



AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL DE ÁREA NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL ENTRE 1990 E 2010 POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT TM

FERNANDA O. DE FARIAS¹; CARLOS F. QUARTAROLI²;
RICARDO G. ANDRADE³; LUIZ E. VICENTE⁴

Nº 11506

RESUMO

Imagens Landsat/TM dos anos de 1990 e 2010 de área no Estado de Mato Grosso do Sul foram transformadas em imagens de reflectância e classificadas quanto à presença, ao porte e à densidade de cobertura vegetal do solo, com base nos valores calculados de NDVI e de reflectância na banda do infravermelho próximo (ρ_{ivp}). Pela fusão digital das imagens classificadas de ambos os anos foi possível tipificar e quantificar as alterações ocorridas no período. Áreas da classe delimitada pelos valores de NDVI entre 0,55 e 0,75, associadas em sua maioria às pastagens, cobriam 60,2% da área de estudo em 1990 e 64,0% em 2010. As áreas da classe associada à vegetação densa com grande presença de espécies arbóreas (cerrado e matas de galeria) foram reduzidas de 31,1% para 24,5% no mesmo período, redução provocada, sobretudo, pelo aumento das áreas com pastagens. As lavouras com vegetação herbácea verde cobrindo completamente o solo na data de aquisição das imagens e algumas áreas de silvicultura foram associadas a valores de NDVI acima de 0,75 e $\rho_{ivp} \geq 0,40$ e totalizaram áreas equivalentes a 4,3% da área de estudo em 1990 e 2,2 % em 2010. As áreas com vegetação esparsa ou ausente compreendiam menos de 10% da área de estudo em ambos os anos, e normalmente estavam associadas a pastagens com sinais de degradação, locais destinados a lavouras, solo exposto, feições urbanas e corpos d'água.

ABSTRACT

Landsat/TM images from 1990 and 2010 of an area in Mato Grosso do Sul state, Brazil, were transformed into reflectance images and classified according to the presence, size and

¹ Bolsista CNPq: Graduação em Geografia, UNICAMP, Campinas-SP, fer.farias@yahoo.com.br.

² Orientador: Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

³ Co-orientador: Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁴ Colaborador: Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

density of land cover based on the values calculated for NDVI and reflectance in the near-infrared band (ρ_{ivp}). By digitally merging the classified images of both years, it was possible to typify and quantify the changes during that period. Class areas bound by NDVI values between 0.55 and 0.75, mostly associated with pastures, covered 60.2% of the study area in 1990 and 64.0% in 2010. The class areas associated with dense vegetation and great presence of arboreal species (savannah and gallery forests) were reduced from 31.1% to 24.5% in the same period, a reduction driven mostly by the increase in pasture areas. Crop areas with green herbaceous vegetation completely covering the soil at the time of the image's acquisition and some forestry areas were associated with $NDVI > 0.75$ and $\rho_{ivp} \geq 0.40$ and amounted to 4.3% of the study area in 1990 and 2.2% in 2010. Areas with sparse or absent vegetation amounted to less than 10% of the study area in both years, and were usually associated with pastures showing signs of degradation, areas for crops, bare soil, urban features and water bodies.

INTRODUÇÃO

A relação que o homem constrói historicamente com o meio onde vive é uma sucessão de apropriações dos recursos naturais, os quais se tornam – nos mais diferentes graus – derivações das necessidades de uma determinada sociedade. Uma das principais abordagens que ajudam a entender o processo de apropriação desses recursos naturais e os impactos dele decorrentes baseia-se na análise da variedade de usos e cobertura da superfície terrestre (VICENTE, 2007). Os estudos que visam tal análise em geral são procedidos por mapeamentos temáticos de uma determinada parcela do espaço geográfico em diferentes períodos. Esses mapeamentos servem de apoio para avaliar as mudanças que porventura tenham ocorrido ao longo do tempo por influências antrópicas. Para a execução desse tipo de mapeamento, diversas ciências utilizam produtos oriundos do sensoriamento remoto como suporte para melhor interpretação do espaço geográfico (MATIAS, 2009). Essa utilização mostra-se cada vez mais eficiente pela disponibilidade de imagens de satélites com diferentes resoluções, tanto espacial quanto temporal e espectral, e pelo desenvolvimento de sistemas de informação geográfica e de processamento digital de imagens.

