

## Utilização de séries temporais de imagens *MODIS/Terra* e análise harmônica para o monitoramento de corredores ecológicos

María Silvia Pardi Lacruz  
João Roberto dos Santos  
Jorge Conrado Conforte

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Av. dos Astronautas 1758, 12227-010 São José dos Campos, SP – Brasil,  
{lacruz, jroberto, conrado}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Advanced in remote sensing technology have expanded opportunities to characterize the dynamics of the vegetation in the temporal domain, which frequently have obtained better results as the spatial, spectral or the radiometric domains. The environmental monitoring of the Amazon region need techniques that allow the detection of changes occurred in short periods. The objective of this paper is to assess the application of harmonic analysis to MODIS vegetation index time series for environmental monitoring. 16-day EVI composites (250 meters) from January 2001 to December 2003 were used. The harmonic analysis algorithm was implemented in IDL (Interactive Data Language). The harmonic analysis proved to be a very useful tool for time series analyses. It is recommended the use of more than one harmonic, since the time frequencies present in the series may vary within a given study area, as function of the land use dynamic.

**Palavras-chave:** harmonic analysis, EVI/MODIS, ecological corridor, monitoring, análise harmônica, corredor ecológico, monitoramento ambiental.

### 1. Introdução

A grande dinâmica que vem sofrendo a Amazônia brasileira devido ao aumento de atividades antrópicas, muitas vezes sem planejamento, requer técnicas que permitam a identificação e o monitoramento destas mudanças, de maneira a subsidiar o estabelecimento de planos e estratégias que contribuam para o uso sustentável dos recursos florestais. Em muitas regiões da Amazônia, a existência de uma figura de proteção, integral ou de uso sustentável, não implica necessariamente numa efetiva proteção da área.

A abordagem dos estudos sobre fenologia da vegetação utilizando séries temporais de imagens de sensoriamento remoto tem variado consideravelmente, desde a análise por componentes principais, análise textural até a utilização de métricas que descrevem as mudanças sazonais do índice de vegetação de diferença normalizada.

O uso de séries temporais de dados tem gerado em muitos casos, melhores resultados do que estudos nos domínios espaciais, espectrais e radiométricos.

### 2. Material e métodos

A área de estudo corresponde à Floresta Nacional de Tapajós e seu entorno, localizada no município de Santarém, norte do Estado do Pará, entre as coordenadas geográficas 2° 42' e 4° 10' latitude sul, e 54° 44' e 55° 26'' longitude oeste. Esta floresta nacional forma parte do corredor ecológico Sul da Amazônia, que se estende pelos Estados Amazonas, Pará, Tocantins e Bahia.

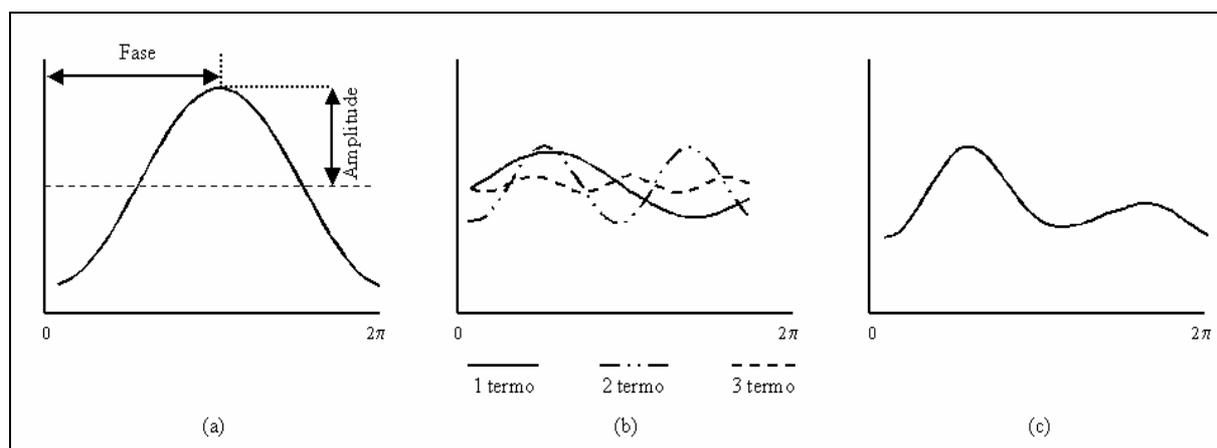
Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados composições *EVI - Enhanced Vegetation Index* de 16 dias, com resolução espacial de 250 metros, *tile H12V9* do período de janeiro 2001 a dezembro de 2003. Estes dados estão disponíveis em *Earth Observing System Data Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). As imagens, originalmente na projeção sinusoidal contínua e em formato *HDF*, foram convertidas para a projeção UTM e formato Geotiff através do programa *MODIS Reprojection Tool*.

