

Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe

Ziany Neiva Brandão ^{1,2}
Marcus Vinícius Cândido Bezerra ²
Bernardo Barbosa da Silva ²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA/CNPA
Caixa Postal 171 - 58107-720 – Campina Grande - PB, Brasil
ziany@cnpa.embrapa.br

² Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Deptº de Meteorologia
Rua Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó CEP 58.109-900 – Campina Grande - PB, Brasil
markusvynycyus@yahoo.com.br e bernardo@dca.ufcg.edu.br

Abstract: Many studies have demonstrated the usefulness of optical indices from remote sensing data in the assessment of vegetation biophysical variables both in forestry and in agriculture. In this sense, this work was developed to experiment a new approach to find out the accumulated above ground biomass, using satellite images. To reach this goal, the Monteith's model was used to estimate the photosynthetically absorbed active radiation (APAR) and Field's model was used to determine the light use efficiency. These models were adjusted with some standard meteorological measurements, to establish the energy balance parameters and the biomass assessment. The light use efficiency was determined, and the surface energy balance algorithm for land (SEBAL) was used to describe the spatio-temporal variability in land wetness conditions. The influence of NDVI in the estimation of the accumulated aboveground biomass was evaluated. The model performs satisfactorily and the values obtained were compared with those found in the literature.

Keywords: Remote Sensing, Biomass, NDVI, Sensoriamento Remoto, Biomassa, IVDN.

1. Introdução

Atualmente há um interesse crescente em agricultura de precisão e no desenvolvimento de sistemas especialistas para a gerência de recursos florestais e agrícolas. Estes novos sistemas auxiliam na avaliação das condições gerais da cultura conduzindo a um aumento da produtividade, otimização dos lucros e proteção do meio-ambiente. Assim, as técnicas de sensoriamento remoto vêm cada vez mais sendo aprimoradas por fornecer informações precisas e valiosas, devido a seu potencial na medição de parâmetros biofísicos com detecção de sua variabilidade tanto temporal como espacial. (Moran et al., 1997; Daughtry et al., 2000).

Para a agricultura e ecologia é fundamental a compreensão dessas variações do acúmulo de biomassa acima do solo, tanto para determinação da quantidade de carbono retido pela vegetação, como para determinação da produtividade das culturas agrícolas e a avaliação da necessidade hídrica das mesmas. Diferentes métodos têm sido desenvolvidos para estimar produtividades de culturas por meio de dados de satélite. Um deles é o desenvolvimento de relações empíricas entre o NDVI (*“Normalized Difference Vegetation Index”*) e a produtividade da cultura, mas com o inconveniente de que a maioria dos métodos usando essas relações estatísticas têm um forte caráter empírico, com coeficientes de correlação de moderados a baixo (Sharma et al., 1993). Estas aproximações empíricas requerem excessivos programas de medição de campo para coletar dados da produtividade, que em grande escala torna-se difícil e com custos elevados.

Atualmente muitas pesquisas estão voltadas para métodos de determinação da biomassa que sejam precisos como os convencionais, mas que também não agredam o meio ambiente e sejam de baixo custo. Dessa forma, o uso de algumas técnicas aliadas ao sensoriamento remoto vem se tornando uma alternativa importante para obtenção de estimativas precisas e

confiáveis da atividade fotossintética em larga escala. Uma grande quantidade de literatura sugere que o modelo da produção de biomassa proposto por Monteith (1972) baseado na radiação solar e no desenvolvimento das folhas tem grande potencial, e que pode ser aplicado conjuntamente aos dados de satélite para predições do crescimento da biomassa e da produtividade das culturas (Monteith, 1972; Daughtry et al., 1992; Gower et al., 1999).

Entretanto, para a conversão da atividade fotossintética na quantidade de biomassa acumulada nesse modelo, se faz necessário a estimativa da eficiência do uso da luz, bem como o cálculo da fração evaporativa diária.

