

UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVAS NÃO-DESTRUTIVAS DA BIOMASSA, ESTOQUE E SEQUESTRO DE CARBONO DO CAFEIEIRO ARÁBICA

Priscila Pereira Coltri¹
Gláucia Miranda Ramirez¹
Michele Karina Cotta Walter¹
Jurandir Zullo Junior¹
Hilton Silveira Pinto¹
Cristina Rodrigues Nascimento¹
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves¹

¹ Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura-
CEPAGRI/UNICAMP
CEP 13083-970 - São Paulo - Campinas - Brasil
pcoltri@cpa.unicamp.br

Abstract. The aim of this paper is to relate vegetation indices (NDVI, PRI and CO₂flux) of remote sensing with agricultural indices (biomass, high and IAF) from coffee crops to find a relationship with carbon stock. This is important because in agriculture (crops) biomass (and carbon stock) is frequently estimated employing destructive models, what is very expensive. In this study we use 3 coffee's allometric models to predict the biomass aboveground and compare with NDVI, PRI and CO₂flux from LANDSAT/TM and Quickbird. The results suggest that NDVI has a medium relationship with biomass ($R^2= 0,62$) and this method can estimate carbon stock. The NDVI has a strong relation with PRI. However, both PRI and CO₂flux are not as good as NDVI to predict carbon stock. The NDVI's Quickbird data has more relation with coffee biomass than Landsat's NDVI.

Palavras-chave: global warming, greenhouse gases, Quickbird satellite, aquecimento global, Gases de efeito estufa, satélite Quickbird.

1.Introdução

Muito tem se falado em mudanças climáticas globais, gases de efeito estufa (GEEs), aquecimento global e seus possíveis efeitos na agricultura brasileira. Estudo recente coordenado por Pinto & Assad (2008), indica que o aumento da temperatura pode provocar, de modo geral, uma diminuição nas regiões com menor risco climático para o cultivo dos grãos e perdas econômicas significativas. Dentre as culturas que podem ter dificuldades para produzir economicamente destaca-se o café arábica, tradicional na agricultura brasileira. No cenário climático pessimista (sem mitigação dos GEEs), o café poderia perder, em 2070, cerca de 33% de sua área com menor risco climática, o que equivaleria a perdas financeiras em torno de R\$ 3 bilhões. Os principais estados produtores (São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo) se tornariam de alto risco climático e, no futuro, a cultura poderia migrar para regiões atualmente mais frias, tal como o sul do país.

Os coordenadores do trabalho também ressaltam que esse cenário de nova geografia de produção só deve acontecer se nada for feito em termos de adaptação e mitigação. Uma das formas de mitigação, segundo o protocolo de Kyoto, é a preservação dos chamados “sumidouros de carbono”, ou seja, locais que podem retirar carbono da atmosfera. Nesse sentido, a agricultura brasileira pode ser uma atividade de destaque, pois possui duas das três maiores fontes de estoque de carbono: o solo e a planta. Assim, embora a atividade agrícola seja responsável por uma grande emissão de gases de efeito estufa (GEEs), também pode ser

responsável por reduzir esse problema, mitigando parte do excesso de gás carbônico do ambiente.

Em linhas gerais, as medições de carbono têm duas alternativas principais: a) Amostragem direta - destrutiva com derrubada da vegetação; ou b) Indireta - utilização de equações alométricas, propostas com base nos dados da composição florística, no mapeamento da vegetação e na extrapolação de dados (Cerqueira e Rocha, 2007). Para diversas culturas agrícolas, a quantificação de biomassa segue o protocolo da amostragem direta, que exige áreas amostrais representativas, além de ser altamente onerosa. Na cafeicultura, em específico, a retirada de plantas produtivas de campo nem sempre é fácil e, normalmente, não é bem aceita por produtores, sendo dada, assim, prioridade aos métodos não-destrutivos, como equações alométricas e dados de sensoriamento remoto.

