

## **Avaliação do produto (MOD09) originado do sensor MODIS/TERRA através de radiometria de campo em uma área de soja**

Elizabeth Goltz<sup>1</sup>,  
Maurício Alves Moreira<sup>1</sup>  
Brummer Seda Alvarenga<sup>2</sup>  
José Luís Yi Rodrigues<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil  
{goltz, mauricio}@ltid,inpe.br

<sup>2</sup> Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda.  
Av. Shishima Hifumi, nº 2.911  
Parque Tecnológico UNIVAP  
Urbanova São José dos Campos, SP  
brummer@geoambiente.com.br

<sup>3</sup> Cargill Agrícola S.A Av. Morumbi,  
8234 – Brooklin 04703-002 São Paulo, SP  
jose\_yi@cargill.com

**Abstract.** Most studies involving the Remote Sensing technique in the agricultural field use medium spatial resolution images. However, these sensors present low temporal resolution. An alternative to increase the volume of (spectral) data for summer crops is the use of sensors with high temporal resolution, as MODIS. These sensors present a daily temporal resolution, increasing the chances of obtaining spectral data in a smaller time intervals. The objective of this study is to verify if the surface reflectance product (MOD09GQK) supplied by MODIS, is reliable and accurate for crop monitoring. For this, spectral field measurements were taken, in a cultivated land with three soybean varieties located in the Uberlândia, Minas Gerais, Brazil, during the crop year of 2003/04. These measurements were made at 30 georeferenced points, scattered throughout the study area, using the spectroradiometer. With these results were concluded that for this field and crop conditions, the data supplied by MODIS in relation with field data, showed no significant differences for the vegetation indices (NDVI and EVI).

**Palavras chave:** espectroradiômetro, soja, MODIS, MOD09, EVI, NDVI, spectroradiometer, soybean.

## 1. Introdução

No Brasil, a agricultura é um dos setores de maior expressão na economia, uma vez que o País é um grande produtor de soja, milho, café e cana-de-açúcar, dentre outras *commodities*. O desenvolvimento tecnológico na área agrícola tem se tornado uma peça fundamental no incremento produtivo e econômico. O planejamento e o gerenciamento agrícola necessitam de informações cada vez mais precisas e em tempo hábil. Com isso, o sensoriamento remoto tornou-se uma importante ferramenta na extração de diversas informações necessárias à agricultura.

No âmbito do sensoriamento remoto, o monitoramento do ciclo vegetativo das culturas agrícolas é realizado através de observações das curvas espectrais da vegetação e, principalmente, através da geração e análise dos índices de vegetação. Estes índices têm associação direta com a quantidade de biomassa, índice de área foliar, cobertura do solo, interceptação da radiação (Ormsby *et al.*, 1987; Rudorff e Batista, 1990; Wiegand *et al.*, 1992; Antunes *et al.*, 1993).

A maioria das pesquisas em sensoriamento remoto para o monitoramento agrícola emprega imagens com resolução espacial média. Exemplos de imagens com este tipo de resolução são as imagens dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente, com os sensores TM e ETM+ que apresentam resolução espacial de 30m. Mais recentemente, com o lançamento do CBERS2, tornaram-se disponíveis imagens do sensor CCD com resolução espacial de 20m. Entretanto, estes sensores são limitados no que diz respeito ao período de revisita (resolução temporal) que é de 16 dias para o TM e 26 dias para o CCD.

Conseqüentemente, o monitoramento do ciclo vegetativo, principalmente para as culturas anuais de verão, fica comprometido por este período de revisita, visto que nestes intervalos de 16 ou 26 dias, podem ocorrer grandes mudanças no ciclo vegetativo das culturas.

Além disso, em se tratando de culturas de verão, neste período a obtenção de imagens por estes sensores pode ser limitada devido à alta incidência de nuvens, reduzindo ainda mais as chances de obtenção das imagens e, em conseqüência, interferindo no monitoramento do ciclo vegetativo destas culturas.