Assim, o principal objetivo desse trabalho foi estimar o acúmulo da biomassa na Região de Barbalha, CE (07° 18' 40"S, 39° 18' 15"W), analisando a influência do IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), no mesmo período. Para estimativa do valor da biomassa acumulada foi utilizado o modelo da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR), de Monteith (1972), para a vegetação verde, e o modelo de eficiência da luz de Field (1995). Para a determinação do balanço de energia e avaliação da evapotranspiração, usamos uma plataforma de parametrização de fluxos de calor baseada na análise espectral de imagens obtidas por satélites, SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), combinada ao algoritmo CASA (Carnegie Ames Stanford Approach), que calcula a APAR, e que, juntamente com dados de superfície, finaliza a estimativa da biomassa acumulada (Bastiaanssen e Ali, 2003; Bradford et al, 2005; Field et al, 1995)

2. Material e Métodos

A região de estudo consistiu da área próxima à estação experimental da Embrapa Algodão, localizada no município de Barbalha, CE, na região nordeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas de 6°53' e 7°33' de latitude sul e 39°46' e 39°06' de longitude oeste, conforme mostra a Figura 1, em falsa cor (R-5, G-4, B-3).

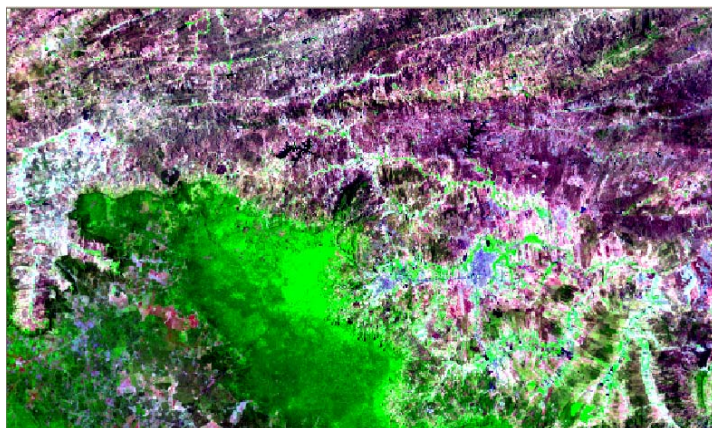


Figura 1: Região de estudo em Barbalha, CE (07° 18' 40"S, 39° 18' 15"W), em parte da chapada do Araripe.

Foram desenvolvidos modelos baseados na ferramenta de parametrização SEBAL, e no algoritmo CASA, sendo calculadas inicialmente as refletâncias monocromática dos canais de interesse a serem utilizadas na determinação do balanço de radiação e de energia, de acordo com o método desenvolvido por Bastiaanssen et al. (2000), e sendo dada por:

$$\rho_i = (\pi \cdot R_i) \times (1/k_i \cdot \cos Z \cdot d_i) \quad (1)$$

onde R_i é a radiância espectral de cada banda, e k é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera. Z é o ângulo zenital solar e d_i é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, fornecido em unidade astronômica (UA).

Com as refletâncias calculadas, determinamos o NDVI, que é um indicador sensível da quantidade e das condições da vegetação e o Índice de Área Foliar (LAI), que é um bom indicador da biomassa. Para seu cálculo foi também determinado o Índice de Vegetação Ajustado para os efeitos do Solo (SAVI) definido por Huete, 1998. (Huete, 1998; Allen et al, 2002; Brandão et al., 2005).

Após a determinação dos índices de vegetação, foram obtidos os componentes do balanço de radiação R_n , que leva em consideração a radiação de ondas curtas incidente, $R_{s\downarrow}$, dada em (W/m^2), o albedo da superfície, a radiação de onda longa emitida, a radiação de onda longa incidente, e a emissividade termal da superfície.

Assim foi possível determinar o balanço de energia, dado por:

$$R_n = G + H + \lambda ET \quad (2)$$

onde R_n é a radiação líquida na superfície (W/m^2), G é o Fluxo de Calor no Solo (W/m^2), H é o Fluxo de Calor Sensível (W/m^2), e λET é o Fluxo de Calor Latente (W/m^2), e são valores obtidos através da imagem.

No SEBAL calculamos a fração evaporativa (Λ), que é um parâmetro usado como entrada no algoritmo CASA para determinação da biomassa, conforme mostra o diagrama da **Figura 2**.

