fossem mapeadas, foram utilizadas imagens referentes aos meses de novembro e dezembro, época em que se pode observar o solo exposto preparado para o plantio da cultura da soja, ou imagens dos meses de abril e maio, em que se observou as áreas de soja já colhidas ou solo exposto/preparado para o estabelecimento de um novo cultivo.

Para verificar a dinâmica espaço-temporal da cultura da soja, as classes de cerrado e mata ciliar foram agrupadas em uma única classe temática. Utilizou-se uma máscara da rede hidrográfica, viária e de áreas urbanas. Deste modo os três mapas finais continham apenas áreas agrícolas e não agrícolas.

A edição matricial foi realizada no mapa temático sobreposto à imagens TM/Landsat, das bandas 5, 4 e 3 na composição R, G e B, no qual era possível ser observado o padrão característico das lavouras de soja.

Os dados de área da classe “área agrícola” dos três mapas temáticos foram comparados com os dados de área cultivada disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009).

Para avaliar a dinâmica temporal das áreas agrícolas, os mapas temáticos gerados foram cruzados utilizando operações como álgebra de mapas, que permitiu quantificar e analisar espacialmente a evolução destas áreas.

A partir dos dados de remanescente cerrado disponibilizados pelo projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS (<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/>) e do mapa de áreas agrícolas gerado para o ano safra 2009/2010 fez-se uma análise das modificações nas áreas identificadas no projeto PMDBBS como sendo cerrado no ano de 2008.

3. Resultados e Discussão

A partir da classificação supervisionada, foram obtidos os primeiros mapas temáticos de uso e cobertura da terra, conforme as Tabelas 1, 2 e 3. A menor exatidão global foi de 86,4% para o ano safra 1990/1991, o índice Kappa nos três anos safras indica uma boa concordância dos resultados da classificação com os resultados observados.

Tabela 1. Matriz de confusão para a classificação supervisionada.

Classes	Dado de referência – Ano safra 1990/1991 (pixels)								
	Água	Cerrado	Mata ciliar	Área queimada	Área agrícola	Erros de Comissão (%)	Erros Omissão (%)	Exatidão produtor (%)	Exatidão usuário (%)
Água	48	4	1	18	1	33,33	4,0	96,0	66,67
Cerrado	0	46	0	0	3	6,12	8,0	92,0	93,88
Mata ciliar	0	0	49	0	0	0	2,0	98,0	100
Área queimada	2	0	0	27	0	6,90	46,0	54,0	93,10
Área agrícola	0	0	0	5	46	9,80	8,0	92,0	90,20
Total	50	50	50	50	50				
Exatidão global: 86,4%								Índice Kappa: 0,83	

Tabela 2. Matriz de confusão para a classificação supervisionada.

Classes	Dado de referência – Ano safra 1997/1998 (pixels)								
	Água	Cerrado	Mata ciliar	Área queimada	Área agrícola	Erros de Comissão (%)	Erros Omissão (%)	Exatidão produtor (%)	Exatidão usuário (%)
Água	50	0	0	15	0	23,08	0	100	76,56
Cerrado	0	46	1	0	0	2,13	8,0	92	97,87
Mata ciliar	0	4	49	0	0	7,55	2,0	98	92,45
Área queimada	0	0	0	31	0	0	38,0	62	100
Área agrícola	0	0	0	4	50	7,41	0	100	92,59
Total	50	50	50	50	50				
Exatidão global: 90,4%								Índice Kappa: 0,88	

Tabela 3. Matriz de confusão para a classificação supervisionada.

Classes	Dado de referência – Ano safra 2009/2010 (pixels)								
	Água	Cerrado	Mata ciliar	Área queimada	Área agrícola	Erro de comissão (%)	Erro de Omissão (%)	Exatidão produtor (%)	Exatidão usuário (%)
Água	47	5	1	2	0	14,55	6,0	94	85,45
Cerrado	0	45	0	0	0	0	10,0	90	100
Mata ciliar	0	0	49	0	0	0	2,0	98	100
Área queimada	3	0	0	46	0	6,12	8,0	92	93,88
Área agrícola	0	0	0	2	50	3,85	0	100	96,15
Total	50	50	50	50	50				
Exatidão global: 94,8%								Índice Kappa: 0,93	

Ao observar os resultados obtidos nos três anos safras constata-se que as maiores confusões na classificação foram entre a área queimada e a água. Também foram observadas pequenas confusões entre as classes: área agrícola e área queimada.