Estudos recentes salientam a possibilidade da utilização dos índices de vegetação espectrais para estimar a biomassa, o estoque e o sequestro de carbono, tais como, os de Rahman (2001), Baptista (2003), Cerqueira & Rocha (2007), Junges et al. (2007). O *Índice de Vegetação da Diferença Normalizada* (NDVI) é considerado, por muitos autores, como um bom estimador de biomassa e, como consequência, pode ser relacionado ao estoque de carbono nas plantas. Já o índice *Índice de Vegetação Fotossintético* (PRI), que expressa a relação entre as bandas do verde e azul, pode ser relacionado com a taxa fotossintética (Rahman et al, 2000). Segundo Rahman et al. (2000), o sequestro de carbono pela vegetação depende da integração desses dois índices (NDVI e PRI), que geram um novo índice: o *CO₂flux*.

A maioria dos estudos efetuados com esses índices é para áreas e espécies florestais, tendo sido pouco utilizado com culturas agrícolas. Considerando a importância atual do tema das mudanças climáticas globais, o presente trabalho teve o objetivo principal de avaliar as correlações entre índices espectrais (NDVI, PRI e *CO₂flux*) e parâmetros agronômicos (índice de área foliar (IAF) e biomassa (B)) representativos da cultura do café arábica, visando encontrar relações de estoque e sequestro de carbono. Considerando o caráter prospectivo do trabalho, foram utilizados, sempre que necessário, conhecimento disponível na literatura especializada.

2. Metodologia de Trabalho

O trabalho consistiu em três etapas principais:

- a) Coleta de dados em campo (altura e de diâmetro da copa) para cálculo de parâmetros agronômicos (IAF e Biomassa);
- b) Obtenção de dados provenientes de imagens sensoriamento remoto para determinação dos índices de vegetação NDVI, PRI e *CO₂Flux*;
- c) Relação entre os resultados dos parâmetros obtidos via experimento de campo e imagens de sensoriamento remoto.

O trabalho experimental foi conduzido em uma fazenda localizada no município de Ribeirão Corrente, nordeste do estado de São Paulo. Foram analisados 30 talhões com café arábica, sendo que, para cada um deles, foram medidas a altura das plantas (h) e o diâmetro inferior das copas, com amostragem de 15 plantas por talhão. A Figura 1 indica o local do experimento com destaque para os talhões analisados (em preto). O IAF foi calculado a partir da equação apresentada por FAVARIN et al. (2002), que utiliza a altura e o diâmetro da seção inferior do dossel (primeiro par de ramos), de acordo com a Equação 1.

$$\text{IAF} = 0,0134 + 0,7276 \cdot \text{Di}^2 \cdot h \quad (1)$$

onde, Di é o diâmetro médio inferior da saia (copa) e h, a altura média das plantas.

A quantificação da biomassa aérea foi feita a partir das equações alométricas (2), (3) e (4).

$$\ln(\mathbf{B}) = 0,72631 - 2,02558*(1/h) \text{ (Páscoa, 2002) - denominada Biomassa 1} \quad (2)$$

$$\ln(\mathbf{B}) = 0,31543 - 0,87970*(1/h) \text{ (Páscoa, 2002) - denominada Biomassa 2} \quad (3)$$

$$\log_{10}(\mathbf{B}) = -0,779 + 2,338*\text{Log}_{10}(h) \text{ (Segura et. al, 2006) - denominada Biomassa 3} \quad (4)$$

Onde, B é a biomassa seca e h, a altura da planta.

