

Comparação entre áreas de soja obtidas por imagens TM/Landsat-5 e MODIS/Terra

Carlos Antonio da Silva Junior¹
Marcos Rafael Nanni¹
Aline de Carvalho Gasparotto¹
Franciele Romagnoli¹
Everson Cezar¹
Anderson Antonio da Silva¹
Rafael Moreno Campos¹
Guilherme Fernando Capristo Silva¹

¹ Universidade Estadual de Maringá - UEM
Av. Colombo 5790 – 87020-900 - Maringá - PR, Brasil
{carlos-junior89; franciele_romagnoli; guilhermecapristo; anderson_agrouem; alinegaspa}@hotmail.com, {marcos.nanni; rafaelmorenocampos}@gmail.com e
eversoncezar@yahoo.com.br.

Abstract. The soybean has favorable characteristics for its identification and mapping through interpretation of remote sensing images on board satellites. The soybean besides being planted on a large scale and in the gently rolling flat terrain has favorable spectral characteristics for identification and mapping through satellite images. The objective of this research is to compare the results of this mapping culture, through interpretation of TM/Landsat-5 and MODIS/Terra for the year 2010/11 crop. The study was conducted for the city of Maracaju, Mato Grosso do Sul, Brazil, the largest producer of soybeans in the State. Eight images were acquired MODIS/Terra in 2010 and four in 2011 and one of TM/Landsat-5 the year 2011, the period from soybean cultivation in the region. Armed with the processing of images and thematic maps were generated from soybean areas, which follows: monotemporal image TM, monotemporal MODIS with its respective vegetation index (EVI) using the supervised classifier maximum likelihood estimation (MLE); addition rate was calculated CEI index that the process of slicing the pixel areas were obtained from soybeans. The classification using bands TM/Landsat-5 showed excellent estimate of soybean areas, indicated by the metrics validation Kappa and overall accuracy, followed by the product EVI/MODIS. In the method CEI index, in this case, presented inferiority before the other estimates.

Palavras-chave: agriculture, vegetation, classification, accuracy, multisensor, multitemporal, agricultura, vegetação, classificação, precisão, multisensores, multitemporalidade.

1. Introdução

A cultura da soja além de ser plantada em larga escala e em relevo plano a suavemente ondulado, possui características espectrais favoráveis para sua identificação e mapeamento por meio de imagens de satélites, como as imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 x 30m (900 m²) ou mesmo por meio de imagens do sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos satélites Terra e Aqua, com resolução temporal diária, no caso da América do sul, embora sabendo que a menor resolução espacial dessas imagens e de 250 x 250m (6,25 ha).

O estado do Mato Grosso do Sul apresenta área total plantada de 1,760 milhões ha (CONAB, 2011). Na safra de 2011 a produtividade média da soja foi de 2.937 kg ha⁻¹, considerada baixa para o estado, causada pelas intensas precipitações. O período de cultivo da soja no Estado ocorre, tradicionalmente, entre outubro (semeadura) a março (colheita), o que muitas vezes não favorece a obtenção de imagens do TM/Landsat-5 livres de nuvens, por ser época de grande probabilidade de ocorrência das chuvas. Por outro lado, como a resolução temporal do MODIS/Terra é diária a chance de conseguir obter imagens livre de nuvens é maior.

Assim, mesmo sabendo que a resolução espacial das imagens MODIS é inferior às imagens do TM/Landsat-5, dada a alta resolução temporal pode-se fazer o mapeamento desta

cultura todos os anos, enquanto que por meio de imagens TM/Landsat-5 nem sempre isto é possível. Como afirma Sano et al. (2007) quanto maior for à resolução temporal, maior será a probabilidade de se obter uma imagem livre de cobertura de nuvens

O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma comparação dos mapeamentos da cultura da soja, apoiados na interpretação de imagens TM/Landsat-5 e MODIS/Terra, no município de Maracaju, Mato Grosso do Sul, na safra 2010/11.