A Figura 3 mostra os três mapas temáticos finais de áreas agrícolas e não agrícolas obtidos nos anos safras 1990/1991, 1997/1998 e 2009/2010. Em uma análise inicial se pode verificar que após a edição matricial foram corrigidas algumas confusões encontradas na primeira classificação.

Como se pode observar no mapeamento, o incremento das áreas agrícolas apresentou correlação espacial (ocorreu próximas a outras áreas agrícolas), o que se justifica pela facilitação da logística da produção e de seu escoamento. Vale ressaltar, que as áreas agrícolas mapeadas estão localizadas em faixas de declividade adequada para a mecanização agrícola.

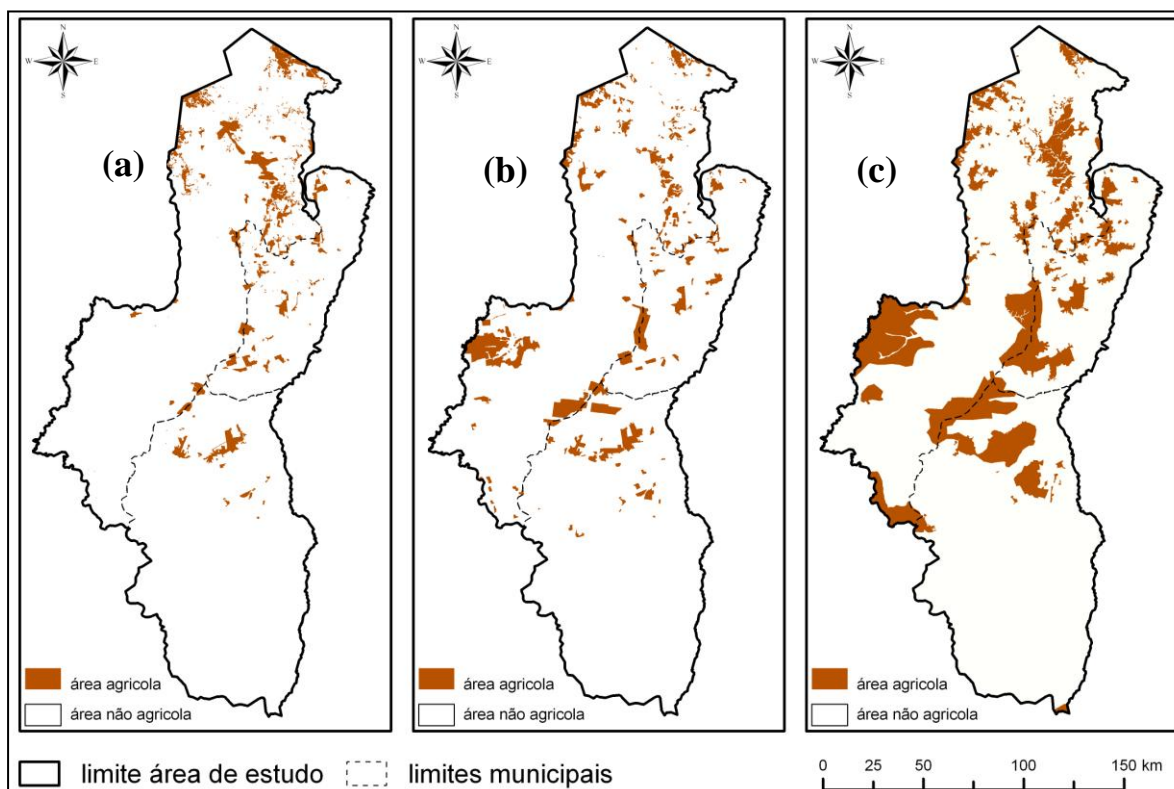


Figura 3. Mapeamento das áreas agrícolas para 3 municípios do Estado do Maranhão. (a) ano de 1991; (b) ano de 1998 e (c) ano de 2010.