Como uma forma de tentar minimizar esses efeitos, surge a necessidade do uso de sensores com alta resolução temporal. No entanto, esses sensores apresentam de moderada a baixa resolução espacial, o que limita o uso dependendo da aplicação.

Neste contexto, o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) aparece como uma alternativa no monitoramento global da vegetação. O MODIS está a bordo dos satélites TERRA e AQUA pertencentes ao programa EOS (*Earth Observing System*) da NASA (*National Aeronautic and Space Administration*). Este sensor possui resolução temporal diária e resoluções espaciais de 250m, 500m e 1000m.

Além disso, uma das iniciativas promovidas pelo programa EOS é a disponibilização de uma grande quantidade de dados já processados para pesquisa. Dentre os produtos disponibilizados estão os dados de reflectância da superfície MOD09, os quais servem de base para geração de outros produtos, como: os índices de vegetação NDVI e EVI, índice de área foliar (IAF), entre outros (Parkinson e Greenstone, 2000).

Como estes produtos são obtidos através de processos automáticos por meio de algoritmos, surge a necessidade de serem avaliados com informações coletadas a campo ou de outros satélites.

Com base nestas observações e com o intuito de estender a sua aplicação em áreas agrícolas. Este trabalho propõe a avaliar a precisão do produto de reflectância da superfície (MOD09GQK) originados a partir dos dados do sensor MODIS a bordo do satélite TERRA, com o mesmo parâmetro obtido através de dados coletados ao nível de campo, em uma área agrícola de soja, com o espectroradiômetro *FieldSpec Pro FR*.

## 2. Material e Métodos

A área onde foram realizadas as medidas de campo se localiza na fazenda “Santa Rosa”, situada no município de Uberlândia, no estado de Minas Gerais - Brasil.

O talhão abrange, aproximadamente, 1 km<sup>2</sup> e está localizado entre as coordenadas geográficas de 19° 06' 25'' S – 19° 07' 12'' S e as longitudes de 48° 08' 10'' W – 48° 08' 36'' W.

Na área de estudo foram plantadas três cultivares de soja (*Glycine max*, L.): Monsoy 8001, Aventis 7002 e Viçosa 2005 (**Figura 1**). Não houve diferenciação no espaçamento e no sistema de manejo entre as variedades. Porém, estas apresentam ciclos fenológicos distintos: a variedade 1 apresenta o ciclo mais precoce do que as outras duas. Desta forma, analisou-se as variedades Viçosa e Aventis como sendo uma única variedade e a variedade Monsoy separadamente. A época de plantio das variedades foi entre os dias 06/11/2003 a 12/11/2003.



**Figura 1-** Imagem Landsat –TM do dia 27/02/2004 R(3) G(2) B (1), mostrando a área de estudo delimitada em vermelho e as três cultivares distintas.

A escolha da área de estudo foi feita mediante algumas características importantes para a realização da atividade de validação dos dados MODIS, como:

- Homogeneidade do dossel vegetativo, exigindo uma menor aquisição de pontos amostrais no campo;
- Área de grande extensão, compatível com o tamanho do pixel do MODIS que é de 250m;
- Área apresentava relevo plano, evitando os efeitos topográficos;
- Propriedade com manejo e sanidade fitossanitária controlados por técnicos.

Para esta pesquisa foram realizadas um total de 4 campanhas de campo para a coleta dos dados radiométricos. As campanhas de campo ocorreram nos seguintes dias: 15/12/2003, 22/01/2004, 12/02/2004 e 9/03/2004.

Nestas missões foram coletadas as medidas radiométricas em 30 pontos distribuídos esparsamente dentro da área de estudo com o auxílio do *FieldSpec Pro FR*, que é um espectroradiômetro portátil e que opera no range espectral de 0,3 a 2,5  $\mu\text{m}$ . Todos os pontos foram coletados a nadir e em seguida georreferenciados com o GPS (*Global Positioning*

*System*), para facilitar tanto a sua localização na outra missão de campo, quanto a localização nas imagens MODIS.