No presente trabalho, produtos de sensoriamento remoto ótico orbital foram usados para a caracterização prévia da cobertura vegetal de área situada no Estado de Mato Grosso do Sul nos anos de 1990 e 2010 como subsídio para investigar o desenvolvimento e a modernização do setor agropecuário e as conseqüentes transformações estruturais no uso e cobertura da superfície local. O conhecimento dessas mudanças é de fundamental importância, pois possibilita a posterior proposição de instrumentos de planejamento e gestão adequados ao território.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, situada no Estado de Mato Grosso do Sul, tem como principal atividade econômica a pecuária extensiva. É delimitada pelos meridianos 55°49'07,58"W e 54°25'35,10"W e pelos paralelos 19°34'13,17"S e 20°52'00,45"S e abrange terras dos municípios de Anastácio, Aquidauana, Bandeirantes, Campo Grande, Corguinho, Dois Irmãos do Buriti, Jaguarí, Nioaque, Rio Negro, Rochedo, São Gabriel do Oeste, Sidrolândia e Terenos. Na área, ocorrem dois biomas: o Pantanal e o Cerrado. O Pantanal é conhecido como um dos grandes santuários ecológicos do mundo. Possui rica biodiversidade, em uma região de declividade bastante baixa com a formação de extensas áreas alagadas (SOUZA, 2010). O Bioma Cerrado é considerado a savana tropical mais importante do mundo em termos de biodiversidade (EMBRAPA, 2011). Nas últimas décadas, suas terras têm sido exploradas intensamente pela agropecuária. Cerca de 40% da cobertura vegetal natural do bioma foi substituída por lavouras e pastagens plantadas (SANO et al., 2008).

Imagens Landsat 5/TM, cena 225/74, de 5/4/1990 e de 12/4/2010 foram submetidas à correção atmosférica e seus números digitais foram transformados em valores de reflectância de superfície pelo método DOS (*Dark Object Subtraction*) com a transmitância da atmosfera estimada pelo cosseno do ângulo zenital, conforme Chavez (1996). As imagens foram posteriormente georreferenciadas tomando como referência uma imagem ortorretificada do Landsat 5/TM de 14/4/2005, disponível no *Global Land Cover Facility* (GLCF). O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi calculado para todos os pixels das duas imagens, já devidamente corrigidas, por meio da equação $NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v)$, onde ρ_{ivp} é a reflectância na banda do infravermelho próximo (banda 4) e ρ_v é a reflectância na banda do vermelho (banda 3). O NDVI é frequentemente usado para estimar atributos da vegetação, entre os quais o nível de cobertura vegetal do terreno. Geralmente, áreas com vegetação densa revelam altos valores de NDVI por causa da reflectância relativamente alta no infravermelho próximo e baixa no visível (LILLESAND et al., 2004).

Os pixels das imagens de NDVI foram agrupados em seis classes iniciais com base nos seguintes intervalos: $NDVI \leq 0$ (classe 1); $0 < NDVI \leq 0,30$ (classe 2); $0,30 < NDVI \leq 0,45$ (classe 3); $0,45 < NDVI \leq 0,55$ (classe 4); $0,55 < NDVI \leq 0,75$ (classe 5) e $NDVI > 0,75$. Esses intervalos foram definidos por interpretação visual de composições coloridas e dos espectros de reflectância formados pelas seis bandas das imagens do Landsat, procurando-se associar a cada classe densidades de cobertura vegetal diferentes. Os pixels das imagens de reflectância do Landsat que apresentaram valores de $NDVI > 0,75$ formavam feições com diferentes padrões de cor e textura quando visualizados em composições coloridas RGB com participação da banda 4. Algumas feições apresentavam textura lisa e cores brilhantes, outras