O *EVI* é um índice desenvolvido para realçar o sinal da vegetação através da otimização da sensibilidade em regiões com altos valores de biomassa, permitindo realizar um melhor

monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera (Huete *et al.*, 1994; Huete *et al.*, 1997). Maiores detalhes sobre este índice de vegetação podem ser encontrados em Justice *et al.* (1998); Van Leeuwen *et al.* (1999); Gao *et al.* (2000) e Huete *et al.* (2002).

A análise harmônica tem sido utilizada para estudar séries sucessivas de imagens de sensoriamento remoto (Jakubauskas *et al.*, 2001). A análise harmônica permite representar uma função complexa como a somatória de ondas (termos) senoidais e cossenoidais, onde cada onda é definida por um valor único de amplitude e de fase. A amplitude corresponde à metade do valor onde a função é maximizada e a fase (ou ângulo de fase) é o deslocamento entre a origem e o pico da onda no intervalo de 0 até  $2\pi$  (Davis, 1986).

Cada termo designa o número de ciclos completados por uma onda num determinado intervalo: o primeiro harmônico ou harmônico fundamental tem um período T (onda anual) igual ao período total em estudo; o segundo harmônico tem um período igual à metade do período do primeiro harmônico T/2 (onda semestral), o terceiro harmônico T/3 (onda quadrimestral) e assim sucessivamente (**Figura 1**). Os dois ou três primeiros harmônicos geralmente são suficientes para descrever a função periódica. Similar à técnica de componentes principais, cada termo representa uma percentagem da variância total da série de dados (Panofsky e Brier, 1968).



**Figura 1.** (a) Curva de cosseno representando o primeiro harmônico; (b) curvas para os primeiros três harmônicos; (c) curva resultante da somatória dos três harmônicos da Figura 1(b).  
Fonte: Modificado de Jakubauskas *et al.* (2001, p. 462).

A formulação matemática para o cálculo dos harmônicos pode ser encontrada em Panofsky e Brier, (1968); Wilks (1995) e Pardi Lacruz *et al.* (2004).

O algoritmo para a análise harmônica foi implementado em *IDL (Interactive Data Language)*. Assim, cada série de imagens foi analisada isoladamente, resultando numa imagem correspondente ao primeiro harmônico para cada índice de vegetação e para cada ano analisado.

Considerando que no momento atual a estruturação deste algoritmo permite somente calcular o primeiro harmônico, foi desenvolvida uma rotina para calcular os valores dos primeiros três harmônicos para áreas amostrais. Neste trabalho foram utilizadas áreas amostrais de  $3 \times 3$  pixels. Para definir as áreas amostrais representativas das diferentes classes de uso e cobertura presentes na área em estudo, foram utilizados dados de trabalhos de campo.