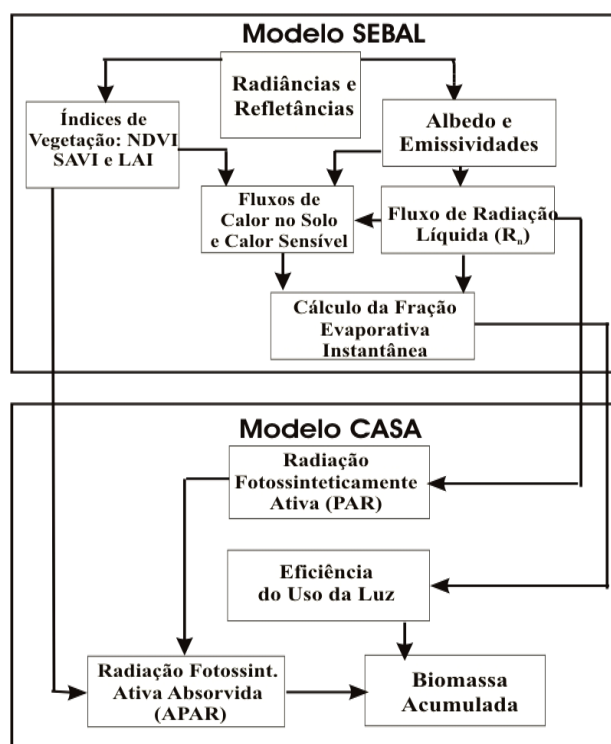


Figura 2: Uso dos modelos CASA e SEBAL para determinação da biomassa acumulada acima da superfície

A fração evaporativa instantânea, que traduz as alterações devido à umidade do solo, é considerada similar a de 24h, e é usada para calcular a evaporação real de 24h dos fluxos instantâneos do calor latente como:

$$\Lambda = (\lambda E / R_n - G) \quad (3)$$

O fluxo do calor latente (λE) associado com as perdas evaporativas é o processo dominante da troca da energia em áreas vegetadas. A radiação de ondas curtas incidente,

($R_{s\downarrow}$), fornece a energia para a fotossíntese, a transpiração e a evaporação, tornando assim o seu estudo um bom meio de estimar as trocas da energia na atmosfera.

Após a obtenção dos componentes do balanço de radiação e de energia, também foram obtidos os valores para a radiação fotossinteticamente ativa absorvida e para a biomassa acumulada, através do algoritmo CASA. A Radiação Fotossinteticamente Ativa-PAR (0,4-0,7 μm), que é parte da radiação solar de ondas curtas incidente ($R_{s\downarrow}$) (0,3-3,0 μm) é potencialmente útil para a fotossíntese. A PAR varia principalmente com a visibilidade, a camada de ozônio e a cobertura de nuvens. Entretanto, um valor aceito para representar a PAR deve estar entre 45 e 50% do valor da $R_{s\downarrow}$ em 24 horas. Assim, calculamos a PAR como:

$$PAR = 0,48 \cdot R_{n24} \left(W/m^2 \right) \quad (4)$$

Como nem toda a PAR é absorvida, foi mostrado que a Porção Absorvida da Radiação Fotossinteticamente Ativa (APAR) se relaciona com a PAR pela seguinte equação:

$$APAR = f \cdot PAR \left(W/m^2 \right) \quad (5)$$

A fração $f = APAR/PAR$ mantém uma relação não-linear com o índice de área foliar (LAI). Entretanto, uma aproximação linear de f , que foi derivada matematicamente das refletâncias nas faixas espectrais do vermelho e infra-vermelho próximo, foi obtida por Bastiaanssen et al., 2003, e é dada por (Bastiaanssen et al., 2003):

$$f = -0,161 + 1,257 \cdot (NDVI) \quad (6)$$

Assim, f pode ser definido como a proporção da radiação disponível em faixas específicas do espectro onde a vegetação absorve a radiação fotossinteticamente ativa.

2.1 Determinação da biomassa acumulada

Para obtenção da biomassa acumulada, foi usado o produto da APAR pelo fator ε , que é a eficiência do uso da luz, e é afetada pela umidade do solo, sendo difícil de quantificar devido à sua variabilidade temporal e espacial, estando relacionada à temperatura de superfície como um indicador para o teor de umidade (Bradford, 2005). Assim, ε foi determinado considerando as variações sazonais, e também os diferentes biomas, sendo dada por (Field, 1995):

$$\varepsilon(x, t) = \varepsilon' (x, t) \times T_1(x, t) \times T_2(x, t) \times \Lambda \cdot (g/MJ) \quad (7)$$

onde ε , é a variável corrigida no tempo e no espaço do fator de eficiência da luz, ε' , é o valor uniformizado máximo global dado como $2.5(g.MJ^{-1})$ e Λ é a fração evaporativa instantânea. As temperaturas T_1 e T_2 estão relacionadas ao ajuste do crescimento da planta pela temperatura onde:

