

Estudo da variância em imagens MODIS para diferentes classes de coberturas dos solos: estudo de caso em Querência - MT

Bárbara Maria Giacom Ribeiro ¹
Érika Akemi Saito ¹
Thales Sehn Korting ¹
Eduardo Eiji Maeda ¹
Antonio Roberto Formaggio ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{barbara, eduardo, formag}@dsr.inpe.br {erika, tkorting}@dpi.inpe.br

Abstract. The MODIS sensor, launched on board of the Terra and Aqua satellites, offers almost daily images with a spatial resolution up to 250m, representing a great opportunity in the monitoring of large agricultural areas. However, the influences of some MODIS products' characteristics are still unknown for agricultural studies. Two hypotheses were addressed in the present work: 1) NDVI values from the MOD13Q1 product taken from homogeneous targets have higher variance when compared to NDVI values calculated from single day images. 2) The Linear Mixture Model (LMM), applied to MOD13Q1 images, can decrease the variances inherent to the different acquisition angles of the sensor. A comparison of the MOD09 and MOD13 images' variances was performed in different dates and land use classes. In addition, the LMM was applied and the vegetation fraction image evaluated in comparison with the MOD13 NDVI image. The tests showed that samples of crop, forest and pasture had higher variances of NDVI in December for the MOD09 images, and in August and January, the opposite happened. In the daily images (MOD09), crop areas showed low variance in August, increasing in December and decreasing in January. Although the MOD13 images follow the same pattern as the MOD09, the variances for the three months were lower than those of MOD09, rejecting the initial hypothesis of this work.

Palavras-chave: Remote Sensing, NDVI, MODIS products (MOD09GQ, MOD13Q1), sensoriamento remoto, NDVI, produtos MODIS (MOD09GQ, MOD13Q1).

1. Introdução

A obtenção de informações referentes à produção de culturas agrícolas possui uma grande relevância no cenário econômico brasileiro, sendo importante para a previsão de safras e para a definição de estratégias adequadas para sua economia agrícola, no sentido de contornar o problema da escassez ou do excesso de determinado produto (Ippoliti et al., 1998). Desse modo, o Sensoriamento Remoto é uma alternativa no mapeamento e estimativa de áreas agrícolas.

Nas imagens utilizadas em Sensoriamento Remoto, quanto maior o intervalo de possíveis valores assumidos por um *pixel*, maior é a sua resolução radiométrica; e quanto maior o número de elementos em uma imagem, melhor é sua resolução espacial. A média dos níveis de cinza corresponde ao brilho da imagem, enquanto que a variância refere-se ao contraste. Quanto maior a variância, maior será o contraste da imagem. Uma imagem que possui maior contraste é mais facilmente apreendida pelo sistema óptico humano, facilitando assim sua interpretação visual. No entanto, imagens com objetos de comportamentos espectrais iguais e que apresentem variâncias altas, podem indicar interferências de fatores externos na cena, comprometendo a caracterização dos alvos.

O objetivo do presente trabalho foi testar as seguintes hipóteses: (1) as variâncias nos valores de NDVI de talhões homogêneos são superiores em imagens do produto MOD13Q1 (mosaico de 16 dias) quando comparadas com imagens NDVI calculadas a partir de imagens diárias (MOD09GQ); (2) a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens MOD13Q1 pode diminuir a variância inerente às diferenças causadas pelos distintos ângulos de imageamento dos *pixels*.

1.1. Produtos MODIS

O satélite Terra foi lançado em Dezembro de 1999, começando a coletar dados em

Fevereiro de 2000, com o horário de passagem às 10h30 no Equador. Dentre os sensores a bordo deste satélite, o principal é o MODIS, projetado para atender três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra. Este sensor apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades e para oferecer uma cobertura global quase diária (Justice et al., 2002). O sensor MODIS possui intervalo de revisita próximo ao diário, o que lhe confere uma alta capacidade para estudos de dinâmicas ecológicas terrestres e oceânicas. Seus produtos objetivam a quantificação e a detecção das mudanças da cobertura terrestre, os processos naturais e antropomórficos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais existentes (Roy et al., 2002).