apresentavam feições com textura rugosa e cores escuras. Várias amostras de ambos os tipos de feições foram delimitadas sobre as imagens de reflectância de 1990 e 2010. Histogramas de frequência dos pixels em função dos valores de reflectância das seis bandas das imagens Landsat foram plotados para o conjunto das amostras de ambos os tipos. Observou-se que o histograma da banda 4 (ρ_{ivp}), ao contrário dos histogramas das outras bandas, era bimodal, com um vale amplo e bem definido, centralizado no valor de reflectância igual a 0,40, e que os pixels das amostras de textura rugosa estavam sempre associados a valores de $\rho_{ivp} < 0,40$ enquanto os pixels das amostras de textura lisa, a valores de $\rho_{ivp} > 0,40$. Portanto, o limiar de 0,40 para a reflectância na banda 4 foi usado para a separação dos pixels com valores de NDVI $> 0,75$ em duas classes: classe 6 ($\rho_{ivp} \geq 0,40$) e classe 7 ($\rho_{ivp} < 0,40$).

Pelo processo anterior, os pixels das imagens de 1990 e 2010 assumiram valores de 1 a 7, conforme a classe a que pertenciam. Essas imagens foram fundidas por uma operação aritmética entre seus pixels, na qual os valores da imagem de 1990 foram multiplicados por 10 e somados aos valores da imagem de 2010. Os pixels da imagem resultante assumiram valores inteiros entre 11 e 77, usados para identificar as alterações ocorridas em cada pixel entre os dois anos analisados. Todos os pixels com diferença inferior ou igual ao valor absoluto de 0,04 entre os valores de NDVI de 1990 e 2010 foram considerados como não alterados, mesmo que atribuídos a classes diferentes no processo de classificação. Esse procedimento evitou que um mesmo tipo de cobertura fosse atribuído a classes diferentes por causa de pequenas diferenças no valor de NDVI entre uma data e outra. Essas diferenças podem ser originárias, entre outras, de erros na estimativa das condições atmosféricas (e.g. aerossóis, vapor d' água) durante o processo de correção atmosférica das imagens ou por diferenças no vigor vegetativo decorrentes de diferentes condições hídricas da vegetação e do solo. As imagens utilizadas foram propositalmente do mesmo mês para reduzir o efeito dessas diferentes condições nos valores de NDVI, bem como da variação de ângulo zenital própria da oscilação sazonal da posição fonte/sensor. Em uma segunda etapa, a imagem com as classes de alteração (valores entre 11 e 77) foram submetidas à ferramenta de limpeza de bordas (*Boundary Clean*) existente no software ArcGIS. Essa ferramenta elimina feições de determinada classe com menos de três pixels na direção x ou y, atribuindo aos seus pixels o valor da feição vizinha com maior área. Elimina, portanto, feições estreitas ou feições isoladas de pequeno tamanho, decorrentes de alterações pouco relevantes na avaliação de mudanças na cobertura das terras, ou mesmo falsas feições de alteração geradas por pequenos deslocamentos entre as imagens em virtude de erros no processo de registro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a área de estudo classificada quanto à densidade de cobertura vegetal em 1990 e 2010. A Tabela 1 apresenta a quantificação e a diferença das áreas ocupadas por cada classe em 1990 e 2010, bem como a quantificação das áreas de permanência, expansão e retração de cada classe. Áreas de permanência são aquelas atribuídas à mesma classe de cobertura em 1990 e 2010. As áreas de retração de uma classe são aquelas atribuídas a essa classe em 1990, porém atribuídas a outra classe em 2010. Áreas de expansão de uma classe são aquelas atribuídas a essa classe em 2010 e a outra em 1990. A matriz de alterações na cobertura das terras é apresentada na Tabela 2. As combinações dos títulos das colunas com os títulos das linhas identificam as possíveis alterações nas classes de cobertura entre os dois anos e as quantificações dessas alterações estão expressas em hectares nos elementos da matriz.