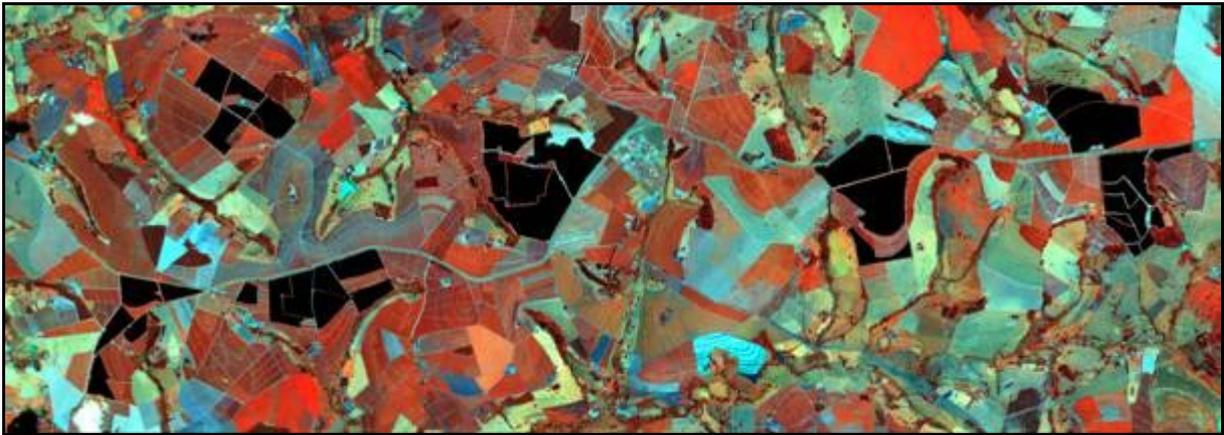


Figura 1: Imagem do satélite Quickbird (R4, G2, B3) com 2,4m de resolução espacial, mostrando os talhões (em preto) selecionados para o trabalho.

O cálculo da biomassa foi realizado para a altura média das plantas nos talhões e para a quantidade total de plantas do talhão por hectare. Para o cálculo do total de carbono estocado na planta foi considerado que 50% da biomassa seca seja carbono (IPCC, 2006).

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat/TM (bandas 1, 2, 3 e 4), do dia 24 de janeiro de 2006, com 30m de resolução espacial, e do satélite Quickbird (bandas 1, 2, 3 e 4), do dia 02 de fevereiro de 2006, com 2,4m de resolução espacial. Para correção radiométrica e atmosférica, foi utilizado o sistema computacional Scoradis (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite), desenvolvido por Zullo Junior (1994), que se baseia na teoria e nos parâmetros atmosféricos calculados pelo Modelo 5S (Tanré et al., 1990). Os parâmetros atmosféricos (espessura óptica dos aerossóis, coluna total de vapor d'água e carga total de ozônio) que são utilizados como entrada no programa Scoradis, foram obtidos a partir do sensor MODIS seguindo a metodologia desenvolvida por Nascimento (2007).

A imagem do satélite Landsat/TM foi georreferenciada com base na imagem Quickbird, de modo que os talhões digitalizados na imagem Quickbird pudessem ser automaticamente repassados para a imagem Landsat/TM. Todos os procedimentos de pré-processamento e processamento das imagens foram realizados com a utilização do software ENVI 4.3 Nascimento (2007).

Após a transformação dos NDs (números digitais) em valores de refletância real, foram calculados os índices NDVI e PRI, descritos pelas equações (5) e (6).

$$\text{NDVI} = (\mathbf{R}_{\text{NIR}} - \mathbf{R}_{\text{RED}}) / (\mathbf{R}_{\text{NIR}} + \mathbf{R}_{\text{RED}}) \quad (5)$$

$$\text{PRI} = (\mathbf{R}_{\text{GREEN}} - \mathbf{R}_{\text{BLUE}}) / (\mathbf{R}_{\text{GREEN}} + \mathbf{R}_{\text{BLUE}}) \quad (6)$$

onde, R_i é o valor da refletância no comprimento de onda das bandas do infravermelho (NIR), vermelho (RED), verde (GREEN) e azul (BLUE).

