

# Monitoramento da Evolução Temporal da Cultura da Soja no Estado do Paraná Utilizando Imagens TERRA/MODIS

Marciel Lohmann<sup>1</sup>  
Flavio Deppe<sup>1</sup>  
Kauem Simões<sup>1</sup>  
Emílio Graciliano Ferreira Mercuri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR  
Caixa Postal 19100 - 81531-980 - Curitiba - PR, Brasil  
{marciel, kauem, deppe, emilio}@simepar.br

**Abstract.** Remote Sensing technologies are used in several knowledge fields. In meteorology and related fields, provide data and information for atmosphere and land and sea surface monitoring and their complex phenomena. Specifically, in agriculture, Remote Sensing is used for crop monitoring and yield estimates, due to the possibility of imaging and synoptic coverage in near real time. Normalized Difference Vegetation Indexes (NDVIs), produced using land surface reflectance, are used as a basis for phenological evolution analysis. This is allowed because of the interaction between soil, plant and atmosphere. The main objective of this work was to analyze the surface reflectance temporal evolution, using NDVIs, for soya crop during the 2007-2008 crop season in Paraná state, Brazil. It was concluded that the phenological evolution, based upon a regional analysis, could be considered normal. In January the NDVIs values reached their maximum reaching 0.85. After that, the values dropped due to the beginning of senescent period.

**Palavras-chave:** Land reflectance, NDVI, crop monitoring, reflectância de superfície, IVDN, monitoramento de culturas.

## 1. Introdução

Dados de reflectância de superfície possuem amplas aplicações na caracterização de alvos terrestres. Estes dados podem ser obtidos diretamente a partir de observações e medidas de campo, bem como através da conversão de dados de Sensoriamento Remoto. Neste caso, através da conversão de imagens de satélites para parâmetros físicos de reflectância.

A utilização de tecnologias de Sensoriamento Remoto poderia tornar o sistema atual de monitoramento e previsão de safras no Brasil mais eficiente e dinâmico (em escalas regional e nacional). Estas tecnologias permitem a obtenção de dados e informações em tempo quase real e com reduzida relação custo/benefício sobre a extensão, condições de desenvolvimento e potencial de produção de culturas. Podem, também servir como importante apoio na análise de consistência dos dados levantados por metodologias convencionais.

Levando em consideração tais aspectos, na área do Sensoriamento Remoto, os índices de vegetação são utilizados para indicar a presença e condições da vegetação, visto que a produção primária de uma comunidade vegetal tem estreita relação com a energia absorvida pela mesma (Baret e Guyot, 1991). De uma forma geral, os índices de vegetação são baseados em combinações lineares, razões ortogonais de várias bandas espectrais. Entre os produtos gerados atualmente por dados adquiridos por Sensoriamento Remoto, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN).

O IVDN tem sido utilizado em estudos sobre perfis espectrais, ou seja, o estabelecimento de padrões de crescimento e desenvolvimento ao longo da estação de crescimento. As mudanças estruturais são gradativas com o tempo e resultam em correspondente mudança gradativa na reflectância espectral da vegetação. Distinção de diferentes tipos de vegetação e detecção de possíveis problemas de crescimento também podem ser visualizadas utilizando-se

Índice de vegetação como base. A caracterização dos perfis permite a diferenciação entre tipos de vegetação. As mudanças na forma do perfil característico de uma determinada vegetação podem ser associadas à condição e, em última instância, ao rendimento no caso de culturas agrícolas (Justice et al. 1985, Rossini 1993, Batista et al. 1993).

De acordo com Malingreau e Belward (1992), o monitoramento da vegetação através de perfis espectrais pode ser feito utilizando imagens do satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Foi posterior o surgimento da possibilidade de contribuir no monitoramento da vegetação na superfície. As principais contribuições se referem à possibilidade de estudar vegetação em nível regional, devido à grande faixa de imageamento deste sensor, e a possibilidade de um adequado acompanhamento da evolução da biomassa, tendo em vista a escala temporal do mesmo.