Em seguida, foram calculados, para cada missão de campo e para cada variedade, os valores médios de cada banda (azul, vermelho e infravermelho médio). Para se realizar este cálculo levou-se em consideração o comprimento das bandas do sensor MODIS, que pode ser visualizado na **Tabela 1**.

**Tabela 1:** Resolução espectral das bandas do vermelho e infravermelho do sensor MODIS.

BANDAS	MODIS (nm)
Azul	459 – 479
Vermelho	620 – 670
Infravermelho	841 – 876

A partir das médias das bandas do vermelho e infravermelho, obtiveram-se também os valores médios do NDVI, utilizando para isto a **Equação 1**:

$$(1) \quad NDVI = \frac{\text{reflectância}_{IVP} - \text{reflectância}_V}{\text{reflectância}_{IVP} + \text{reflectância}_V}$$

Como não se pode calcular diretamente o EVI (**Equação 2**) com os dados coletados ao nível de campo, pois nos dados de campo a interferência atmosférica é desconsiderada. Desta forma, os coeficientes de ajuste ( $C_1$  e  $C_2$ ), contidos na fórmula do EVI, e a banda azul são desprezados no cálculo ao nível de campo.

$$(2) \quad EVI = G \times \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{L + \rho_{IVP} + C_1 \times \rho_V - C_2 \times \rho_A}$$

Sabendo-se que o EVI é gerado a partir de dois índices de vegetação, o ARVI e o SAVI, e os ajustes dos efeitos atmosféricos (oriundos do ARVI) são desprezados, se reduz o EVI à equação do SAVI.

Desta forma, com os dados coletados em campo no lugar da equação do EVI é utilizada a equação do SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*) (Didan, 2005), mostrada pela **Equação 3**:

$$(3) \quad SAVI = [(\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V + L)] * (1 + L)$$

Como o valor do fator de correção  $L$  depende do desenvolvimento vegetativo. De acordo com Huete (1988), para este trabalho se adotou os seguintes valores:  $0,25$  para alta cobertura de vegetação e  $1$  para baixa cobertura de vegetação. Já para coberturas de vegetação intermediárias o valor utilizado foi  $0,5$ .

Com isso, se calculou os índices de vegetação (NDVI e SAVI) a partir dos dados de reflectância obtidos ao nível de campo com o espectrorradiômetro para cada missão de campo e variedade.

Várias imagens de reflectância diária do sensor MODIS (MOD 09) com 250 m de resolução espacial foram adquiridas, coincidindo com os dias próximos das missões de campo. As imagens foram adquiridas através da página do *EOS Data Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>), sendo estas referente ao *tile* h13v10.

Estes dados, originalmente na projeção *integerized sinusoidal* e no formato *.hdf*, foram convertidos para a projeção UTM e formato GeoTiff através do *MODIS Reprojection Tool*

(<http://edcwww.cr.usgs.gov/programs/sddm/modisdist/index.shtml>). Todo o processamento das imagens foi realizado utilizando-se o programa ENVI versão 4.0.

Realizou-se uma verificação de presença de nuvens nas imagens escolhidas, restando somente imagens próximas do dia de campo aparentemente sem nuvens na área de estudo.

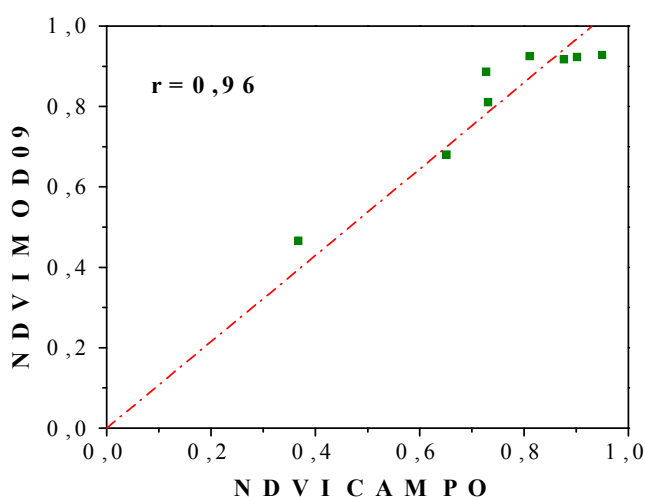
Como o produto MOD09GQK, apresenta apenas as bandas do vermelho e infravermelho, para o cálculo do EVI foi necessária a reamostragem da banda azul (oriunda do produto MOD09GHK com 500m de resolução) para 250m.