2. Material e Métodos

Selecionou como área de estudo o município de Maracaju, situado no sudoeste de Mato Grosso do Sul (Microrregião de Dourados). Localiza-se entre as latitudes 21°37'13" a 20°56'00"S e longitudes 55°10'06" e 54°50'00"W. De acordo com o IBGE na região há uma predominância de cultivo da soja, em que Maracaju é o maior produtor do estado (IBGE, 2010). O cultivo é realizado no período entre outubro a março. Segundo a classificação de Köppen-Geiger o clima é do tipo Aw, com temperaturas mínima 14 a 15°C; média entre 25 a 27° C e máxima entre 32 a 33° C. No município a altitude média fica em torno de 384m. Os solos predominantes no município são: Latossolo Roxo 86,2% - Latossolo Vermelho Escuro 9,6% - Glei Pouco Humico 2,0% - Vertissolo 0,3% e Solos Litólicos 1,9% (EMBRAPA 2006).

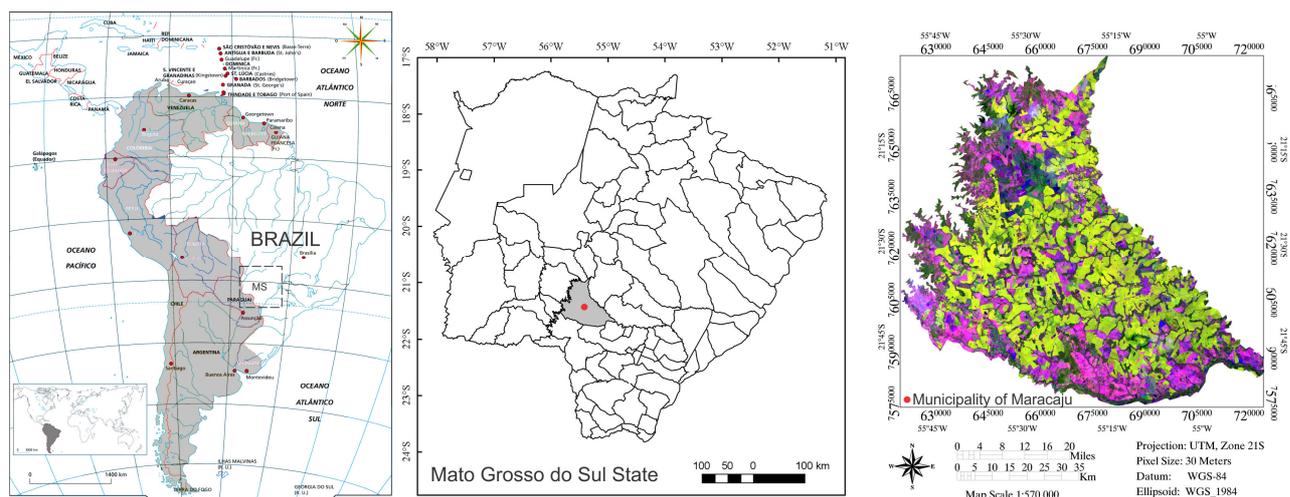


Figura 1. Área de estudo apresentada pela imagem do sistema-sensor Landsat-5/TM, falsa-cor 4(R)5(G)3(B).

Para o mapeamento das lavouras de soja foram utilizados os valores de EVI (*Enhanced Vegetation Index*) do produto MOD13Q1 das imagens MODIS 16 dias. Foram também obtidos da imagem TM/Landsat os valores referentes a estes dois índices. Os valores do EVI são calculados pela Equação 1 (Huete, 1997).

$$EVI = g \cdot \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + (c_1 \cdot \rho_V) - (c_2 \cdot \rho_A) + 1} \quad (1)$$

sendo: ρ_{IVP} , ρ_V e ρ_A as reflectâncias na faixa espectral do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, respectivamente; g é o fator de ganho (2,5); c_1 e c_2 são os coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6) e azul (7,5), respectivamente; e l é o fator de correção para interferência do solo.

Para o cálculo do índice CEI (*Crop Enhancement Index*), proposto por Rizzi et al. (2009) são necessários obter os valores de máximo e de mínimos do EVI do plantio da cultura e desenvolvimento vegetativo, respectivamente. Para tal, utilizou oito imagens EVI do ano de

2010 (da data 161, 177, 193, 209, 225, 321, 337 e 353 dia Juliano) e quatro imagens EVI do ano de 2011 (para as datas 001, 017, 033 e 049 dia Juliano) De posse das imagens EVI foram então identificados os valores máximos e mínimos que são. De posse destes valores, foi então calculado o índice CEI por meio da Equação 2.

$$CEI = g * \frac{(\text{MaxEVI} + S) - (\text{MinEVI} + S)}{(\text{MaxEVI} + S) + (\text{MinEVI} + S)} \quad (2)$$

em que, MaxEVI: valor máximo de EVI observado no período de máximo desenvolvimento da cultura; MinEVI: valor mínimo de EVI observado no período de pré-plantio e/ou emergência; S: coeficiente de realce (10^2); G = fator de ganho (10^2).