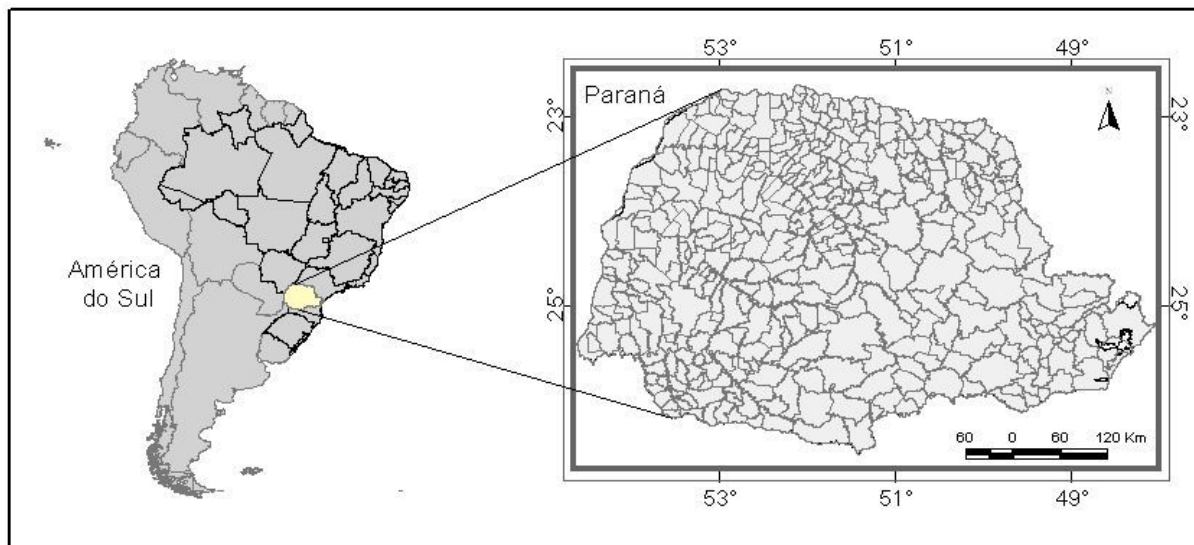
A partir do ano de 2000, foi colocado em órbita o satélite TERRA com o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer). A partir de então, a motivação aos estudos da dinâmica da vegetação no globo aumentou. Aliado a este satélite, há também o AQUA (também com o sensor MODIS), em órbita desde 2002.

Além dos avanços tecnológicos que podem auxiliar as pesquisas da comunidade científica, a área do Sensoriamento Remoto, relacionada aos recursos naturais, tem propiciado grandes avanços no que diz respeito a projetos integrados que otimizam as oportunidades de recursos. Uma dessas iniciativas é promovida pelo programa EOS (Earth Observation System) da NASA (National Agency of Space and Aeronautics), no qual grande quantidade de dados é disponibilizada para a pesquisa. Dentre os produtos disponibilizados pela EOS, estão os índices de vegetação MOD13-V003 (Huete e Justice, 1999).

O Sensor MODIS possui 36 faixas espectrais. As faixas espectrais utilizadas para gerar os produtos de índice de vegetação quinzenais (média de 16 dias), são as do visível e do infravermelho próximo, com resoluções espaciais de 250m e 500m. Tal índice é estabelecido a partir de uma amostragem temporal e espacial usando as bandas 1 (visível) e 2 (infravermelho próximo). Além dos índices de vegetação, são disponibilizadas as médias quinzenais das faixas espectrais do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, os ângulos de azimute, zênite, assim como o índice de qualidade das imagens derivadas.

Uma das várias aplicações em que os IVDNs são utilizados, se refere ao monitoramento de culturas através de perfis espectrais. Batista et al. (1993) comenta que as mudanças na forma do perfil característico de uma determinada cultura podem estar associadas à condição e, em última instância, ao rendimento da mesma. Vários trabalhos realizados no Brasil nesta linha mostraram resultados bastante promissores. Fontana et al. (1998) mostraram a possibilidade de monitoramento da evolução temporal da cobertura vegetal no Estado do Rio Grande do Sul. Schroeder et al. (1999) analisaram os perfis temporais do IVDN de alguns tipos de vegetação na região nordeste do Brasil. Fontana et al. (2000) analisaram o comportamento do NDVI obtido de imagens NOAA sobre lavouras de soja no Rio Grande do Sul e Paraná, evidenciando as diferenças de manejo e de condições de crescimento entre os dois estados.