$$T_2 = 1,185 \left\{ 1 + \exp(0,2T_{opt} - 10 - T_{men}) \right\}^{-1} \left\{ 1 + \exp[0,3(-T_{opt} - 10 + T_{men})] \right\}^{-1} \quad (8)$$

onde T_{opt} é a temperatura média durante o mês de máximo NDVI, e T_{men} é a média mensal da temperatura do ar. A temperatura T_1 é dada por:

$$T_1 = 0,8 + (0,02T_{opt}) - [0,0005(T_{opt})^2] \quad (9)$$

Após a determinação da eficiência do uso da luz, ε , temos que a biomassa acumulada é dada por:

$$Bio_Acum = APAR \cdot \varepsilon' \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \Lambda \left(K.g/m^2 \right) \quad (10)$$

onde **Bio_Acum** é a biomassa acumulada acima do solo no período **t**; **ε** é o fator de eficiência da luz.

A equação (10) é a base do CASA, onde foi calculada a biomassa através dos dados de sensoriamento remoto, tendo seus valores avaliados sob a influência do NDVI.

3. Resultados e Discussão

O NDVI médio para as áreas vegetadas estudadas foi de 0,336, tendo variado entre 0,00056 e 0,7911, onde a APAR diária ficou na faixa de 4,84 a 121,18 (W/m²).