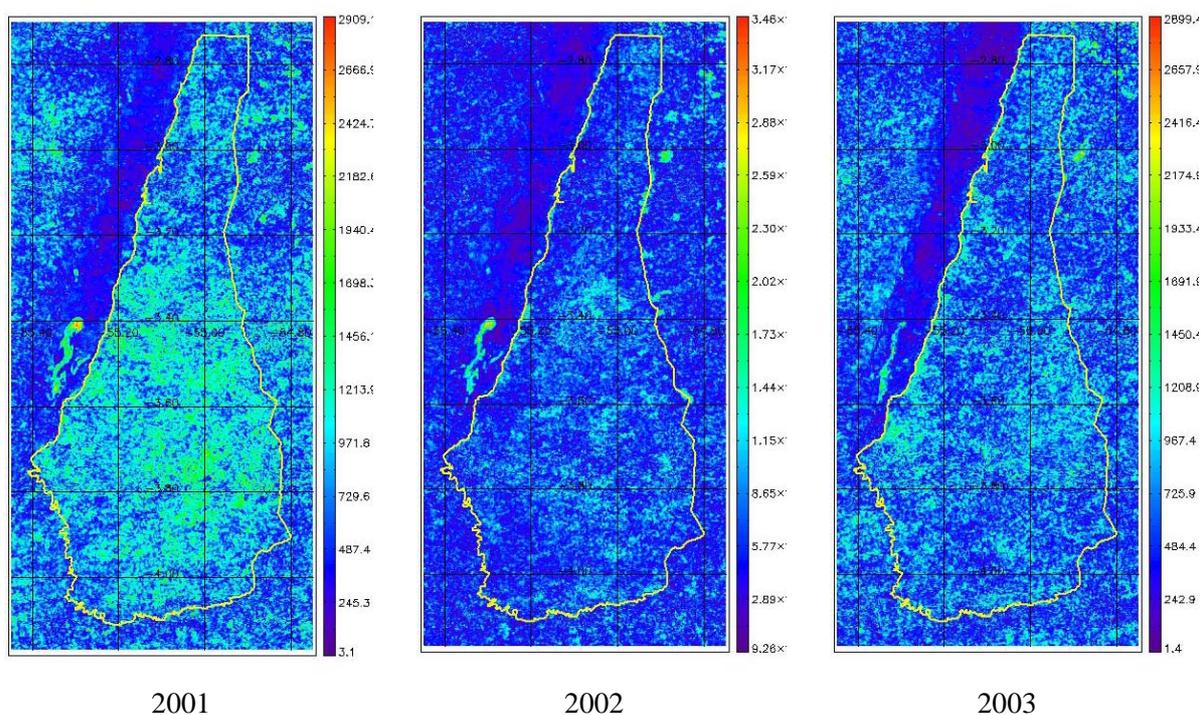
O comportamento dos parâmetros da análise harmônica (amplitude e ângulo de fase) em estudos de paisagens, através de séries temporais de dados, é indicativo do tipo de mudança que está acontecendo na área em estudo. Mudanças sazonais somente na amplitude podem indicar variações no tipo de uso e cobertura da terra ou nas condições da vegetação (aridez, inundações, sobrepastoreio); mudanças apenas no ângulo de fase, podem indicar variações no tempo de máximo vigor (*greenness*), o que por sua vez pode ser uma consequência de variações na época de plantio ou de colheita em caso de áreas agrícolas; mudanças na

amplitude e no ângulo de fase podem ser indicativos de mudanças maiores e significativas na condição da superfície terrestre, resultantes de regeneração após fogo, mudanças no manejo da terra, perda de vegetação por perturbações naturais ou antrópicas, ou variações no clima regional ocasionando mudanças na vegetação (Jakubauskas *et al.*, 2001).

### 3. Resultados

Para a realização deste estudo foram consideradas exclusivamente as imagens do índice de vegetação *EVI*, visto que os dados do *NDVI/MODIS* não apresentaram um bom desempenho, devido à saturação de *pixels* com nuvens, utilizados para fazer as composições (Pardi Lacruz *et al.*, 2004).

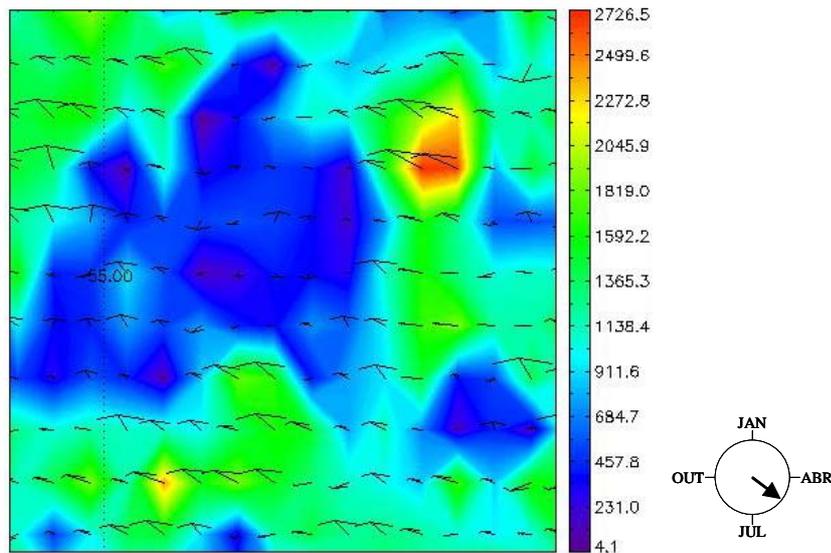
A partir das 23 composições de *EVI* que compõem cada ano, foram geradas as imagens correspondentes à amplitude do primeiro harmônico para cada ano estudado (**Figura 2**). Devido a que este tipo de análise é aplicada *pixel a pixel*, não existe uma influência dos *pixels* vizinhos no resultado. A intensidade das mudanças acontecidas durante período é indicada por uma escala de cores onde o azul escuro representa as áreas que não sofreram mudanças e os tons vermelhos são indicativos das maiores mudanças.