Este trabalho possui como objetivo analisar e comparar a evolução temporal da reflectância da superfície terrestre, a partir de Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDNs), da cultura da soja na safra 2007/2008 no estado do Paraná (**Figura 1**).



**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo (Estado do Paraná)

## 2. Materiais e Métodos

O satélite TERRA, o qual possui a bordo o sensor MODIS, pertencente ao programa EOS (Earth Observing System) da NASA, apresentando características apropriadas para diversos fins, como análises de diferentes fenômenos terrestres, oceânicos e atmosféricos.

A missão do satélite TERRA foi designada para aprimorar a compreensão dos movimentos de carbono e de energia pelos sistemas climáticos do globo terrestre, bem como auxiliar na melhor compreensão e proteção do planeta. O satélite TERRA possui uma missão multinacional e multidisciplinar, envolvendo agências aeroespaciais do Canadá e Japão. Gerenciada pela NASA, Goddard Space Flight Center, a missão também recebe contribuições do Jet Propulsion Laboratory e Langley Research Center.

Um dos produtos MODIS se refere ao MOD13, o qual inclui IVDN (Equação 1) além das imagens de reflectância de superfície nas bandas do Azul, Vermelho, Infravermelho Próximo e Infravermelho Médio.

$$IVDN = \frac{pNIR - pRED}{pNIR + pRED} \quad (1)$$

$p$  é a reflectância da superfície nas bandas NIR (Infravermelho Próximo) e RED (Vermelho).

Esse produto pode ser obtido com uma resolução temporal de 8 ou 16 dias. O produto final é uma imagem composição contendo os valores máximos de IVDNs. O sensor realiza imageamento em órbitas fixas e as imagens composição minimizam os efeitos provenientes de interferências atmosféricas. Para o propósito desse trabalho foram utilizadas as composições de 16 dias.

Foi necessária a elaboração de um recorte nas imagens do produto MOD13, já que o tile em que se encontra o estado do Paraná (MOD13Q1 h13v11) abrange praticamente todo o país. Foram então utilizadas 10 imagens do produto MOD13-NDVI 16 dias, do estado do Paraná no período entre 10/2005 e 03/2006. Estas imagens foram convertidas do formato HDF (Hierarchical Data Format) para o formato GEO-TIFF e da projeção Integerized Sinusoidal (ISIN) para a projeção WSG 84. As imagens foram padronizadas para um intervalo de NDVI de  $-1,0$  a  $+1,0$ .

Em uma segunda etapa foi gerada a máscara de cultivos, que é obtida por meio da operação de diferença entre as imagens correspondentes aos períodos de máximo e de mínimo desenvolvimento vegetativo caracterizados pelas fases de floração/enchimento de grão e de semeadura respectivamente. No período que compreende a safra de verão (outubro a março), o alto valor do índice de vegetação decorre da alta taxa de fotossíntese na fase de floração/enchimento de grão. Já na época de plantio as áreas recém-semeadas, e que conseqüentemente estão ainda sem cobertura vegetal, apresentam nas imagens os menores valores do índice de vegetação. A operação diferença gera uma terceira imagem denominada imagem-diferença. As áreas de cultivos anuais apresentam alto contraste nos valores do índice de vegetação nas duas fases mencionadas. Isso determina que tais áreas tenham valores altos na imagem-diferença. De modo oposto, as demais áreas (florestas, pastagens etc.) que não apresentam grandes diferenças na ocupação do solo nos períodos mencionados, têm valores baixos na imagem-diferença. Por tais razões, as regiões da imagem-diferença que tiverem valores acima de um limiar, determinado no momento do processamento, correspondem às áreas de cultivos anuais. Essas áreas constituem o que se convencionou chamar de máscara de plantio (Figura 2).