Após o cálculo do índice PRI, foi calculado o índice sPRI, seguindo a metodologia proposta por Rahman et al. (2000). O índice sPRI tem o mesmo significado do PRI, mas passa a ser representado em uma escala que varia entre 0 e 1 para, assim, ficar com a mesma escala do NDVI, conforme descrito na Equação 7.

$$\text{sPRI} = (\text{PRI} + 1)/2 \quad (7)$$

Os índices NDVI e PRI foram combinados, segundo a metodologia de Rahman et al. (2000), para gerar o índice CO_2flux . Em seguida, o CO_2flux foi comparado aos valores de biomassa e estoque de carbono, que foi obtida por meio das equações alométricas. Foram feitas correlações estatísticas entre os parâmetros de sensoriamento remoto (NDVI, PRI e CO_2flux), obtidos por meio das imagens dos satélites Landsat/TM e Quickbird, com os parâmetros agronômicos (IAF e biomassa, correspondendo ao carbono estocado). As correlações foram classificadas segundo os seguintes parâmetros: muito fracas (para R^2 entre 0 e 0,19), fracas (para R^2 entre 0,20 e 0,39), moderadas (para R^2 entre 0,40 e 0,69), forte (para R^2 entre 0,70 e 0,89) e muito forte (para R^2 maior que 0,9).

3. Resultados e Discussões

a) Biomassa

A equação de biomassa que apresentou melhor correlação com parâmetros de sensoriamento remoto foi a Biomassa 2, desenvolvida por Páscua (2002). As correlações da biomassa com o NDVI (de ambos os satélites), o PRI (Quickbird) e o CO_2flux (Quickbird) foram classificadas como moderadas. Dentre essas correlações, as que mais se destacaram foram: NDVI (Quickbird) x Biomassa 2 (com $R^2= 0,62$) e PRI (Quickbird) x Biomassa 2 (com $R^2= 0,58$). Além disso, a Biomassa 2 teve correlação forte com o IAF ($R^2= 0,79$). A correlação Biomassa 3 x NDVI Landsat foi classificada como fraca.

As correlações da biomassa classificadas como moderadas e fracas podem ser explicadas pelo fato das mesmas não terem sido desenvolvidas para o Brasil, fato esse que pode subestimar ou superestimar a biomassa calculada. Há necessidade da utilização de fórmulas locais por conta da influência das condições edafoclimáticas no desenvolvimento da cultura. No entanto, devido à indisponibilidade de equações de biomassa de café para as condições locais do experimento, utilizou-se as disponíveis na literatura. Outro fator que justifica a classe de correlação moderada é o fato de a equação de biomassa utilizada ser expressa somente em função da altura das árvores. Caso essas equações incluíssem variáveis como diâmetro do tronco, essas relações poderiam ser mais bem explicadas. Mesmo assim, os resultados são promissores e sugerem que o método da relação NDVI x Biomassa do café pode ser utilizado.

b) NDVI

Os valores de NDVI e as estimativas da biomassa da área de estudo tiveram correlação classificada como moderada em quase todos os casos. As melhores correlações do NDVI aconteceram com o satélite Quickbird. Esse fato pode ser explicado pela melhor resolução espacial da imagem, que permite uma melhor quantificação da vegetação em áreas menores, como é o caso da área de café estudada. Satélites de melhor resolução possuem melhor

desempenho na identificação de talhões com características diferentes em campo (Ramirez et al., 2006).

Embora as correlações sejam moderadas, esse valor é de extrema importância para a quantificação da biomassa por métodos não-destrutivos, visto que há uma relação entre as variáveis e uma pode ser capaz de prever a outra até certo nível. Alguns trabalhos apresentam correlação muito forte entre NDVI e biomassa em cereais (Povh, et al., 2008), cana (Lucas e Schuler, 2007) e biomassa florestal (Brandão et al., 2007).

As correlações entre NDVI e estoque de carbono foram fracas em quase todas as equações de biomassa. O único valor de NDVI que teve correlação moderada com o carbono foi o do Landsat/TM com os valores calculados a partir da Biomassa 3, proposta por Segura et al. (2006), cujo R^2 foi 0,42.