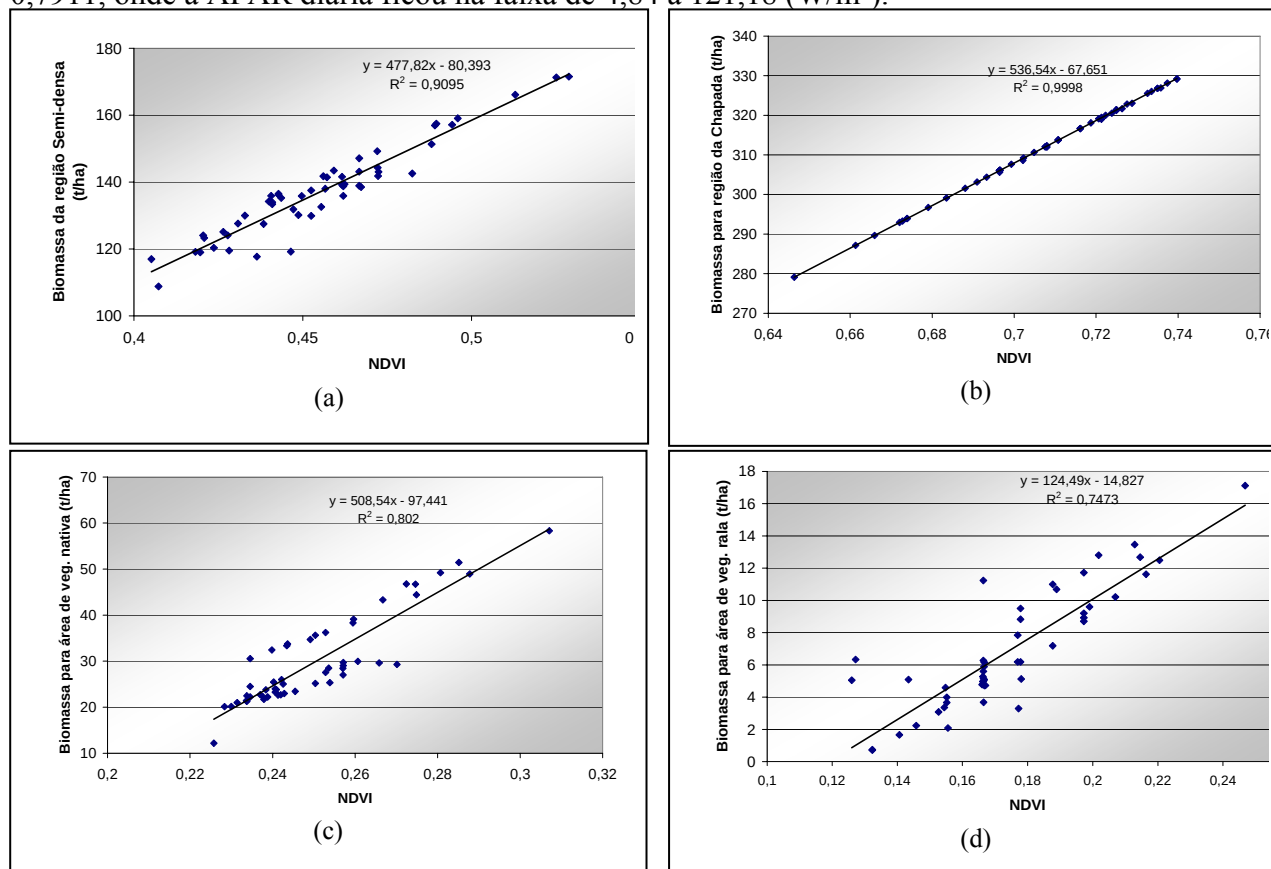


Figura 3: Relação entre o NDVI e a biomassa total para seguintes áreas de estudo: (a) região de vegetação semi-densa, (b) topo da chapada do Araripe, descrita como vegetação densa, (c) área de vegetação nativa, e (d) área de vegetação rala.

Dividimos nossos resultados em quatro grupos de vegetação, selecionadas por faixa do NDVI, que são: vegetação densa, semi-densa, nativa e rala. A vegetação densa é uma área florestada localizada acima da chapada, enquanto que a semi-densa está em suas encostas. A maior parte da região, cerca de 62%, é coberta por vegetação nativa (arbustos), com agricultura caracterizada como c_3 . A vegetação rala (na maior parte gramíneas, e pequenos arbustos apresentando áreas de solo exposto) foi encontrada em 11% da região estudada. A imagem foi escolhida para um período de alto NDVI, e a média desse foi de 0,336.

Na área florestada acima da chapada, o NDVI comportou-se como esperado, variando de 64 a 72%, com uma biomassa equivalente variando de 270 a 334 ton/ha, como mostra a **Figura 3**. Devido aos altos valores do NDVI para essa região, o valor médio da biomassa foi elevado. Os resultados mostraram-se coerentes com as observações de campo, especialmente para as regiões de densidade alta a média de vegetação, justificando seu uso para determinação do LAI e da biomassa verde.

De acordo com a variação da cobertura do solo e condições de umidade, a eficiência da luz ϵ variou de 0,612 a 2,704 (g/MJ), onde usamos $\epsilon'=2,5$ g/MJ, considerando os fatores que alteram a eficiência da luz como otimizados. O crescimento da biomassa se apresenta numa faixa de 0,7320 a 333,4233 (ton/ha). Os valores médios para os parâmetros obtidos estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros obtidos para o dia 29 de setembro de 2005 para a região de Barbalha, CE.

Parâmetros	ϵ (g/MJ)	NDVI	Biomassa (ton/ha)	APAR (W/m ²)
Veg.Densa (Chapada)	2,704	0,718	317,695	121,179
Veg. Semi-densa	2,484	0,452	132,490	74,134
Vegetação Nativa	2,178	0,272	46,181	32,788
Vegetação Rala	0,612	0,177	8,032	4,846

A **Figura 4** apresenta os valores médios diários para a biomassa acumulada e o NDVI. Observa-se que para cada tipo de vegetação, ao aumentar o NDVI a biomassa acumulada acima da superfície é incrementada proporcionalmente. Entretanto, os valores médios entre faixas distintas do NDVI são bem diferentes, tendo-se, por exemplo, um aumento de três vezes o valor da biomassa acumulada da vegetação semi-densa (NDVI na faixa de 0,4-0,6), com relação à vegetação nativa (NDVI na faixa 0,2-0,4). Os valores obtidos são semelhantes aos encontrados na literatura, nas mesmas faixas espectrais. A área com cobertura de árvores é responsável por aproximadamente 66% da biomassa estimada, o que explica o alto valor para a região da chapada, onde o NDVI está acima de 60%.