O MOD13, um dos produtos MODLAND para o estudo dos ecossistemas terrestres, é resultado da aplicação de um algoritmo que recebe por entrada 16 imagens da mesma região, obtidas em 16 diferentes dias. O propósito do algoritmo é selecionar *pixels* com visadas próximas ao nadir, sem a ocorrência de nuvens e interferência de sombras, otimizando a resolução espacial do produto gerado (Huete, 1996), portanto, as imagens MOD13 resultantes contêm *pixels* vizinhos que não foram obtidos na mesma data e sob diferentes ângulos.

O produto MOD13 possui resolução de 250 m e o algoritmo empregado utiliza informações sobre correção geométrica, máscara de nuvens, ângulo de visada e ângulo solar. Cabe salientar que os valores de radiância que comporão a imagem de saída são provenientes do produto MOD09 (imagem diária). O diagrama da Figura 1 apresenta, de forma esquemática, o algoritmo empregado na geração do produto MOD13. Vale ressaltar que este produto representa um índice de vegetação, calculado a partir de *pixels* escolhidos dentre um universo de 16 possibilidades para cada posição geográfica. A cada *pixel* gerado é atribuído um coeficiente de qualidade (CQ) referente à quantidade de nuvens detectada nos valores de entrada.

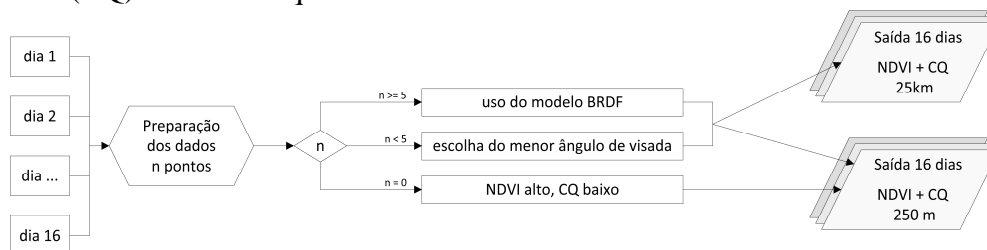


Figura 1. Geração do produto MOD13.

Na Figura 1, n corresponde ao total de *pixels* livres de nuvens. Se este valor for superior a 5, o algoritmo emprega os dados de reflectância bidirecional aplicados à função BRDF modelo. Se este modelo não puder ser aplicado, ou o número de n for inferior a 5, duas observações de reflectância com os menores ângulos de visada são escolhidas para o cálculo do índice, e o maior valor é utilizado na saída. Quando não houver *pixels* livres de nuvens, o NDVI, ainda que seja alto, terá o seu CQ baixo. O produto possui escala de 25 km e utiliza apenas valores com CQ's médios ou altos. Embora índices para 25 km não sejam empregados neste trabalho, *pixels* com valores de CQ baixos também são enviados para a saída do produto MOD13 250 m, ou seja, a interferência das nuvens não pode ser desprezada. Maiores detalhes sobre a geração do MOD13 estão presentes em Roy et al., 2002 e Huete, 1996.

1.2. Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

O Modelo Linear de Mistura Espectral é uma técnica usada para reduzir a mistura do *pixel*, quantificando as proporções de elementos puros que constituem o *pixel* misturado (Shimabukuro e Smith, 1991). Os valores de proporção obtidos com o MLME indicam uma relação física com a área, ao invés de apenas uma escala de valores digitais (0 - 255) (Zhu e Tateishi, 2001). Podendo ser modelado por meio de uma combinação linear de espectros puros, os *endmembers*, suas proporções podem ser estimadas individualmente ou através de Imagens Fração (IF), uma vez conhecidas as respostas espectrais dos componentes de

interesse (Schowengerdt, 2007; Shimazaki e Tateishi, 2001; Roberts et al., 1998; Shimabukuro et al., 1998). As IF são produzidas em níveis de cinza que correspondem à porcentagem do *endmember* presente em cada *pixel*, de modo que um *pixel* mais escuro ou mais claro indica menor ou maior proporção do componente identificado na IF (Haertel et al., 2005).