Foi adquirida uma imagem totalmente livre de nuvens do TM/Landsat-5 da data de 25/01/2011, da órbita/ponto 225/75, período em que a cultura encontrava em pleno vigor vegetativo. O processamento da imagem TM foi sintetizado em três principais etapas, conforme descrito em Novo (2008) e Jensen (2009): a) Pré-processamento: registro a partir de uma imagem TM/Landsat tida como base devidamente georreferenciada e ortorretificada, baixada do site da NASA (<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>), (GLCF, 2004) para o georreferenciamento utilizou o polinômio de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo.

O erro médio quadrático (RMS: *Root Mean Square*) foi inferior a 0,5 *pixel*, recomendado por Daí e Khorram (1998); além disso foi realizada correção atmosférica pelo modelo Segunda Simulação de Sinais de Satélites no Espectro Solar (6S) (Vermote, 1997), sendo adotadas como condições iniciais a visibilidade de 70 quilômetros, a atmosfera tropical e o modelo de aerossóis continental; b) Realce: foi atribuído um contraste linear para melhor discriminação dos alvos; e c) Classificação: após os devidos tratamentos aplicados nas imagens TM e MODIS foi aplicada a classificação supervisionada *pixel a pixel*, apoiada no algoritmo da Máxima Verossimilhança (MaxVer) conforme descrito por Moreira (2011), para todos os processamentos, exclusive o índice CEI. O aplicativo de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 5.2), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A exatidão dos mapas temáticos com a espacialização das áreas de soja foi avaliada pelas métricas do índice Kappa (Equação 3) e Exatidão Global (EG) (Equação 4), assim como os erros e a precisão sob os pontos de vista do produtor e do usuário, por município. Essas métricas permitem avaliar melhor a classificação final das áreas de soja.

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (3)$$

$$EG = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (4)$$

em que: κ = valor estimado *Kappa*; k = número de linhas; x_{ii} = número de observações na linha

i e coluna i ; $\sum_{i=1}^k x_{ii}$ = soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal; x_{i+} = soma total

das observações para as linhas; x_{+i} = soma total das observações para as colunas; N = número de observações total.

Para determinar os valores do Kappa e da exatidão global foram utilizados 100 pontos amostrais (LUIZ, 2005) distribuídos aleatoriamente, que foram analisados como soja ou não soja (mata, pasto, urbano, floresta, outros) com base no conhecimento da área, na interpretação da imagem monotemporal do TM (25/1/2011) e em imagens de alta resolução espacial do Google Earth de períodos recentes.

De posse dos valores e sob a hipótese de igualdade entre dois coeficientes de exatidão advindos de classificações diferentes ($\kappa_1 = \kappa_2$), a estatística do teste foi realizada pelas Equações 5, 6 e 7.

$$Z = \frac{(\hat{\kappa}_1 - \hat{\kappa}_2) - (\kappa_1 - \kappa_2)}{\sqrt{\sigma^2(\hat{\kappa}_1) + \sigma^2(\hat{\kappa}_2)}} \sim N(0,1) \quad (5)$$

$$Z = \frac{\hat{\kappa} - \kappa}{\sqrt{\sigma^2(\hat{\kappa})}} \sim N(0,1) \quad (6)$$

$$\sigma^2(\hat{\kappa}) = \frac{1}{n} \left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2)^2}{(1-\theta_2)^4} \right] \quad (7)$$

em que, $\theta_1 = \frac{\sum_{k=1}^c x_{kk}}{n}$; $\theta_2 = \frac{\sum_{k=1}^c x_{k+} x_{+k}}{n^2}$; $\theta_3 = \frac{\sum_{k=1}^c x_{kk} (x_{k+} + x_{+k})}{n^2}$; $\theta_4 = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c x_{ij} (x_{i+} + x_{+j})}{n^3}$.

Foi estabelecido como hipótese nula (H0) a igualdade dos índices e o inverso para a suas diferenças (H1), a um nível de 5% de significância.

Por fim, a estimativa de área cultivada com soja foi comparada com aquela fornecida pelo IBGE, como um parâmetro para verificação da avaliação do mapeamento.