Desta forma, foram calculados os índices NDVI e EVI a partir das imagens de reflectância diária para cada missão de campo e variedade.

### 3. Resultados

O gráfico de dispersão entre o NDVI obtido a partir dos dados de reflectância de campo e o obtido através da reflectância do produto MOD09, pode ser visto na **Figura 2**.

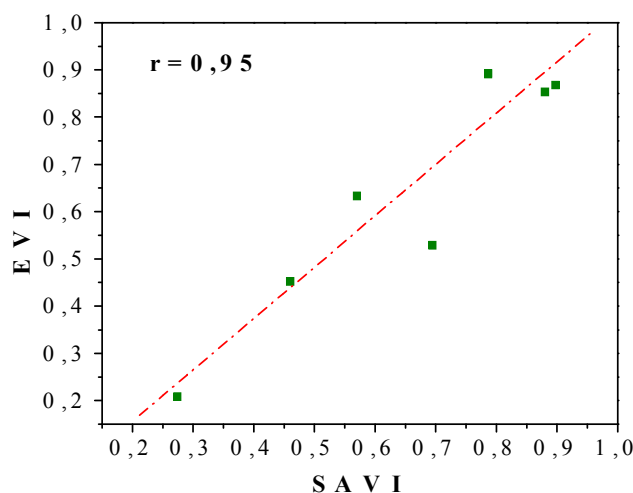
Em geral, os valores do NDVI obtidos ao nível de campo se mostram maiores do que os gerados a partir do produto MOD09. Isto pode ser devido aos efeitos atmosféricos, que durante o processo de correção atmosférica no produto MOD09 podem não ser totalmente eliminados. O coeficiente de correlação ( $r$ ) desta análise foi 0,96.



**Figura 2** - Gráfico de dispersão entre o NDVI (MOD09) e o NDVI (campo).

Em seguida, aplicou-se o teste  $t$  para pares de observação entre os dados e verificou-se a aceitação da hipótese de nulidade ao nível de 1% de probabilidade, ou seja, os valores de NDVI obtidos com os dados de campo não diferiram significativamente daqueles gerados pelo MOD09.

Na **Figura 3**, observa-se o gráfico de dispersão entre os índices de vegetação EVI calculado a partir dos dados do produto MOD09 e SAVI calculado a partir dos dados de campo.



**Figura 3** - Gráfico de dispersão entre o EVI (MOD09) e o SAVI (campo).

Nestas condições os dois índices se mostraram bem relacionados ( $r = 0,95$ ), apesar dos dados obtidos ao nível de campo (SAVI) se mostrarem um pouco maiores do que os obtidos a partir do MOD09 (EVI). Analisando os dados, observou-se que os valores de EVI e SAVI eram muito parecidos na maioria das missões, com exceção da 3ª missão (12/02/2004). Desta forma, baseado nas equações que regem estes índices, quanto mais próximos os valores deles, menor foi a interferência atmosférica nos dados. Assim, pode dizer que de forma geral (durante a maioria das campanhas) os efeitos atmosféricos resultantes da correção do produto MOD09 quase não interferiram nos resultados dos índices de vegetação.

Aplicou-se nos dados EVI (MOD09) e SAVI (campo) o teste  $t$  para pares de observação. Como resultado do teste, aceitou-se a hipótese nula ( $H_0$ ), ao nível de significância de 1%. Este resultado mostrou que as diferenças encontradas entre os valores de EVI e SAVI não foram significativas.