Todos os municípios apresentaram um aumento considerável na área cultivada, principalmente do ano safra de 1997/1998 para o ano safra 2009/2010 (Tabela 4). Os municípios de Alto Parnaíba e Balsas registraram o maior crescimento do ano safra 1990/1991 para 1997/1998, de 25,2 e 42,4%, respectivamente. Para o município de Tasso Fragoso apresentou o maior incremento de área período 1997/1998 para o ano safra 2009/2010, totalizando 64,14% em relação ao período anterior.

Este aumento exponencial na área cultivada nos três anos safras observados, concorda com os dados divulgados pelo IBGE. A tabela 4 mostra que do ano safra 1997/1998 para o ano safra 2009/2010 o aumento foi mais acentuado. Pode-se observar que a área agrícola obtida na interpretação foi sempre maior do que a área fornecida pelo IBGE. A causa dessa diferença esta, sem dúvida, na maneira subjetiva de coleta dos dados pelo o IBGE, conforme relata muitos trabalhos de mapeamento de área, dentre eles Moreira et al. (2007).

Tabela 4. Comparação IBGE e classificação. Total de área agrícola por município, anos safras de 1990/1991, 1997/1998 e 2009/2010.

Municípios	Total de área agrícola em (ha)					
	1990/1991		1997/1998		2009/2010	
	Dados IBGE	Dados Classificação	Dados IBGE	Dados Classificação	Dados IBGE	Dados Classificação
Alto Parnaíba	15.866	21.316,21	43.490	37.046,05	124.615	106.553,57
Tasso Fragoso	5.936	29.131,77	24.760	32.879,39	26.320	91.693,6
Balsas	8.957	91.069,59	44.230	12.1841,06	98.740	305.167,8
Total	30.759	141.517,57	112.480	191.766,5	249.675	503.414,97

Fonte: <http://www.sidra.ibge.gov.br>

Para os períodos observados, a partir dos mapas temáticos o incremento da área cultivada para toda a região de estudo foi de 50.248,93 ha no período entre os anos safras 1990/1991 e 2009/2010 e de 311.648,47 ha para o segundo período (1997/1998 para 2009/2010).

A Figura 4 ilustra a relação entre o mapa temático obtido para o ano agrícola 2009/2010 e as áreas de remanescente cerrado identificadas pelo PMDBBS em 2008.