Com a crescente necessidade de mapeamentos mais precisos a respeito dos recursos naturais terrestres, sobretudo da vegetação, os modelos lineares passaram a ser utilizados com uma maior frequência (Zhu e Tateishi, 2001). No setor agrícola, o MLME vem sendo utilizado para distinguir com maior precisão as áreas de culturas, como algodão e soja, daquelas ocupadas por solo e sombra. Segundo Maas, (2000) as estimativas das áreas de plantio e suas produtividades são mais confiáveis através do uso de MLME.

1.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os índices de vegetação foram criados com o intuito de minimizar a variabilidade causada por fatores externos nas relações entre características da vegetação, por meio da transformação e combinação da reflectância espectral em tais índices (Ponzoni, 2001). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) compreende a razão entre as bandas da faixa espectral do vermelho e infravermelho. A partir da magnitude desta razão, é possível inferir a respeito da biomassa verde, teor de clorofila na vegetação e ainda o crescimento da vegetação verde. O NDVI pode ser expresso pela Equação 1:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R), \quad (1)$$

onde *NIR* equivale à faixa do infravermelho próximo (MODIS/Terra, banda 2, 841-876 nm) e *R*, à do vermelho (MODIS/Terra, banda 1, 620-670 nm).

A aplicação do índice NDVI em imagens orbitais obtidas pelo sensor MODIS vem auxiliando no monitoramento contínuo da cobertura vegetal, em escalas global e regional (Ferreira e Huete, 2002; Qian, 2006). Em termos visuais, a imagem NDVI é semelhante à Imagem Fração vegetação e, dependendo da área de estudo e do sensor utilizado, pode apresentar elevada correlação entre os *pixels*, como demonstrado por Holben e Shimabukuro (1993), pelo fato de ambas apresentarem um parâmetro físico a respeito da vegetação.

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região Centro-Oeste do Brasil, abrangendo o município de Querência, no leste do estado do Mato Grosso (Figura 2). Querência faz parte da Grande Bacia Amazônica e dentro de seus limites se encontra parte da Reserva Indígena do Xingú, e uma imensa área virgem, formada pelo Cerrado Mato-Grossense, Floresta Amazônica e áreas de transição. Possui uma área total de 17.850,249 km².

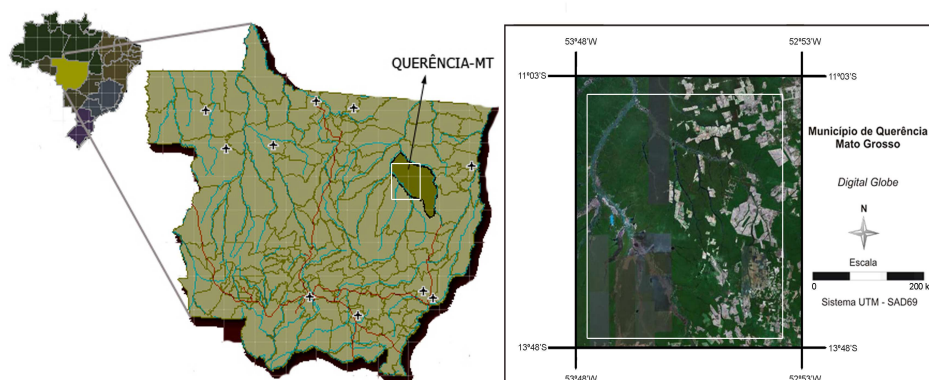


Figura 2. Área de estudo localizada no estado do Mato Grosso – Município de Querência (adaptado de IBGE, 2008).

A economia dos municípios desta região tem base principalmente nas atividades agropecuárias, como a criação extensiva de gado de corte e plantio de culturas temporárias,

com destaque para a soja, que em 2005 ocupava uma área de cerca de 150 mil hectares no município. Em seu estudo sobre esta região, Maeda (2008) demonstra que grande parte do desflorestamento ao redor da cidade de Querência ocorreu em função da expansão de áreas plantadas com culturas temporárias. Além dos fatores econômicos à expansão agrícola, o aumento das áreas plantadas pode ser explicado por fatores físicos, como por exemplo, os tipos de solo.