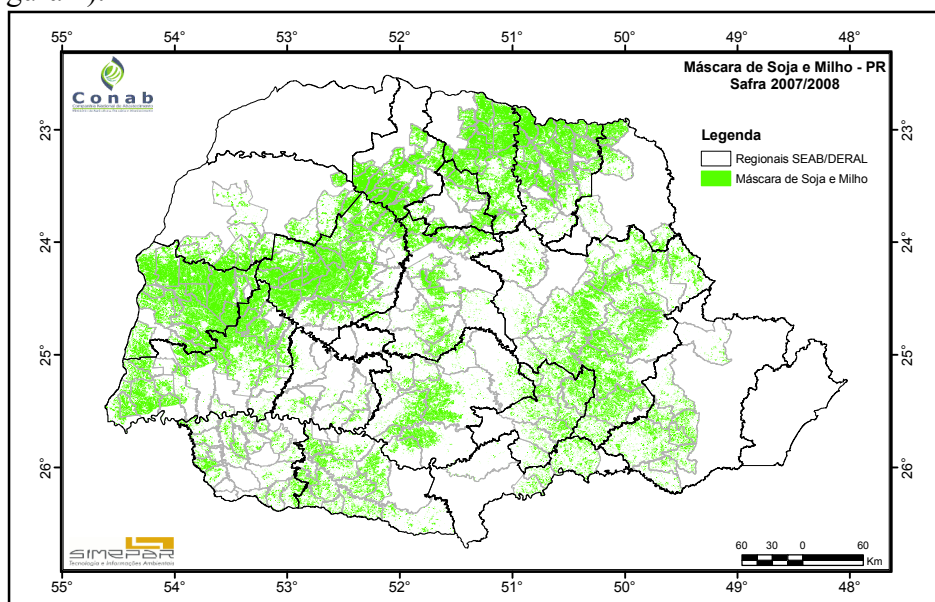


Figura 2 – Máscara de plantio de soja no estado do Paraná (Safra 2007/08)

As características das imagens MODIS não possibilitam discriminar entre si as culturas em função da resolução espacial ser de 250m. Por tal razão, a discriminação de culturas não foi objeto do trabalho e sim auxiliar no monitoramento do desenvolvimento temporal das lavouras de forma conjunta.

Outro critério adotado foi considerar 90 % do total de área plantada no Estado. Entende-se que os 90% representam, para fins de análise e comportamento da safra, um valor significativo e confiável, podendo ser utilizado como base para estimativa da safra no Estado. Os 230 municípios maiores produtores representam os 90% da cultura monitorada. A região coberta por estes municípios constitui a principal região produtora do Estado e delimita a área do monitoramento (Figura 2).

Com o intuito de verificar o comportamento do vigor vegetativo ao longo da safra, confeccionaram-se ainda mapas de diferença de IVDN, nos quais pode ser observado o acréscimo e/ou decréscimo do vigor vegetativo. Foram realizadas operações de diferenças de imagens, considerando como referência o ano de 2008, ou seja, diferenças de IVDN entre 2008 e 2007.

Todos os procedimentos foram executados utilizando os softwares ENVI 4.2 e ArcGIS 9.1.

### 3. Resultados

Os valores de IVDNs variam entre -1 e +1 de acordo com a reflectância da vegetação em função da atividade fisiológica. Enquanto que os solos sem cobertura vegetal apresentam IVDNs negativos, as regiões com florestas densas, ou vegetação em plena atividade fisiológica apresentam IVDNs positivos próximos a +1.

O máximo vigor vegetativo é caracterizado por uma atividade fotossintética máxima. A resposta da vegetação nessa fase é um alto conteúdo de clorofila nas folhas, absorvendo grandes quantidades de energia na região do vermelho. Já no infravermelho, a folha saudável apresenta uma alta reflectância devido ao arranjo dos espaços intercelulares e conteúdo de água nas folhas. A radiação que penetra na folha é espalhada em grande parte devido a combinação da reflexão celular interna, decorrente das irregularidades das paredes externas das células, e da diferença entre os índices de refração ar/água (1 e 1,33 respectivamente) nas células túrgidas (Ponzoni, 2001). Baixos valores de reflectância no vermelho e altos no infravermelho próximo resultam em um alto IVDN.

A partir das análises dos perfis espectrais médios da safra 2007/08 e comparando-se com as anteriores (Figura 4), pode-se concluir que o desenvolvimento fenológico ocorreu de maneira considerada normal, não apresentando redução e/ou aumento significativo se comparada com as safras anteriores.

No mês de outubro, constatou-se que os valores de IVDNs médios permanecem em torno de 0,4 a 0,5, caracterizando a presença de plantios em fase inicial, ou seja, sem atividade vegetativa. Em novembro, houve um aumento considerável nos valores de IVDNs médios, atingindo valores em torno de 0,6. Estes valores representam atividade fisiológica significativa, ilustrando que a cultura encontra-se em plena fase de crescimento. A evolução fenológica da soja e milho na safra 2007/08, pode ser vista na Figura 3.