3. Resultados e Discussão

Os mapas resultantes das estimativas de áreas de soja produzidos pelas diferentes metodologias de classificação de imagens estão representados na Figura 2.

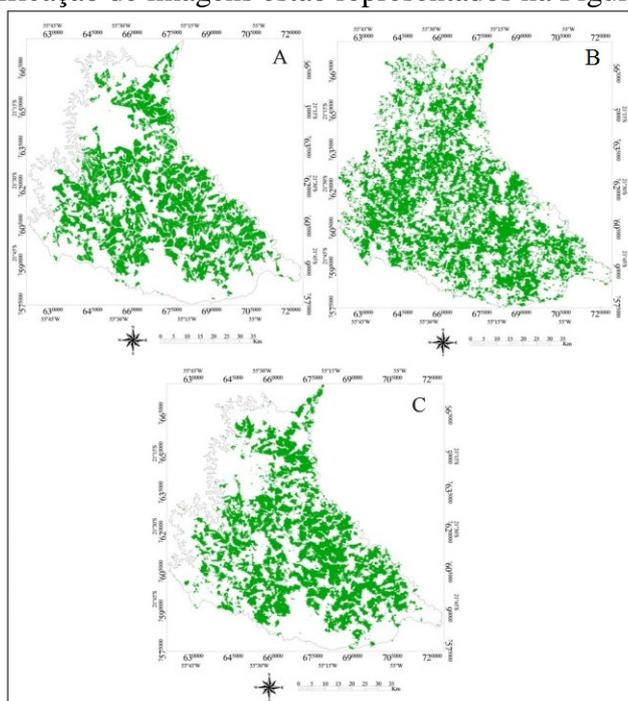


Figura 2. Mapas de áreas de soja obtidas pelas classificações com TM (A), EVI (B) e CEI (C).

Pela análise visual dos mapas, nota-se que as imagens monotemporais superestimaram as áreas classificadas como soja em relação ao índice CEI e à classificação do sistema-sensor TM e EVI. Na Tabela 1 estão contidos os resultados do índice Kappa e de exatidão global para cada uma das abordagens de classificação e nas Tabelas 2 e 3 estão contidos os erros e a exatidão do consumidor e do produtor, métricas essas oriundas dos mapas temáticos apresentados nas Figuras 4.

Table 1. Confusion matrix of the classifier MLE for different estimation methods soybean area and their respective index values κ and OA.

Referencia					
TM					
Classif.		Soja	Não-Soja	Σ	$\kappa = 0,98$ EG = 0,99
		Soja	49	0	
	Não-Soja	1	50	51	
	Σ	50	50	100	
EVI					
Classif.		Soja	Não-Soja	Σ	$\kappa = 0,46$ EG = 0,73
		Soja	33	10	
	Não-Soja	17	40	57	
	Σ	50	50	100	
CEI					
Classif.		Soja	Não-Soja	Σ	$\kappa = 0,22$ EG = 0,61
		Soja	19	8	
	Não-Soja	31	42	73	
	Σ	50	50	100	

Table 2. Error and accuracy point of view of the producer and user of errors for matrices for class soybean constructed from images.

Sensor/Método	Produtor		Consumidor	
	Erro	Precisão	Erro	Precisão
TM	0,02	0,98	0,00	1,00
EVI	0,34	0,66	0,23	0,77
CEI	0,62	0,38	0,30	0,70

Table 3. Error and accuracy point of view of the producer and user of errors for matrices for class no-soybean constructed from images.

Sensor/Método	Produtor		Produtor	
	Erro	Precisão	Erro	Precisão
TM	0,00	1,00	0,02	0,98
EVI	0,20	0,80	0,30	0,70
CEI	0,16	0,84	0,42	0,58

A classificação da imagem monotemporal TM apresentou superioridade em relação às demais imagens a um nível de 5% de significância, podendo ser observado pela Tabela 4. Assim, as altas exatidões do consumidor e produtor para esta classificação demonstram a sua qualidade superior. Contudo, a dificuldade de se obter imagens de ótima qualidade (ausência de nuvens) como a utilizada neste trabalho para a época do ano na qual há cultivo da soja é quase impossível.

Table 4. Hypothesis test to compare the accuracy results between the indexes.