3. Metodologia

A Figura 3 esquematiza o fluxo das atividades desenvolvidas no trabalho:

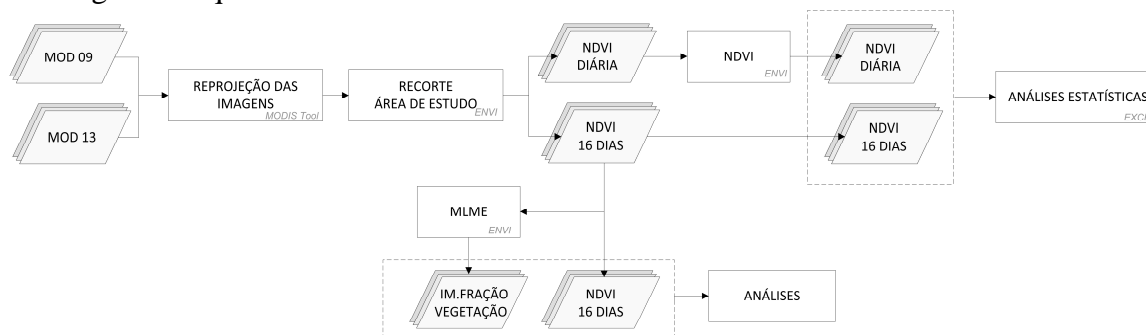


Figura 3. Fluxo das etapas realizadas no presente trabalho.

Buscando responder às questões propostas, foram utilizadas neste trabalho imagens MODIS relativas aos meses de Agosto de 2005 (período de pré-plantio), Dezembro de 2005 (período de vigor vegetativo crescente) e Janeiro de 2006 (período de máximo vigor da soja). As imagens são produtos MOD-09GQ (imagens diárias) e MOD-13Q1 (composição de 16 dias), com resolução espacial de 250 m e resolução radiométrica de 16 bits.

Tabela 1. Datas de aquisição e mosaicagem dos produtos MOD13Q e MOD09GQ utilizados do estudo.

Imagens	Produtos MOD13Q1	Produtos MOD09GQ
“Agosto”	13 a 28/08/2005	18/08/2005
“Dezembro”	19/12/2005 a 03/01/2006	22/12/2005
“Janeiro”	17/01 a 01/02 /2006	23/01/2006

Os dados MODIS são disponibilizados no formato HDF, com projeção Sinusoidal, fazendo-se necessário reprojeta-los para o sistema UTM, zona 22 Sul, com *datum* de referência WGS84, por meio do método bilinear de reamostragem de *pixels*. O conjunto de dados MOD09 (imagens diárias) foi convertido para valores de NDVI utilizando a Equação 1. Para comparar as variâncias dos valores de NDVI das imagens do produto MOD13 e do produto MOD09, foram coletadas amostras aleatórias em talhões homogêneos de cultura, de floresta e de pasto. Amostras aleatórias também foram adquiridas para a comparação das imagens NDVI MOD13 com as Imagens Fração Vegetação obtidas por meio da aplicação do MLME nas bandas 1 - Vermelho, 2 - Infravermelho Próximo e 3 - Infravermelho Médio (Shimabukuro e Smith, 1991).

Contudo, por serem expressos em números adimensionais de naturezas diferentes, esta análise foi realizada de maneira qualitativa, visando demonstrar o aumento ou diminuição das variâncias, não sendo possível a quantificação dessas diferenças, sendo que a análise foi realizada visualmente utilizando os histogramas da imagem de toda a área de estudo e das amostras aleatórias.

4. Resultados e Discussão

Para cada conjunto amostral de cultura, floresta e pasto, relativos aos meses de Agosto, Dezembro e Janeiro, foram calculadas as respectivas variâncias. As variâncias referentes às imagens NDVI - MOD13 e NDVI - MOD09 são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Variâncias dos valores de NDVI das amostras de cultura, floresta e pasto, para as imagens NDVI diárias (MOD09) e composição de 16 dias (MOD13), relativas aos meses de Agosto/2005, Dezembro/2005 e Janeiro/2006.