Diante dos resultados encontrados, verifica-se que há necessidade do refinamento dessa metodologia para a cultura do café e para a quantificação de biomassa visando o cálculo de estoque de carbono, uma vez que se verifica uma correlação fraca entre os valores de NDVI e os valores de carbono calculados pelo método do IPCC (2006).

c.) PRI e CO_2 flux

O índice PRI tem sido utilizado como um bom indicador da função fotossintética no nível das folhas e do dossel das plantas, além de relacionar a fotossíntese com o uso eficiente de radiação (Gamon et al., 1997). No nível das folhas, o índice PRI varia com a capacidade fotossintética, uso de radiação eficiente e tipo de vegetação. Esse fato é consistente com a hipótese que a vegetação exposta exaustivamente a luz reduz a fotossíntese durante períodos de stress, e investe, proporcionalmente mais, em processos de foto-proteção (Gamon et al., 1997). Nesses casos os valores do índice PRI são reduzidos.

Nesse sentido, segundo Gamon et al. (1997), quanto mais próximo de zero for o índice, maior a capacidade de utilização da luz pela fotossíntese, e, portanto, maior deve ser a eficiência da planta em realizá-la. Trazendo essa informação para o contexto do carbono atmosférico, quanto melhor a utilização da radiação e quanto maior for a fotossíntese, maior a possibilidade da planta utilizar o carbono atmosférico para os processos fotossintéticos e, conseqüentemente, maior a quantidade de carbono estocado.

Vale ressaltar que esse índice varia ao longo do dia, com as diferenças de intensidades luminosas. Durante a noite, o índice é inverso, uma vez que as plantas realizam respiração sem a presença de luz (Rahman et al., 2001).

Os valores de PRI deram negativos em todos os talhões, e variaram entre -0,44 e -0,67. Isso significa que a vegetação estudada estava realizando fotossíntese, com diferentes eficiências de utilização da radiação ativa. Assim, devido à realização da fotossíntese, é possível afirmar que o cafezal estava utilizando o carbono atmosférico, mas com eficiência não tão alta. Esse fato pode ficar mais claro quando são avaliados os valores de sPRI, que variaram de 0,16 a 0,27. Valores baixos de sPRI (próximos de zero) indicam que a eficiência do uso da luz fotossintética é baixa, enquanto valores altos de sPRI (próximos a 1) indicam o oposto (Rahman et al., 2001).

Os valores de PRI Landsat/TM tiveram correlação fraca com os valores de Biomassa 1, 2 e 3 e os valores PRI do Quickbird tiveram relação moderada (com $R^2= 0,58$) para Biomassa 1 e 2. Já a Biomassa 3 teve correlação fraca com o índice PRI do satélite Quickbird. Tal correlação pode ser explicada pelo fato das variáveis não estarem tão diretamente ligadas, já que a fotossíntese e a eficiência do uso da luz dependem de outros fatores além da biomassa, como fenologia da planta, estrutura, estresse hídrico e exposição à luz, entre outros.

Os fatores que interferem na eficiência da utilização da luz para fotossíntese podem ser facilmente detectados pelo NDVI, que caracteriza a vegetação como um todo. Daí a correlação forte ($R^2= 0,8$) entre NDVI e PRI (do Quickbird) (Figura 2). Esse dado sugere que

o índice entre PRI (funções fotossintéticas) é largamente dirigida pela estrutura do dossel das plantas de café, detectados pelo NDVI. Dados muito parecidos foram encontrados por Gamon et al. (1997) com o AVIRIS. Já, com o Landsat, a correlação entre NDVI e PRI foi moderada ($R^2= 0,52$) que pode ser explicado pela resolução do satélite.