**Figura 2.** Imagens amplitude correspondentes ao primeiro harmônico para cada um dos anos em estudo.

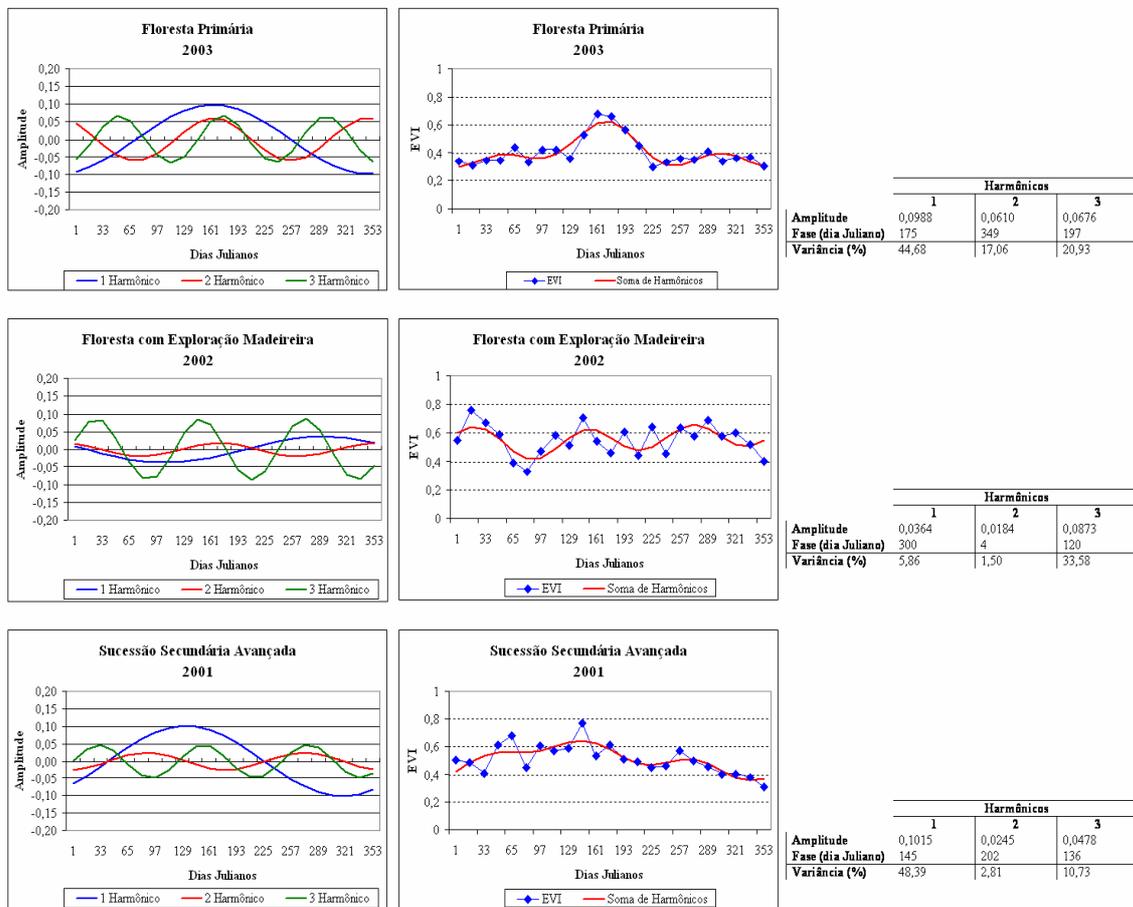
A representação dos harmônicos pode ser feita através de imagens de amplitude, como as da **Figura 2**, ou através dos *dials* harmônicos. Os *dials* descrevem os dois parâmetros de um harmônico simples através de um vetor cujo comprimento indica a amplitude e, a orientação angular corresponde ao ângulo de fase do harmônico.