VARIÂNCIA	Agosto		Dezembro		Janeiro	
	MOD09	MOD13	MOD09	MOD13	MOD09	MOD13
Cultura	0,002542	0,005571	0,074170	0,016145	0,000833	0,001249
Floresta	0,000046	0,000055	0,001136	0,000745	0,000054	0,000072
Pasto	0,005641	0,012860	0,025709	0,007359	0,008952	0,009296

A Figura 4 apresenta o gráfico das variâncias das amostras de cultura, floresta e pasto, para as imagens NDVI MOD09 e MOD13.

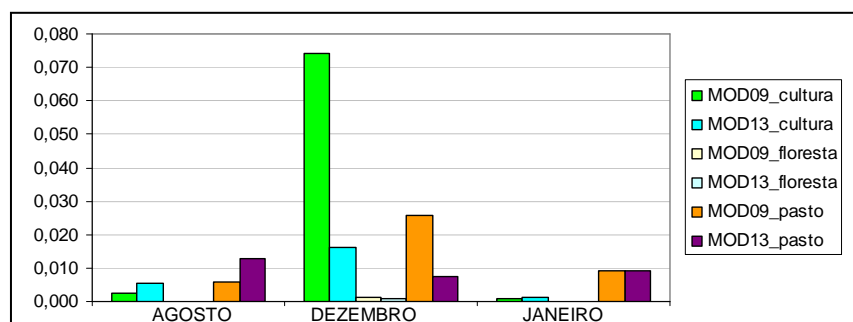


Figura 4. Variâncias das amostras de cultura, floresta e pasto, para as imagens NDVI MOD09 e MOD13.

As análises mostram que amostras de cultura, floresta e pasto apresentaram maiores variâncias de NDVI no mês de Dezembro para as imagens MOD09, sendo que em Agosto e Janeiro, aconteceu o contrário. Nas imagens diárias (MOD09), as futuras áreas de soja possuem baixa variância no mês de Agosto, aumentando em Dezembro (soja com vigor crescente) e diminuindo em Janeiro (cultura com alto vigor). Apesar do MOD13 seguir o mesmo padrão que o MOD09, as variâncias para os três meses foram menores que as do MOD09. Tal fenômeno pode ser explicado em função dos estágios fenológicos da cultura de soja, visto que em Agosto as áreas ainda se encontram em período de pré-plantio, em Dezembro as plantas estão em desenvolvimento, e em Janeiro estão em estado de maturação, aproximando-se do ponto de colheita, que costuma ocorrer em meados de Fevereiro (Maeda, 2008). Com relação ao mês de Agosto, é importante enfatizar que um mosaico de dados ao longo de 16 dias pode envolver desde o solo exposto, preparado para o plantio, até o início do brotamento das plantas, o que certamente compromete a qualidade da informação espectral relativa a este tipo de cobertura do solo.

As variâncias nos valores de NDVI das amostras de floresta permaneceram estáveis no período de Agosto a Janeiro para MOD09 e MOD13, o que é esperado, pois trata-se de um período curto de estudo, não sendo significativo o crescimento da cobertura vegetal da floresta. Os resultados para as amostras de pasto relativas ao produto MOD13 apresentam as maiores variâncias em Agosto, decrescendo em Dezembro e aumentando ligeiramente em Janeiro. Nas imagens MOD09, o pasto exibe variância mais baixa, aumentando em Dezembro e Janeiro, voltando ao mesmo nível de variância de Agosto. Faz-se necessário ressaltar que as variâncias relativas às imagens dos mosaicos de 16 dias (MOD13) que se apresentaram maiores em comparação com as imagens diárias (MOD09), ocorreram de maneira sutil: as diferenças entre as variâncias de MOD13 e MOD09, nestes casos, são pequenas.

Os resultados encontrados nesta etapa podem ser explicados pelo modo como é construída a imagem de 16 dias do produto MOD13. Depois de uma análise dos valores de radiância, apenas os “melhores” *pixels* são selecionados para o mosaico final. Estes *pixels* devem apresentar os maiores valores de radiância e estar livres de nuvens, sombras e outros tipos de ruídos. Assim o mosaico final apresenta maior uniformidade de valores, o que, de fato, é irreal, pois trata-se de uma “colagem” de dados que não aconteceram concomitantemente. Os *pixels* resultantes do mosaico são provenientes de aquisições em

diferentes dias (16 possibilidades), sob diferentes condições atmosféricas e diferentes ângulos de visada (Justice et al., 1998; Huete et al., 1996).