As áreas da classe 5 compreendiam 60,2% da área de estudo em 1990 e 64,0% em 2010. A interpretação visual das imagens permitiu associá-las às pastagens típicas e aos campos naturais da região. São áreas dominadas por gramíneas, com recobrimento completo ou quase completo do solo. A reflectância registrada nos pixels das imagens Landsat recebe forte influência da vegetação verde, porém ainda está sujeita a pequena influência do solo e da vegetação seca. Em 2010, a área de permanência dessa classe correspondia a 84,7% da área verificada em 1990. A expansão no mesmo período correspondeu a 21,7% da área verificada em 1990 e ocorreu, em sua maioria, sobre áreas antes ocupadas pela classe 7.

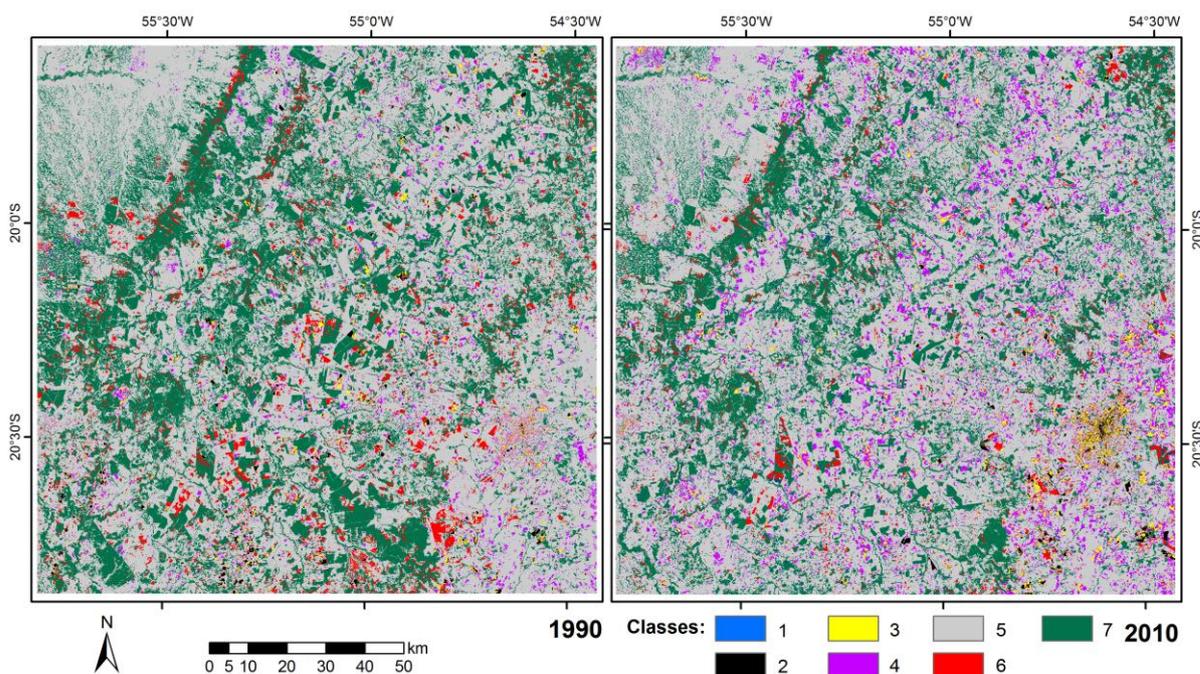


FIGURA 1. Imagens resultantes do processo de classificação da área de estudo em classes de cobertura vegetal em 1990 e 2010.

TABELA 1. Áreas totais, em hectares, para as classes de cobertura vegetal em 1990 e 2010 com os respectivos percentuais em relação à área total de estudo. Diferenças entre as áreas de 2010 e 1990 e quantificação das áreas de permanência, expansão e retração de cada classe com os respectivos percentuais em relação às áreas em 1990.