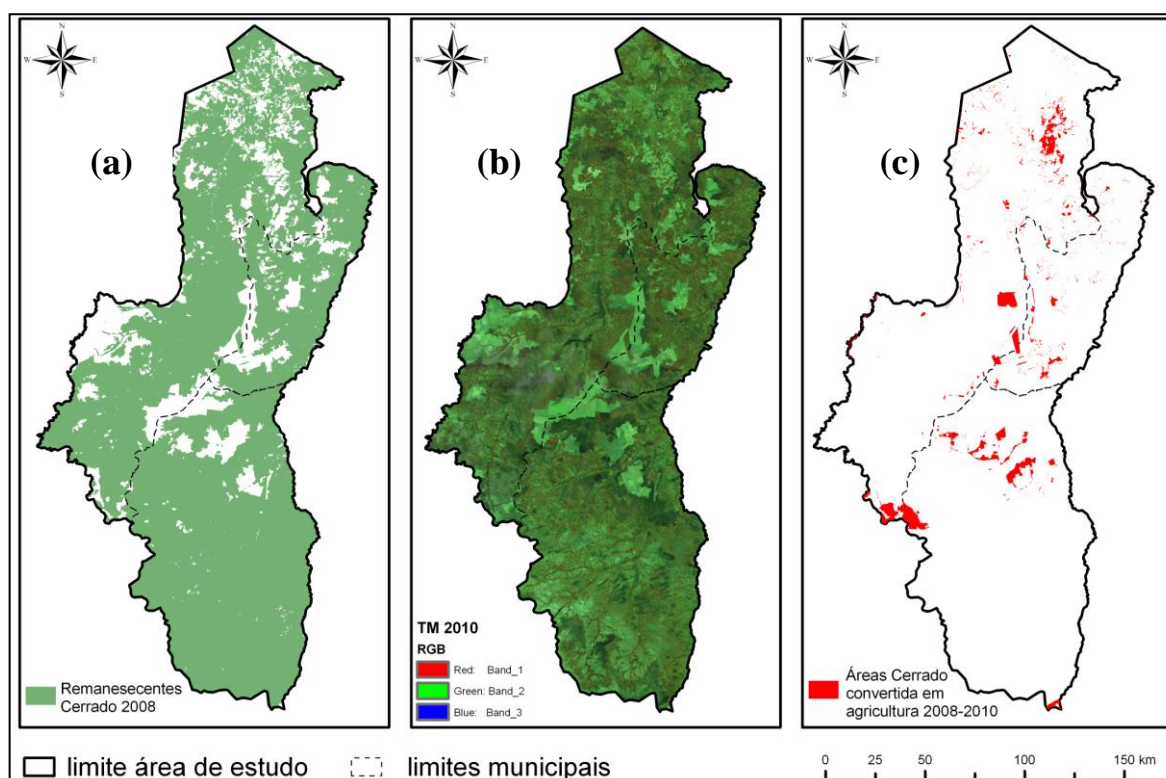


Figura 4. Mudança de uso e cobertura da terra. (a) remanescente cerrado no ano 2008 (PMDBBS); (b) imagem TM/Landsat-5 composição cor-verdadeira (3R, 2G, 1B), para o ano de 2010 e (c) áreas de convertidas de cerrado em área agrícola no ano safra 2009/2010.

Na Figura 4 (a e b) se pode verificar que existe uma relação direta da área de cerrado identificada no projeto PMDBBS com a mesma observada na imagem TM/Landsat-5, na composição 3R, 2G, 1B. Na Figura 5c pode-se observar que áreas de não cerrado, presentes no mapa do PMDBBS e nas imagens TM/Landsat-5 do ano de 2008, já eram agrícolas, portanto já haviam sido identificadas e mapeadas. Por outro lado observa-se no mapa da

Figura 5c que algumas áreas onde havia cerrado em 2008, foram transformadas em áreas agrícolas e, conseqüentemente, mapeadas como tal. Isto pode ser observado com facilidade nas divisas dos municípios Alto Paranaíba e Balsas.

4. Conclusões

De acordo com os resultados desta pesquisa pode-se concluir que as informações multiespectrais contidas nas imagens TM/Landsat-5, associadas a técnicas de interpretação e processamento digital de imagens, são adequadas para avaliar a dinâmica de mudanças no uso e cobertura do solo nos três municípios analisados.

Dados auxiliares como os de altimetria, de declividade e ferramentas como a edição matricial, que permite ao interprete interação com o mapa temático resultante da classificação, são essenciais para a identificação eficiente das áreas agrícolas. A presença de nuvens, principalmente em dados de sensores de média resolução temporal, dificulta o acompanhamento espectro-temporal do ciclo de culturas como a soja.

5. Agradecimentos

Ao INPE, pela disponibilização gratuita das imagens utilizadas neste trabalho. A nossas famílias, pelo apoio em todos os momentos. A Deus, por iluminar sempre nossos caminhos.

6. Referências Bibliográficas

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. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.11.20.42>>. Acesso em: 18 out. 2010.

Mello, M. P.; Prado, B. R.; Silva, G. B. S.; Shimabukuro, Y. E.; Sano, E. E. Comportamento espectral de fitofisionomias do Cerrado e desenvolvimento de índices utilizando bandas sintéticas derivadas de Modelos Lineares de Mistura Espectral aplicados na discriminação de fitofisionomias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2839-2846. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.42>>. Acesso em: 18 out. 2010.

Moreira, M.A.; Barros, M.A.; Rosa, V. G.C.; Adami, M. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 27-37, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10.nov.2010.

Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n. 3, pp. 2-15, 2000.

Sano, E. E.; Bezerra, H. S.; Barcellos, A. O.; Rosa, R. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Edição: 70 - Metodologias para Mapeamento de Pastagens Degradadas no Cerrado. Planaltina, DF: **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** / Embrapa Cerrados, 2002.

Silva, G. B. S.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E. Análise espaço-temporal das áreas alteradas em função de atividades antrópicas no bioma Cerrado localizado no Estado do Mato Grosso, até o ano de 2001. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3051-3058. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.17.34.07>>. Acesso em: 18 out. 2010.

Silva, G. B. S.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Adami, M.; Sano, E. Discrimination of Cerrado vegetation cover in the state of Mato Grosso using MODIS images /Discriminação de classes de cobertura vegetal do cerrado matogrossense por meio de imagens modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 186-194, 2010. doi: <10.1590/S0100-204X2010000200010>. Scopus.