A Figura 5 mostra as imagens NDVI, ângulos zenitais solares e ângulos zenitais de visada do produto MOD13. Nas Figuras 5b e 5c, os níveis de cinza mais altos representam os maiores ângulos (iluminação e visada). Observando as três imagens, é possível relacionar a mudança brusca de níveis de cinza na área de floresta na imagem NDVI com a mudança dos ângulos zenitais de iluminação solar, o que compromete as análises realizadas sobre a imagem NDVI.

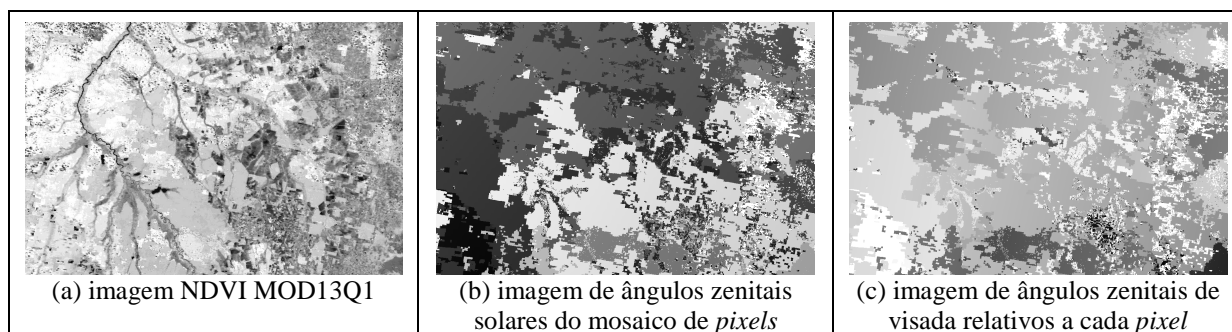


Figura 5. Imagens do produto MOD13Q1 (composição 16 dias).

Considerando-se que as imagens MOD09 passam por um processo de correção atmosférica, é esperado que os dados obtidos para diferentes datas sejam altamente correlacionados, o que garante a homogeneização das respostas espectrais. Entretanto, dentro de talhões homogêneos, é possível encontrar variâncias entre *pixels* de alvos de mesma natureza, devido à influência de sombras e ao próprio comportamento de grupos de alvos ou de cada indivíduo em particular.

Segundo Cihlar (2000), a variação na geometria de visada de composições multitemporais, como os produtos MOD13, causa diferenças radiométricas em *pixels* adjacentes que correspondem ao mesmo tipo de cobertura, podendo conduzir a erros de classificação. Índices de vegetação são utilizados para minimizar este problema, pois eliminam diferenças sazonais do ângulo solar e os efeitos da atenuação atmosférica, entretanto sua eficiência nem sempre é comprovada. Correia et al. (2005) mostraram que composições MOD13 possuem uma correção atmosférica adequada, garantindo a homogeneização das respostas espectrais de diferentes datas. Da mesma forma, a comparação das variâncias das imagens NDVI MOD13 e IF Vegetação mostra que, para os três meses constituintes deste estudo, as imagens NDVI MOD13 apresentaram as menores variâncias (Figuras 6 e 7).

A Figura 6 mostra as imagens NDVI e Fração Vegetação do produto MOD13Q1, de Agosto/2005. Enquanto que a aplicação do NDVI na primeira imagem conseguiu eliminar distorções provenientes de diferenças radiométricas, na IF Vegetação, as distorções decorrentes do imageamento sob diferentes condições de iluminação solar são bastante visíveis.