Kappa ₁ versus Kappa ₂	Z	p-valor
TM x EVI	5,77	0,0000*
TM x CEI	8,55	0,0000*
EVI x CEI	1,94	0,0259*

^{ns} Not significant; * significant at 5% level, that is, if H0: Kappa₁-Kappa₂ = 0; H1: Kappa₁ - Kappa₂ < 0.

Os erros do produtor e do consumidor para a classe não-soja (Tabela 3), foram menores nas classificações das imagens TM e EVI, respectivamente, comparado com a classe soja. Esses menores erros obtidos para classe não-soja derivam em maiores acertos da classe soja, concordando com trabalho realizado por Novaes et al. (2009), onde os menores erros foram obtidos pela classificação das componentes principais.

A área estimada pela classificação da imagem monotemporal TM, diferenciou apenas 1,64% em relação à do IBGE. Isto demonstra que a classificação gerada com as bandas do TM, sem cobertura de nuvens, pode ser muito útil para estimativas de áreas de soja, corroborando com resultados apresentados por Rizzi et al. (2009).

Para uma escala municipal como demonstra o presente trabalho, diferenças entre áreas obtidas por técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento com os valores de estatísticas oficiais, também foram contatados em trabalhos realizados por Lamparelli et al. (2008), Ippoliti-Ramilo et al. (2003) e Xiao et al. (2002), onde resultam valores superiores e inferiores em relação ao oficial.

Os resultados da área de soja obtidos por meio da classificação de imagens EVI, não foram satisfatórios para esta área de estudo, obteve um Kappa de 0,46 e uma exatidão global de 0,73 (Tabela 1).

A classificação pela metodologia do índice CEI utilizando imagens multitemporais do MODIS, não apresentou uma boa concordância Kappa, com maior erro de inclusão (comissão) para esta classificação, ou seja, identificou áreas de soja onde não havia a cultura. Analisando os testes apresentados na Tabela 2, observa-se que a classificação CEI nesta área de estudo foi significativamente inferior em todas as comparações realizadas.

4. Conclusões

A classificação utilizando imagem TM/Landsat-5 apresentou o melhor desempenho na área de resultados com a soja;

O desempenho da classificação pelo índice CEI obteve o menor parâmetro Kappa e exatidão global e para produtos EVI/MODIS apresentou intermediário desempenho;

Embora o uso do sensor MODIS apresentou desempenho relativo para o mapeamento de áreas de soja, sua utilização é aconselhável no aspecto de alta resolução temporal, o que neste caso é uma boa alternativa para estimar áreas de soja, uma vez que apresenta bons resultados e sua disponibilidade é quase diária. As imagens TM são raras, devido à sua resolução temporal e a frequente cobertura de nuvens no momento do cultivo da soja, o que impediu a sua aquisição para tais estimativas de mapeamento.

Agradecimentos

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de estudos.

Referências Bibliográficas

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Boletim, Décimo Segundo Levantamento, Setembro, 2011, 41p.

Dai, X.; Khorram, S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v.36, n.5, p.1566-1577, 1998.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2006. 306 p.

GLCF. **Geocover Technical Guide**. Produced by University of Maryland/USA, 2004. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/>>. Acesso em: 27/07/2012.

Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.59, n.3, p.440-451, 1997.

Ippoliti-Ramilo, G. A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão**. 1999. 183p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672p.

Lamparelli, R. A. C.; Waste M. O. C.; Marcante, E. Mapeamento de semeaduras de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) mediante dados MODIS/Terra e TM/Landsat 5: Um Comparativo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.334-344, 2008.

Luiz, A. J. B., 2007. Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, pp.181-8.

Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. 4a.ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 422p.

Novaes, M. R.; Bernardes, T.; França, D.; Adami, M.; Formaggio, A. R. Dados mono e multi-temporais MODIS na estimativa da área plantada com soja no estado do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.317-323.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 363p. 2008.

Rizzi, R.; Risso, J.; Epiphanyo, R. D. V.; Rudorff, B. F. T.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Fernandes, S. L. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.387-394.

Sano, E. E.; Ferreira, L. G.; Asner, G. P.; Steinke, E. T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.28, n.12, p.2739-2752, 2007.

Vermote, E. F.; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v.35, n.3, p.675-686, 1997.

Xiao, X.; Boles, S.; Frohling, S.; Salas, W.; Moore, B.; Li, C.; He, L.; Zhao, R. Landscape-scale characterization of cropland in China using VEGETATION sensor data and Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.23, n.18, p.3.579-94, 2002.