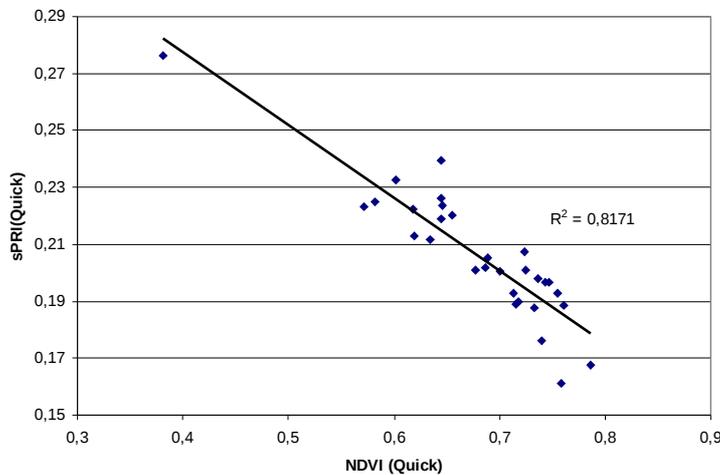


Figura 2 – Relação entre NDVI e sPRI do satélite Quickbird

Da mesma forma que o índice PRI apresentou uma correlação moderada com a biomassa, houve também uma correlação moderada ($R^2= 0,4$) com o IAF, visto que esse é, também, um dos fatores que influencia nos processos fotossintéticos. A correlação foi classificada como moderada tanto para o Landsat quanto para o Quickbird.

Assim como para a biomassa, o índice PRI não apresentou boa correlação com a quantidade de carbono estocada, visto que este índice não calcula carbono acumulado, mas indica a eficiência da utilização da luz para realização de fotossíntese.

O CO_2flux Quickbird teve correlação fraca com a quantidade de carbono estocada nas Biomassas 1, 2 e 3. Já o calculado pelo Landsat teve correlação fraca com a Biomassa 2 e moderada ($R^2= 0,4$) com as Biomassas 1 e 3. Esse resultado sugere, assim como o índice PRI, que os dados do CO_2flux não dependem exclusivamente da biomassa, assim como também não estão altamente relacionados com carbono estocado. Resultados satisfatórios de CO_2flux foram encontrados quando relacionados à quantificação de fluxos de carbono utilizando torres, as quais conseguem calcular o balanço atmosférico do carbono ao longo de um período (Rahman et al., 2001; Cerqueira e Rocha, 2007; Baptista, 2003). O CO_2flux é relacionado mais facilmente com o fluxo do CO_2 que propriamente com o estoque de carbono na biomassa. Gamon et al. (1997) ressaltam que o índice PRI apresenta resultados melhores no nível de dados laboratoriais e obtidos via torres, baseados nos fluxos atmosféricos, do que propriamente no nível do estudo da paisagem do sensoriamento remoto.

Ressalta-se a importância desse estudo no sentido de fornecer explicações e diretrizes para utilizações de métodos não destrutivos para cálculo do CO_2 , além de destacar fatores importantes na utilização do índice PRI. Algumas estruturas são de extrema importância para esse índice e se correlacionam bem com o NDVI, tais como, a estrutura da planta e do dossel e os estresses da vegetação, entre outros. No entanto, os índice PRI e o CO_2flux não são bons indicadores de carbono estocado na biomassa.

Para uma aproximação melhor de resultados na utilização do CO_2flux e do PRI, há necessidade de considerar uma combinação de modelos e de outros métodos de classificação

das imagens. Além disso, experimentos de campo combinando torres com medições de CO₂ flux são importantes.

4. Conclusões

No presente trabalho concluiu-se que:

- Houve uma correlação moderada entre os dados do NDVI Quickbird e Landsat/TM com as fórmulas de biomassa de Páscua, 2002 e Segura et al. (2006), havendo necessidade de refinar esse método para as condições brasileiras da cultura do café;

- A relação NDVI x Biomassa do café e NDVI x estoque de carbono em café é promissora;

- As melhores correlações do NDVI aconteceram com o satélite Quickbird;

- Houve uma forte relação entre o índice PRI e NDVI visto que as funções fotossintéticas (detectadas pelo índice PRI) são largamente definidas pela estrutura do dossel das plantas de café detectada pelo NDVI;

- Os valores de PRI Landsat/TM tiveram correlação fraca com os valores das Biomassas 1, 2 e 3, e os valores PRI do Quickbird tiveram relação moderada para as Biomassas 1 e 2, e fraca com a Biomassa 3;

- Não há boa correlação entre o índice PRI e o carbono estocado na biomassa;

- O CO₂flux Quickbird teve correlação fraca com a quantidade calculada de carbono estocado nas Biomassas 1, 2 e 3. Já, o calculado pelo Landsat teve correlação fraca com a Biomassa 2 e moderada com as Biomassas 1 e 3;

- O índice PRI e o CO₂flux não dependem exclusivamente da biomassa, assim como também não estão altamente relacionados com carbono estocado.