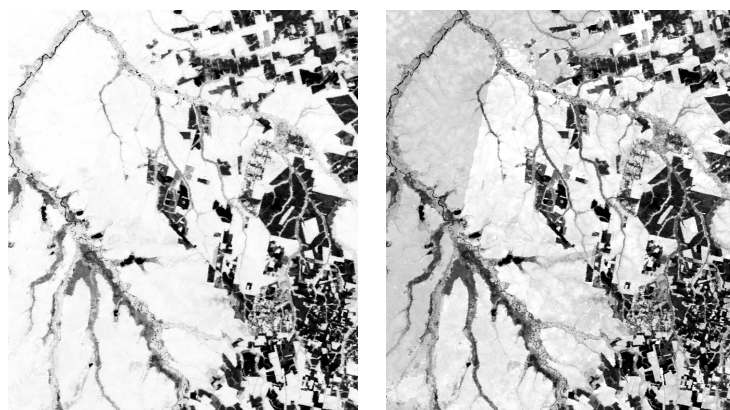


Figura 6. Imagens NDVI e Fração Vegetação da composição de 16 dias (MOD13Q1) de Agosto/2005.

A Figura 7 mostra os histogramas das imagens NDVI e das IF Vegetação da composição de 16 dias - MOD13Q1. Embora os valores não possam ser comparados numericamente, o espalhamento do histograma permite observar o comportamento das variâncias de cada imagem.

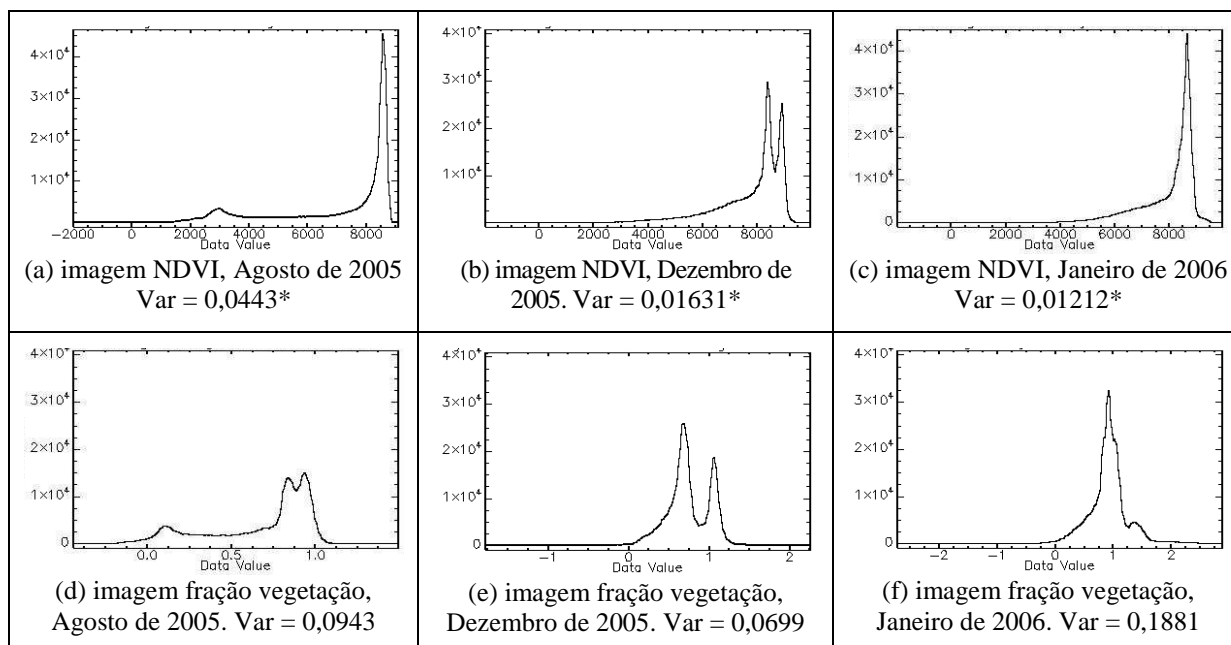


Figura 7. Histogramas das imagens NDVI e Fração Vegetação da composição de 16 dias (MOD13Q1).

*Os valores de NDVI das imagens (a), (b) e (c) devem ser divididos por 10.000.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou uma série de análises de diferentes índices de vegetação, utilizando imagens MODIS de composição 16 dias (MOD13) e imagens diárias (MOD09). As imagens NDVI MOD13 foram comparadas com as Imagens Fração Vegetação obtidas por meio de MLME aplicado nas bandas 1(R), 2 (IR) e 3 (MIR) do produto MOD13. Esta análise pôde ser realizada somente visualmente, dado que os valores dos *pixels* são de naturezas distintas, sendo adimensionais no caso do NDVI, e uma porcentagem, no caso das Imagens Fração.