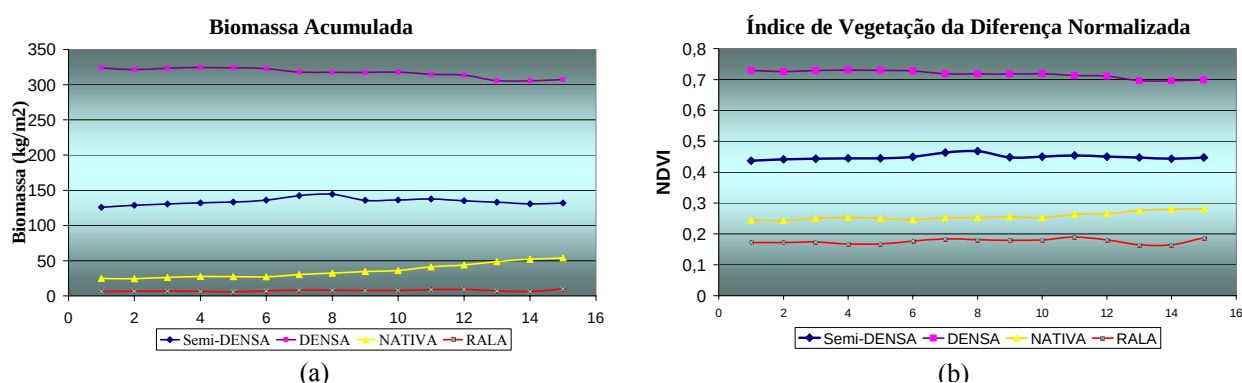


Figura 4: Valores médios extraídos das imagens, escolhidos em subconjuntos de 15 pixels para: (a) a Biomassa acumulada, e (b) o NDVI.

4. Conclusão

A estimativa para a eficiência do uso da luz (ϵ) através do método CASA fornece valores muito consistentes para a biomassa acumulada. Estudos posteriores podem tomar como base a variação de ϵ para diversas culturas em condições de alta evapotranspiração, como é o caso da região nordeste do Brasil. Os valores obtidos para a biomassa acumulada e o carbono foram compatíveis com a literatura, considerados as mesmas faixas espectrais selecionadas para o NDVI. O método proposto poderá ser aplicado para quaisquer satélites que possuam faixas espectrais semelhantes ao Landsat e contribuirá significativamente para a estimativa de parâmetros agrônômicos, como produtividade e déficit hídrico, através da determinação da biomassa, com baixo custo e sem agredir o meio ambiente.

Referências

- Allen, R., Bastiaanssen, W., Waters R., Tasumi M., Trezza R., Waters Consulting University of Idaho WaterWatch, Inc. e Nelson, British Columbia Kimberly, Idaho Wageningen. The Netherlands. Surface Energy Balance Algorithms for Land - **Advanced Training and Users Manual, Idaho Implementation**, Version 1.0, Idaho, 2002.
- Baret, F., & Guyot, G.. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing Environment**, v.35, p.161–173, 1991.
- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D. J., Makin, Ian W., Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications, **Agricultural Water Management**, v.46, p.137-155, 2000.
- Bastiaanssen, W.G.M e Ali, S., A New Crop Yield Forecasting Model Based on Satellite Measurements Applied Across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.94, pg.321-340, 2003.
- Bradford, J.B., Hicke, J.A., e Lauenroth, W. K., The relative importance of light-use efficiency modifications from environmental conditions and cultivation for estimation of large-scale net primary productivity.**Remote Sens. of Environment**, v.96, pg. 246-255, 2005.
- Brandão Z. N., Bezerra, M. V. C., Freire, E.C. e Silva B. B., Determinação de Índices de Vegetação usando Imagens de Satélite para uso em Agricultura de Precisão. In: V Congresso Brasileiro de Algodão, V CBA, Salvador, BA, 2005. **Anais**. Campina Grande: CNPA, 2005. CD-ROM On-line. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/publicações/>>.
- Daughtry, C. S. T., Gallo, K. P., Goward, S. N., Prince, S. D., & Kustas, W. D. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing Environment**, v.39, p.141–152, 1992.
- Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Colstoun, E., & McMurtrey III, J. E. Estimating corn leaf chlorofila concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing Environment**, v.74, p.229– 239, 2000.
- Field, C.B., Randerson, J.T., e Malmstrom, C.M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**. v.51, p.74–88, 1995.
- Gower, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M. Direct and indirect estimation of leaf area index, $fAPAR$, and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote Sensing Environment**. v.70, p.29–51, 1999.
- Huete, A.R., A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p.295-309, 1988.
- Monteith, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **J. Appl. Ecol.** V.9, p.747–766, 1972.
- Moran, M. S., Inoue, Y., & Barnes, E. M.. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.319– 346, 1997.
- Sharma, T., Sudha, K.S., Ravi, N., Navalgund, R.R., Tomar, K.P., Chakravarty, N.V.K., Das, D.K. Procedures for wheat yield prediction using Landsat MSS and IRS-1A data. **Int. J. Rem. Sens.** v.14, n.13, p.2509–2518, 1993.