Logo, as perspectivas são promissoras para a estimativa de parâmetros relevantes no contexto das mudanças climáticas globais a partir de métodos não-destrutivos baseados em dados de sensores remotos. O desenvolvimento de equações específicas para as condições brasileiras deverão tornar tais estimativas mais precisas e aplicadas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Cnpq, pelo apoio financeiro e ao Thales Luiz Dreza pela ajuda com sistemas de informática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baptista, G.M.M.de. Validação da Modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS HYPERION. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11 (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1037-1044. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.07.21.45/doc/10_002.pdf. Acessado em setembro de 2008.

Brandão, Z.N.; Bezerra, M.V.C.; Silva, B.B. Uso do NDVI para determinação da biomassa na Chapada do Araripe. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 75-81. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.39.22/doc/75-81.pdf>. Acesso em outubro de 2008.

Cerqueira, D.B.; Rocha, W.F. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio das Contas-BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2413-2419. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.29/doc/2413-2419.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2008.

Favarin, J.L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

Gamon, J.A.; Serrano, L.; Surfus, J.S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n.4, p. 492-501, 1997.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, Acessado em agosto de 2008.

Junges, A.H.; Alves, G.; Fontana, D.C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2413-2419. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://74.125.45.104/search?q=cache:Snd4QfUXxO4J:marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.15.10.52/doc/241-248.pdf+NDVI+%2B+biomassa+%2B+Junges,+2007&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=3&gl=br>. Acesso em setembro de 2008.

Lucas, A. A.; Schuler, C. A. B.. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 11, n. 6, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000600009&lng=&nrm=iso. Acesso em: setembro de 2008.

Nascimento, C. R.; Zullo Junior, J. Utilização de produtos atmosféricos do sensor MODIS/TERRA, na correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6367-6374. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.09.13.27>. Acesso em: 01 nov. 2008.

Pásqua, D.M.S. Cuantificación y valoración económica Del servicio ambiental almacenamiento de carbono em sistemas agroflorestales de café em la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. 2002, 131p. Tese (Magister Scientiae). Centro Agronômico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2002

Pinto, H. S.; Assad, E. D.; Zullo Junior, J.; Evangelista, S. R. de M.; Otavian, A. F.; Ávila, A. M. H. de; Evangelista, B. A.; Marin, F.; Macedo Junior, C.; Pellegrino G.; Coltri, P. P.; Coral, G. **A nova geografia da produção agrícola no Brasil**. In: DECONTO, J. G. (Coord.). Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. 82p. Disponível em: www.agritempo.gov.br/climaeagricultura. Acessado em 05 de novembro de 2008.

Povh, F. P.; Molin, J.P.; Gimenez, L.M.; Pauletti, V.; Molin, R.; Salvi, J.V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, pp. 1075-1083, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2008000800018&script=sci_abstract&tlng=pt. Acessado em 10 outubro de 2008.

Rahman, A. Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.A.; Prentiss, D. Modeling distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n.24, p. 579-591, 2001.

Ramirez, G. M., Zullo Junior, J., Assad, E. D., Pinto, H. S. Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+ no estudo de áreas cafeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.4, p. 661-666. 2006.

Segura, M.; Kanninen, M.; Suárez, D. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. **Agroforestry System**, v. 68, n.2, pp. 143-150. 2006

Tanré, D., Deroo, C.; Herman, M.; Morcrette, J.J.; Perbos, J.; Deschamps, P.Y. Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, n.4, p.659-668, 1990.

Zullo Junior, J. Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações. 1994. 190f.. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.