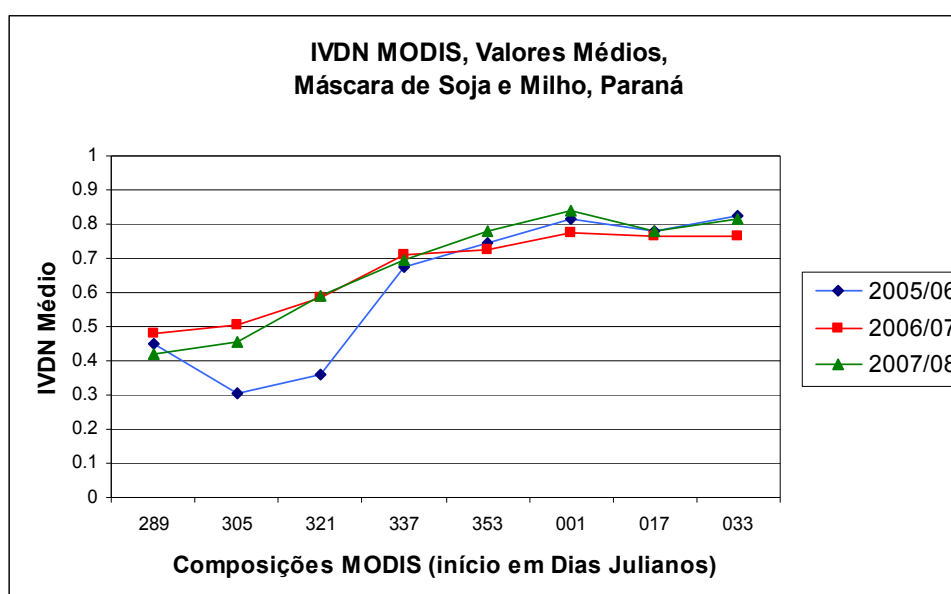


Figura 3– Comparação da evolução fenológica da soja e milho no estado do Paraná

Na primeira quinzena de dezembro os valores de IVDNs mostraram que a cultura da soja e do milho se desenvolveu de forma suficiente, ilustrando o aumento da atividade fotossintética. Também pode ser interpretado como o período em que a planta ainda cresce e inicia o ciclo de florescência. Na segunda quinzena do mês de dezembro, os valores médios

de reflectância alcançam 0,85, elucidando que a cultura encontra-se em fase de produção de grãos e atividade fisiológica intensa.

Em janeiro de 2008, os valores médios de IVDNs atingem seus valores máximos, chegando 0,85. Isso demonstra que a cultura teve crescimento, florescência e produção de grão de maneira normal, ou seja, teve um ciclo vegetativo normal ou próximo ao normal. O mês de fevereiro já demonstra o amadurecimento dos grãos. Em termos de valores de IVDNs, nota-se uma queda gradativa, até atingir novamente valores de IVDNs baixos, quando a planta já está seca, pronta para a colheita.