Para complementar os resultados obtidos com os índices de vegetação, através da **Tabela 2**, pode-se verificar os valores de erro médio quadrático (RMSD), do desvio médio (DM) e do coeficiente de variação (CV), entre os índices calculados com as medidas de reflectância de campo e os calculados com os dados de reflectância gerados pelo produto MOD09.

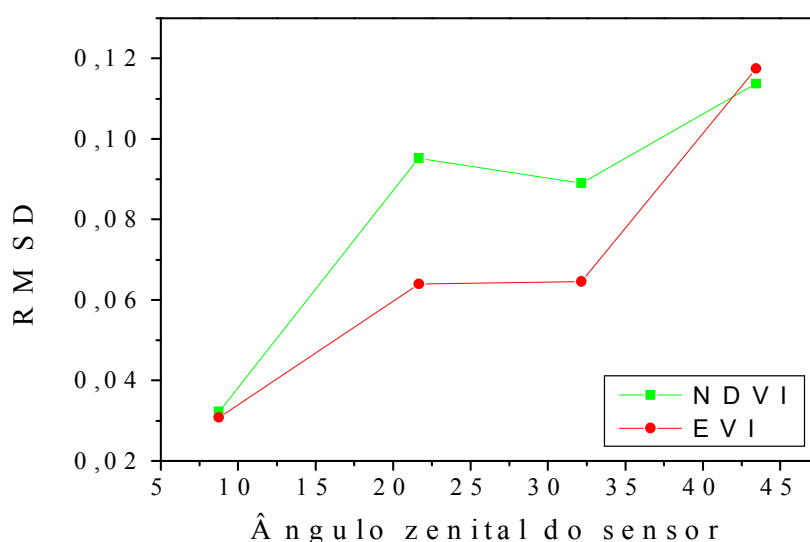
**Tabela 2** - Valores RMSD, DM e o CV, entre os índices calculados com as medidas de reflectância de campo e os calculados com os dados de reflectância gerados pelo produto MOD09.

	<b>RMSD</b>	<b>DM</b>	<b>CV (%)</b>
<b>NDVI</b>	0,084512	-0,06458	10
<b>EVI/SAVI</b>	0,086562	-0,0025	13

Através destes dados, observou-se que o NDVI apresentou as menores diferenças do que o EVI/SAVI. Atribui-se esta menor diferença nos valores de NDVI ao fato de que tanto nos dados de campo quanto nas imagens MOD09, a equação utilizada é a mesma, o que diminuiu a inserção de erros. Em relação as diferentes equações utilizadas na obtenção do EVI e o SAVI, quanto mais falhas ocorrerem na correção dos efeitos atmosféricos maiores serão as diferenças entre eles.

Outro fator muito importante que foi analisado diz respeito ao ângulo de visada do sensor. De acordo com Galvão *et al.* (2001), os valores NDVI diminuem para um mesmo alvo, quando vistos sob condições de visada extrema. Desta forma, a influência do ângulo zenital sobre os índices de vegetação podem ser observada no gráfico da **Figura 4**, onde foi calculado o valor RMSD dos índices para cada missão e estes foram correlacionados com o ângulo zenital do sensor das respectivas missões de campo.

Ao analisar a **Figura 4**, observa-se que quanto menor o ângulo zenital do sensor menor é o valor RMSD. Isto é quanto mais próximo à localização da área do nadir, menor é o erro entre as medidas de campo e as medidas obtidas pelo sensor. Para o EVI esta afirmação foi verdadeira. Já para o NDVI, a imagem do dia 20/01/2004 (21°66') o erro foi levemente maior do que o da imagem do dia 15/12/2003 (32°15'), contestando esta afirmação. Porém, este valor maior do RMSD pode estar ligado à falhas na correção atmosférica, pois durante o período da 2ª missão (22/01/2004) a incidência de chuvas e a umidade relativa do ar estavam altas, o que pode ter influenciado nos valores de NDVI.