Classe	1990		2010		Dif. (ha) (2010-1990)	Permanência		Expansão		Retração	
	ha	%	ha	%		ha	%	ha	%	ha	%
1	198	0,0	250	0,0	52	111	56,2	139	70,0	87	43,8
2	12.589	0,6	11.695	0,6	- 895	736	5,8	10.959	87,0	11.853	94,2
3	22.965	1,1	36.801	1,8	13.836	2.323	10,1	34.478	150,1	20.642	89,9
4	54.636	2,7	141.442	6,9	86.807	12.513	22,9	128.930	236,0	42.123	77,1
5	1.228.593	60,2	1.307.276	64,0	78.683	1.040.087	84,7	267.188	21,7	188.505	15,3
6	88.626	4,3	45.469	2,2	- 43.157	28.140	31,8	17.329	19,6	60.486	68,2
7	634.908	31,1	499.582	24,5	- 135.325	468.551	73,8	31.032	4,9	166.357	26,2
Total	2.042.515	100,0	2.042.515	100,0	0	1.552.461	76,0	490.054	24,0	490.054	24,0

TABELA 2. Matriz de alterações na densidade de cobertura vegetal pela comparação da situação no ano de 1990 com a situação em 2010. Valores em hectares.

		Classes de cobertura – 2010						
		1	2	3	4	5	6	7
Classes – 1990	1	111	23	0	0	41	1	21
	2	1	736	317	1.222	9.294	299	720
	3	0	903	2.323	2.502	15.802	687	748
	4	7	1.126	3.669	12.513	35.069	1.265	986
	5	125	7.852	27.597	110.598	1.040.087	13.954	28.379
	6	0	475	1.113	4.827	53.895	28.140	176
	7	6	579	1.782	9.780	153.088	1.122	468.551

A classe 7 está associada à vegetação densa e sombreada pela grande presença de espécies arbóreas. As áreas com vegetação arbórea natural formada por remanescentes do cerrado e matas de galeria dominam amplamente essa classe, mas algumas áreas destinadas à silvicultura, geralmente plantações de eucalipto, também foram atribuídas a essa classe por apresentarem aspecto semelhante nas imagens. A classe 7 cobria 31,1% da área de estudo em 1990 e 24,5% em 2010. A área de permanência dessa classe em 2010 correspondia a 73,8% da área verificada em 1990. Houve pequena expansão da área no período (4,9%), relacionada possivelmente ao aumento de áreas com silvicultura ou a alguma recuperação da vegetação natural, porém as áreas de retração dessa classe em 2010 atingiram 26,2% da área verificada em 1990. A Tabela 2 revela que 92% dessa área de retração foi substituída por coberturas da classe 5, classe representativa das áreas com pastagens.

As lavouras com vegetação herbácea verde cobrindo completamente o solo na data de aquisição das imagens e algumas áreas de silvicultura foram associadas à classe 6. A extensão dessa classe é pequena, 4,3% da área de estudo em 1990 e 2,2 % em 2010. A retração no período 1990-2010 correspondia a 68,2% da área da classe em 1990, o que nem sempre significa alteração de uso. Por serem áreas ocupadas em sua maioria por lavouras, estão

sujeitas a alterações frequentes na cobertura vegetal do solo em função da espécie cultivada, do manejo, da data de plantio e do desenvolvimento fenológico da cultura. Conseqüentemente, áreas de lavouras classificadas para a classe 6 em um ano podem ter sido classificadas para outras classes relacionadas à menor densidade de vegetação em outro ano.