A **Figura 3** representa uma pequena região no sudeste da área em estudo onde a amplitude é indicada pelas cores e pelo comprimento dos *dials*, e a fase é representada pela orientação dos vetores. No exemplo, as áreas em azul correspondem a áreas de floresta primária com pequenas variações acontecendo em torno do mês de janeiro, principalmente; as mudanças de maior intensidade, em tons de verdes a vermelhos correspondem a áreas de pastagens cuja maior variação semestral aconteceu principalmente, em dezembro.



**Figura 3.** *Dials* harmônicos e imagem amplitude correspondente a fragmentos de floresta (em azul) e áreas de pastagem (em tons de verde, amarelo e vermelho).

Com o intuito de conhecer o comportamento dos três primeiros harmônicos em algumas tipologias de uso e cobertura do solo presentes na região, estes foram calculados a partir de observações de campo e da definição de janelas georreferenciadas de 3 x 3 *pixels* nas diferentes imagens (Figura 4).

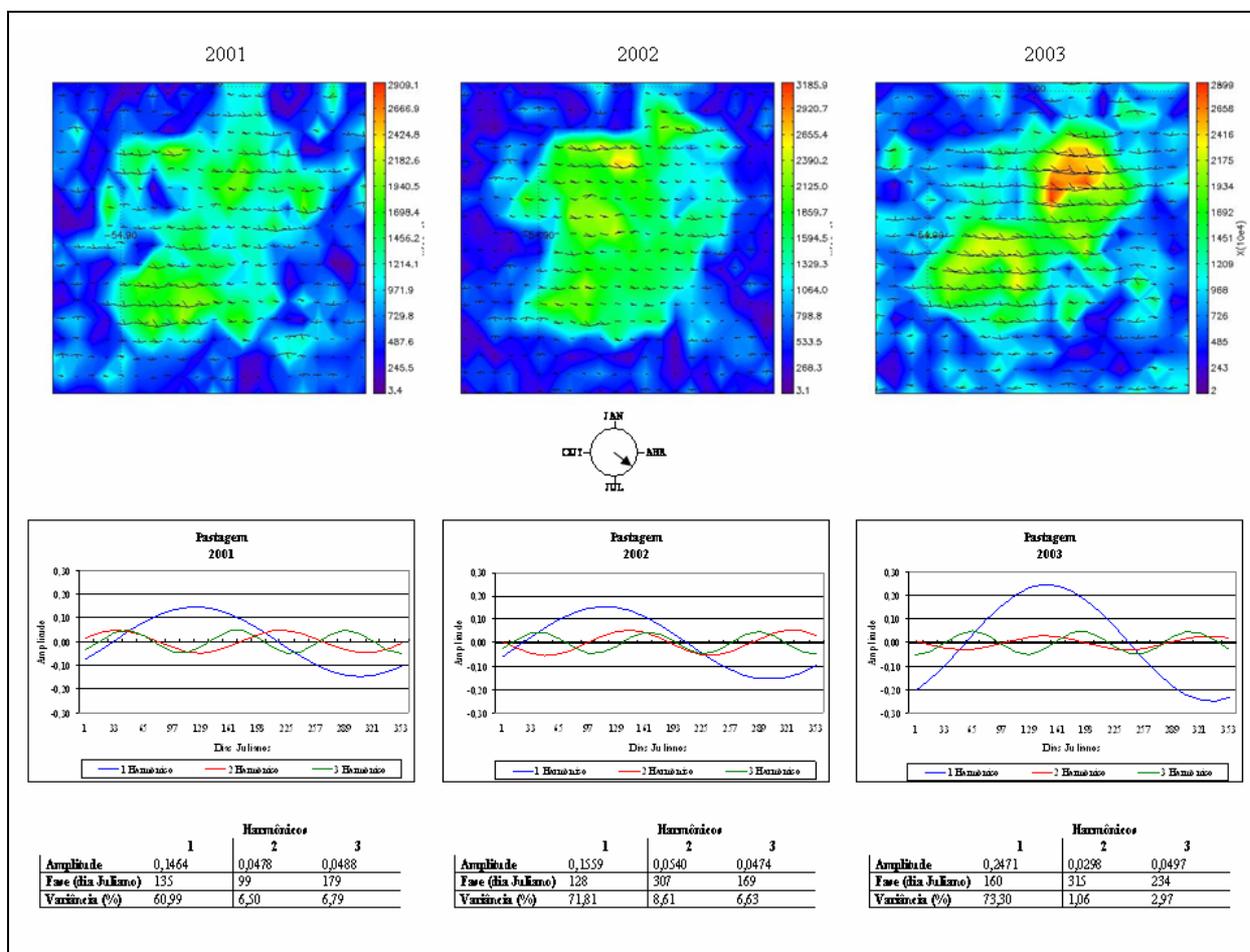


**Figura 4.** Primeiros três harmônicos para áreas de floresta primária, floresta com exploração madeireira e sucessão secundária em estágio avançado.