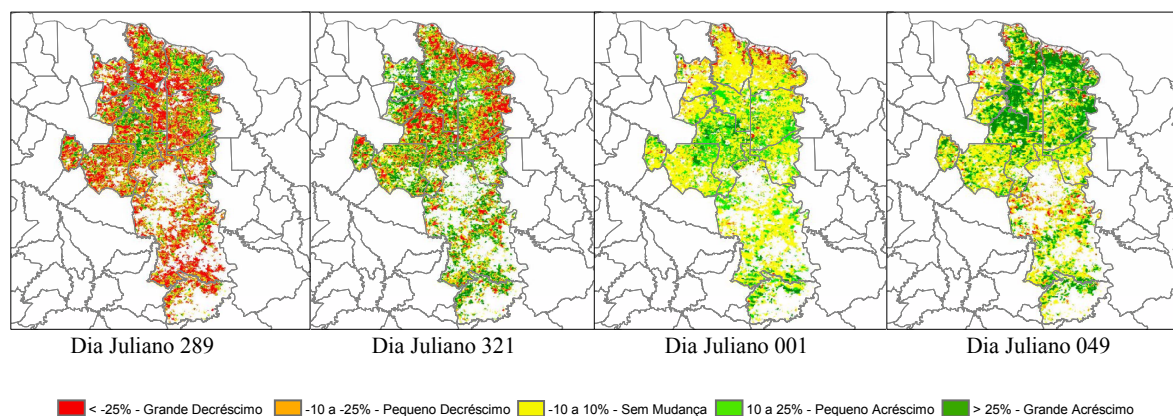


Figura 4 – Imagens diferença, safra 2007/2008 – Regional de Londrina

Como técnica auxiliar para o monitoramento da safra de soja 2007/2008, utilizou-se as imagens diferença de IVDN. Observando-se a Figura 4, referente as diferenças de IVDN no que diz respeito ao acréscimo e/ou decréscimo do vigor vegetativo, constata-se que no período 289/2007, início do período de plantio, houve um grande decréscimo (>25%) nos valores de IVDN, utilizando-se como base a máscara de plantio e comparando-se o mesmo período no ano anterior. Infere-se sobre tal constatação que neste período no ano de 2007, ainda existia algum resquício de fenologia nessas áreas, possivelmente pastagem de inverno, demonstrando que o plantio da cultura foi feito em um período posterior ao convencional.

No mês de janeiro (Dia Juliano 001) percebe-se que a classe “sem mudança”, representada pela cor amarela, prevalece quando comparado com o ano anterior. Tal fato explica-se em função dos altos valores de IVDN nos dois períodos, ou seja, o mês de janeiro constitui-se no mês em que ocorre o pico fenológico da safra.

O período 049/2008 (primeira quinzena de março), demonstra um grande acréscimo nos valores de IVDN na safra de 2007/2008 quando comparada com a anterior. De fato, como o plantio foi feito tardiamente, a cultura ainda mostra algum vigor vegetativo. Desta forma, quando comparado o mesmo período em anos diferentes, constata-se esse grande acréscimo nos valores de IVDN (> 25%).

#### 4. Conclusões

A utilização de imagens de IVDN possibilita a geração de máscaras de plantios, bem como o monitoramento do desenvolvimento fenológico ao longo das safras. Sendo assim, é possível obter avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios, anteriormente às colheitas.

A metodologia utilizada possibilitou o monitoramento fenológico da cultura da soja para a safra de 2007/08. Sugere-se estudos futuros que incluam avaliação e/ou validação, principalmente no que se refere a geração de máscara de cultivos utilizando como base imagens MODIS.

Na safra 2008, constatou-se aumento de produtividade se comparado com a safra anterior. Sendo assim, infere-se que os dados de imagens diferença também podem ser utilizados para estimativas de produtividade.

### Referência Bibliográficas

Baret, F.; Guyot, G. Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 3, p. 161-173. 1991.

Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Laurence, W. T. Monitoramento da Cobertura Florestal através de Índices de Vegetação do NOAA- AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., 1993. Curitiba, **Anais...**, Curitiba: INPE, 1993. p. 30-37.

Fontana, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. Relação entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, 1399-1405, 1998.

Fontana, D. C.; Weber, E.; Ducati, J. R.; Figueiredo, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. A case study of crop monitoring and harvest forecast in south Brazil. Proceeding of the 28<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing for Environment, Março de 2000. **Anais...**, Cape Town, África, ICRSE, p. 91-94. 2000.

Huete, A; Justice C. **MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**, Greenbelt: NASA Godard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetationindecas>, 129p. 1999.

Justice, C.O.; Townshend, J.R.G.; Holben, B.N.; Tucker, C.J. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. **Internacional Journal of Remote Sensing Basingstoke**, v.6, p. 1271-1318, 1985.

Malingreau, J.P.; Belward, A.S. Scale considerations in vegetation monitoring using AVHRR data. **Internacional Journal of Remote Sensing Basingstoke**, v.13, p. 2289-2307, 1992.

Ponzoni, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P.R.; Madeira Neto, J.S. **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília, DF: UNB Planaltina Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

Rossini, P. Using NDVI/AVHRR data for crop monitoring and forecasting in south Italy. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1993. Curitiba. **Anais...**, Curitiba, INPE. p. 458-63.

Schroeder, W.; França, J. R. de A.; Ceballos, J. C. Análise da Evolução Temporal da Cobertura Vegetal Usando dados AVHRR/NOAA. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: SBA, 1999. 1 CD-ROM.