Outra análise realizada diz respeito às diferenças entre variâncias dos produtos MOD09 e MOD13. O esperado seria que um produto composto por diversas imagens obtidas em situações distintas apresentasse maior variância, em comparação com imagens de apenas um imageamento. No entanto, a bibliografia aponta para as diversas correções aplicadas nas imagens de composição 16 dias para minimizar o efeito da vizinhança de *pixels* obtidos em diferentes configurações. Outra questão que contribuiu para as variâncias não apresentarem o efeito proposto na hipótese concerne aos diferentes tipos de alvos. Foram coletadas amostras de cultura, floresta e pasto, que apresentam suas peculiaridades. As diferentes épocas do ano, nas quais foram obtidas as imagens, também influenciam os resultados, especialmente em áreas de cultura, com diferentes estados de produção (plantio, crescimento, etc.).

Com relação à metodologia de geração dos *pixels* do produto MOD13, cabe salientar que alguns elementos, ainda que com coeficientes de qualidade baixos, compõem a imagem de saída, o que pode prejudicar uma análise mais aprofundada em regiões com forte interferência de nuvens e diferentes angulações de imageamento e iluminação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e ao INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelo apoio financeiro.

Referências

- Correia, A. H.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V. Utilização de dados reflectância MODIS (composições de 8 dias) para detecção de desmatamentos na Amazônia. In: XII SBSR, 2005, Goiânia. **Anais... XII SBSR, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 481-488**
- Cihlar, J. Land cover mapping from satellites: Status and research priorities. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 1093-1114, 2000.
- Ferreira, L. G.; Huete, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, 2002.
- Haertel, V.; Shimabukuro, Y. E. Spectral Linear Mixing Model in Low Spatial Resolution Image Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 11, p.2555-2562. November 2005.
- Huete, A.; Justice, C.; Van Leeuwen, W. **Modis Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document**. v2. NASA - GSFC, Greenbelt, MD. 1996
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Cidades**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 1 ago. 2008.
- Ippoliti, G. A.; Epiphanyo, J. C. N.; Shimabukuro, Y. E.. Utilização de Sensoriamento Remoto na previsão de área a ser plantada com culturas de verão em três municípios do Estado de São Paulo. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. **Anais... IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 25-37.**
- Justice, C. O.; Giglio, B.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J. T.; Roy, D. P.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. 2002. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-262.
- Maas, S. J. Linear mixture modeling approach for estimating cotton canopy ground cover using satellite multispectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 72, p. 304-308, 2000.
- Maeda, E. E. ; Formaggio, A. R. ; Shimabukuro, Y. E. . Análise Histórica das Transformações da Floresta Amazônica em Áreas Agrícolas na Bacia do Rio Suia-Miçu. **Sociedade & Natureza**, v. 20(1), p. 5-24, 2008.
- Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. S. (Org.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB; Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 2001. p. 63-119.
- Qian, C. Multisensor Comparisons for Validation of MODIS Vegetation Indices. **Pedosphere**, v. 16, n. 3, p. 362-370. June 2006.
- Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church, R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R. O. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 65, p. 267-279, 1998.
- Roy, D. P.; Borak, J. S.; Devadiga, S.; Wolfe, R. E.; Zheng, M.; Descloitres, J. The MODIS Land product quality assessment approach. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 62-76. 2002.
- Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: Models and methods for image processing**. San Diego: Academic Press, 2007, 515 p.
- 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, p. 16-20,1991.
- Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M.; Ponzoni, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998.
- Shimazaki, Y.; Tateishi, R. Land cover mapping using spectral and temporal linear mixing model at Lake Baikal Region. In: Asian Conference On Remote Sensing, 22, 2001, Cingapura. **Proceedings...** Cingapura: [s.n.], 2001.
- Zhu, L.; Tateishi, R. Application of linear mixture model to time series of AVHRR NDVI data. In: Asian Conference On Remote Sensing, 22, 2001, Cingapura. **Anais...** Cingapura: [s.n.], 2001.