As áreas de floresta primária apresentam valores baixos de amplitude, geralmente abaixo de 1,0. No caso da área amostral da floresta primária, o primeiro harmônico apresenta a máxima amplitude em julho e representa 44,68 % da variância da imagem; considerando os três primeiros termos se tem que mais do que 70 % da variância total. A sucessão secundária avançada tem um comportamento similar ao da floresta primária, sendo o primeiro harmônico o que representa a maior variância (48,39 %) que acontece em maio.

A floresta com exploração madeireira também apresenta baixos valores de amplitude, no entanto as maiores variações nesta tipologia são dadas pelo terceiro termo (variações a cada mês e meio) o qual representa 33,58 % da variância total dos dados.

A **Figura 5** apresenta a dinâmica de uma área de pastagem nos três anos de estudo; nesta área as principais variações que ocorrem são semestrais (primeiro harmônico), com máximos acontecendo em maio e junho. O primeiro harmônico do ano 2003 tem uma amplitude próxima a 0,30 que constitui o maior valor de amplitude das amostras analisadas. A variância do primeiro termo em todos os anos analisados é maior do que 60 % e somatória dos três primeiros harmônicos representa aproximadamente 72% da variância.



**Figura 5.** Imagens correspondentes ao primeiro harmônico para cada ano em estudo de uma área de pastagem e os respectivos diagramas contendo os três termos.

## 5. Conclusões

Através da análise harmônica é possível caracterizar o comportamento de diferentes tipologias de uso e cobertura da terra e entender a dinâmica de uma região, sobretudo quando se deseja monitorar corredores ecológicos, como esse situado na Amazônia. As imagens *EVI/MODIS* se mostraram apropriadas para este tipo de estudo, principalmente quando se requer trabalhar com extensas regiões. A implementação de novas funções tais como a geração do segundo e terceiro termo e a obtenção da imagem de variância no programa de análise harmônica, permitira um estudo integral de series de dados temporais com uma melhor compreensão de pequenas variações que possam ocorrer na complexidade da paisagem, considerando a resolução de 250 metros do sensor empregado.

## Referências

- Davis, J.C. *Statistics and data analysis in geology*. New York: J. Wiley and Sons, 1986. 646 p.
- Gao, X. *et al.* Optical–biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, v. 74, p. 609 – 620, 2000.
- Huete, A. *et al.* Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, v. 49, p. 224 – 234, 1994.
- Huete, A. R. *et al.* A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, p. 440 – 451, 1997.
- Huete, A. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue) *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 195 – 213, 2002.
- Jakubauskas, M.E. *et al.* **Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 67, n. 4, p. 461 – 470, 2001.**
- Justice, D. H.; Salomonson, V.; Privette, J.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, R.; Myneni, R.; Knjazihhin, Y.; Running, S.; Nemani, R.; Vermote, E.; Townshend, J.; Defries, R.; Roy, D.; Wan, Z.; Huete, A.; Van Leeuwen, R.; Wolfe, R.; Giglio, L.; Muller, J.P.; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 36, p. 1228 – 1249, 1998.
- Panofsky, H.A.; Brier, G.W. *Some applications of statistics to meteorology*. Pennsylvania: University Park, 1968. 224 p.
- Pardi Lacruz, M.S.; Santos, J.R.; Conforte, J.C. Aplicabilidade de imagens MODIS/TERRA e análise harmônica com vistas ao monitoramento ambiental. In: Aplicações de geotecnologias na Engenharia florestal, pp.150 – 159. Eds. A.A. Disperati e J.R. Santos. Copiadora Gabardo Ltda., Curitiba, Paraná. 2004. 298 p.
- Van Leeuwen, W. J. D.; Huete, A. R.; Laing, T. W. MODIS vegetation index compositing approach: a prototype with AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, v. 69, p. 264– 280, 1999 [ISBN 85-904.724-1-8].
- Wilks, D.S. *Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction*. San Diego, California: Academic Press, 1995. 467 p.