A classe 4 representa áreas com predominância de vegetação, porém com falhas na cobertura do solo ou grande presença de matéria vegetal seca. Pode representar áreas de lavouras com cobertura parcial do solo, mas em sua maioria está associada a áreas com pastagens, possivelmente em estado de degradação. A participação desse tipo de cobertura é pequena na área de estudo, cerca de 3% em 1990 e cerca de 7% em 2010. As classes 2 e 3 correspondem, respectivamente, às áreas com solos, rochas ou sedimentos expostos e às áreas com vegetação esparsa com predominância de solo. Ambas também ocorrem em feições urbanas, relacionadas a áreas pavimentadas e construções. Em áreas rurais, podem ser associadas a estradas, áreas recém-desmatadas, áreas agrícolas recém-colhidas, preparadas para plantio ou recém-plantadas com cobertura do solo ainda muito baixa. Também se observam pequenas manchas dessas classes em áreas com pastagens, relacionadas normalmente a solos ou subsolos expostos por processos erosivos. A classe 1 está associada aos corpos d'água ou a áreas muito sombreadas. Como na área de estudo não há grandes lagos, represas ou rios largos, muitos pixels em áreas com água podem apresentar uma mistura com coberturas adjacentes (vegetação, sedimentos) e ser atribuídos a outras classes. Isso também é verificado em áreas temporariamente alagadas situadas no Pantanal, principalmente aquelas formadas por camada de água pouco profunda em mistura à vegetação.

A acurácia da classificação quanto à densidade de cobertura vegetal do solo ou quanto ao uso inferido não foi calculada em virtude da falta de dados de campo. Entretanto, observa-se uma boa correspondência entre os dados de 2010 e a interpretação visual dos mosaicos de imagens de alta resolução espacial disponíveis no Google Earth, apesar de parte dessas imagens ser de anos e épocas diferentes.

O trabalho realizado trata de um reconhecimento prévio da cobertura vegetal, dos principais usos das terras e de sua dinâmica para selecionar áreas representativas na região para uma segunda etapa de estudos. Para essa etapa, está previsto o estudo detalhado e exato da situação das atividades agropecuárias, de sua dinâmica e de seus impactos, com a finalidade de fornecer subsídios para a proposição de instrumentos de planejamento e gestão territoriais. O aprimoramento do método de classificação, a introdução de outros produtos de sensoriamento remoto e a avaliação da acurácia dos resultados obtidos certamente contribuirão para atingir a exatidão e o detalhamento necessários nessa segunda etapa do estudo.



CONCLUSÃO

As imagens de NDVI associadas com imagens de reflectância da banda do infravermelho próximo obtidas a partir de imagens Landsat/TM dos anos de 1990 e 2010 permitiram diferenciar, mapear e quantificar sete classes de densidade de cobertura vegetal na área de estudo nos dois diferentes anos e associá-las aos principais usos das terras na região. Do cruzamento dos mapas de ambos os anos foi possível também avaliar e quantificar alterações na cobertura vegetal e inferir alterações no uso das terras.

Os dados indicam que na área de estudo predominavam amplamente áreas com cobertura vegetal associada às pastagens tanto em 1990 quanto em 2010. As áreas destinadas às pastagens cresceram no período 1990-2010, substituindo sobretudo áreas ocupadas por remanescentes de cerrado e matas de galeria.

AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC/CNPq, pela bolsa de iniciação científica concedida; à Embrapa Monitoramento por Satélite, pela oportunidade de estágio.

REFERÊNCIAS

- CHAVEZ JUNIOR, P. S. Image-based atmospheric corrections: revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 62, p. 1025-1036, 1996.
- EMBRAPA. **Agência de Informação Embrapa-Bioma Cerrado**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: 7 jun. de 2011.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. 763 p.
- MATIAS, L. F. **Geoprocessamento Aplicado à Análise das Transformações no Uso da Terra no Município de Paulínia – SP (1964-2006)**. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 2009. (Projeto de Pesquisa).
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.153-156, 2008.
- SOUZA, C. B. M. de. **A bovinocultura de corte do Estado de Mato Grosso do Sul: evolução e competitividade**. Campinas: Instituto de Economia/UNICAMP, 2010. (Dissertação de Mestrado).
- VICENTE, L. E. **Caracterização de Sistemas Ambientais Tropicais Complexos utilizando Análise Sistêmica e Classificação Hiperespectral de dados do sensor Aster**. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 2007. (Tese de Doutorado).