**Figura 4** - Gráfico de dispersão entre o valor RMSD dos índices de vegetação (NDVI e EVI) e o ângulo zenital do sensor.

Os dados do produto MOD09 são, também, corrigidos para estes efeitos de visada do sensor. Esta correção minimiza esses efeitos, porém, não os eliminam, como pode ser visto nos resultados acima.

Estudos mais aprofundados devem ser realizados como forma de eliminar ao máximo estes efeitos de visada nos valores dos índices de vegetação. Isto pode ser realizado através da observação desta influência e restrição dos ângulos de visada que mais influenciam. A título de exemplo, alguns trabalhos com o AVHRR, tal como o MODIS, que apresenta amplo campo de visada, onde se recomenda a restrição do ângulo em  $\pm 14^\circ$  (Duggin *et al.*, 1982) ou  $\pm 25$  graus (Gutman, 1991) em relação ao nadir.

Outro cuidado que deve ser tomado é quanto ao uso de produtos gerados a partir do produto MOD09, como: MOD13 (composição de 16 dias) para o monitoramento da vegetação ou MOD15 (IAF). De acordo com o trabalho de Gao *et al.* (2003), o ângulo do sensor é um fator importante para justificar as discrepâncias envolvidas na comparação entre os índices de vegetação obtidos ao nadir e os índices gerados pelo MOD13 (composição de 16

dias), que implicitamente leva em conta diversos ângulos zenitais do sensor para a formação deste produto.

#### 4. Conclusões

Ambos índices de vegetação observados apresentaram valores de coeficiente de variação pequenos, sendo os valores de NDVI com 10% e o EVI/SAVI com 13%.

Os valores de RMSD dos índices de vegetação apresentaram relação direta com a variação do ângulo zenital do sensor, isto é, quanto mais distante do nadir maiores serão os erros entre as medidas.

Estas diferenças associadas entre os dados do produto MOD09 e os dados de campo podem ser devido a processo de correção atmosférica utilizado na obtenção do produto MOD09, o qual não leva em conta alguns parâmetros atmosféricos locais.

Outra possível influência sobre os resultados, diz respeito à correção aplicada nos pixels que se localizam mais distantes do nadir. Este processo minimiza esses efeitos da geometria de visada do sensor, porém não os elimina completamente.

#### 5. Bibliografia

Antunes, M.A.H.; Assad, E.D.; Batista, G. Variação das medidas com espectrorradiômetro ao longo do crescimento da soja (*Gycine max*, L.). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba – PR. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 1993. v. III, p. 1-9.

Duggin, J.J.; Piwiski, D.; Whitehead, V.; Ryland, G. Evaluation of NOAA-AVHRR data for crop assessment. **Applied Optics**, 21:1873-1875, 1982.

Galvão, L.S.; Ponzoni, F.J.; Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R. Efeitos da geometria de visada sobre a determinação de índices de vegetação . In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu – PR. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1403 - 1409.

Gao,X.; Huete, A.R.; Didan, K. Multisensor comparisons and validation of MODIS vegetation indices at the semiarid Jornada experimental range. **IEEE Tansactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 10, p. 2368-2381, out. 2003.

Gutman, G.G. Vegetation indices from AVHRR: an update and future prospects. **Remote Sensing of Environment** 35:121-136, 1991.

Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n.3, p. 295-309, Aug. 1988.

Ormsby, J.P.; Choudhury, B.J.; Owe, M. Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 1301 - 1306, 1987.

Parkinson, C.L.; Greenstone, E. **EOS data products handbook vol.2**. Maryland: NASA, 2000. 253 p

Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological - spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, n.3, p. 183 - 192, Sept. 1990.

Wiegand, C.L.; Everitt, J.H.; Richardson, A.J. Comparison of multispectral video and SPOT-HRV observations for cotton affected by soil salinity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 8, p. 1511-1525, 1992.