

Metodologia computacional para a identificação de áreas desflorestadas e prototipação de um modelo para estimativa de cultivo de soja em áreas desflorestadas utilizando conceitos fundamentais de lógica nebulosa.

Eduardo Lessa Bonelli ¹
Lamartine Nogueira Frutuoso Guimarães ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
dubonelli@hotmail.com, dubonelli@dpi.inpe.br

² Instituto de Estudos Avançados – IEAV
Rodovia dos Tamoios Km 5,5 - 12228-001 – São José dos Campos – SP, Brasil
guimarae@ieav.cta.br

Abstract. This paper proposes the development of a method for identification of the start date desforestation. In this paper will be presented the pertinence functions created, based on fundamental concepts of fuzzy logic, for presence estimate soybean crop in desforestation areas with base in the rules of soybean moratory defined by ABIOVE and ANEC. During the process of realizing this paper it was taken into account two premises: identify the start date of deforestation and the presence of soybean crop in defined periods of analysis. Given this, all procedure performed in this paper was based in the multitemporal Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) enhanced vegetation index (EVI) product based on images acquired from January 2001 until July 2010. In the phase of identification of the soybean crop, we used the CEI model proposed by Rizzi (2009), where the indexes greater that 0,28 reflect the existence of soybean crop in that analyzed area. Although the proposed procedure was applied to soybean crop and deforestation. It also seems to be valuable to detect, calculate and map other crop plantation with well defined threshold values for the analyst.

Palavras-chave: agricultural statistic, vegetation indexes, remote sensing, artificial intelligence, fuzzy logic, estatísticas agrícolas, índices de vegetação, sensoriamento remoto, inteligência artificial, lógica fuzzy.

1. Introdução

Com o crescimento da população e conseqüentemente o aumento da produção agrícola, cada vez mais os cenários (ABIOVE, 2010) apontam para os impactos sobre o meio ambiente e a escassez de recursos naturais. Com isso, as atenções se voltaram para a necessidade de mudança de atitude nos meios de produção, consumo e comportamento, visando minimizar os impactos ambientais e sociais inerentes destas ações.

Dados recentes da FAO (Food and Agriculture Organization) indicam que apenas 30% da superfície do planeta estão cobertas com florestas nativas, boa parte delas em regiões de clima frio, portanto fora das fronteiras agrícolas, tais como as florestas do Canadá e Rússia. O Brasil mantém grande parte de suas florestas originais e tem o grande desafio de preservar este patrimônio e atender parte significativa das necessidades futuras da humanidade.

Diante deste contexto, o Brasil tem criado instrumentos para aumentar a fiscalização de maneira a minimizar o desmatamento de suas florestas originais. Tais medidas abrangem política de regulamentação fundiária, criação de unidades de conservação, aumento na fiscalização e controle, fundos de financiamento ambiental, moratória da soja, dentre outras iniciativas. Entretanto, a grande dificuldade encontrada para realizar a fiscalização é pertinente ao processo de como realizar o monitoramento (ABIOVE, 2008).

A soja é um grão rico em proteína. Embora seja planta originária de clima temperado, a soja se adapta bem em uma ampla faixa de clima. A utilização de cultivares adaptados permite o cultivo dessa oleaginosa nos climas subtropical e tropical. Assim, as temperaturas médias favoráveis ao desenvolvimento da soja são entre 20° e 35°C. Precipitações

pluviométricas anuais de 700 a 1.200 mm bem distribuídas preenchem perfeitamente suas necessidades híbridas (Diehl & Junquetti, 2010).

O comportamento espectral da cultura de soja sofre alterações nos diferentes estádios fenológicos. Levando em conta as diferentes fases do cultivo de soja, fica claro que, na primeira etapa do processo, há predomínio do solo exposto. Sendo assim, sua reflectância varia com as propriedades físico-químicas da matéria orgânica, presença de cobertura vegetal, resíduos estranhos ao solo, rugosidade, umidade, distribuição do tamanho das partículas, óxido de ferro, mineralogia de argila e material de origem (Epiphany et al.,1992; Irons et al.,1989; Stoner et al.,1981).

As imagens adquiridas por sensores remotos a bordo de satélites, particularmente as imagens de média resolução espacial, se apresentam como uma alternativa para o desenvolvimento de novos métodos capazes de fornecer informações objetivas, confiáveis e em tempo hábil sobre a área plantada com culturas agrícolas (Rizzi et al. ,2009). No entanto, a freqüente cobertura de nuvens por ocasião da safra tem limitado a aplicação destas imagens (Ippoli-Ramilo et al.,2003).

Entretanto, com o lançamento do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – <http://modis.gsfc.nasa.gov>), a bordo dos satélites Terra (em 18/12/1999) e Aqua (em 04/05/2002), iniciou-se uma fase promissora em termos de monitoramento da atividade agrícola em grandes áreas por meio dessas imagens. Sua freqüência de observação quase diária permite a geração de imagens compostas em período maior (e.g 16 dias). Isto aumenta a possibilidade de obtenção de imagens livre de nuvens. Além disso, a grande acuidade radiométrica e geométrica, aliada a uma resolução espacial de 250m, dão forte alento para a potencialidade das imagens do sensor MODIS na identificação e quantificação de áreas agrícolas, particularmente em regiões onde o tamanho médio dos talhões supera uma centena de hectares (Rizzi et al. ,2009), e também na identificação de desmatamento em grandes regiões com florestas originais.

A detecção do desmatamento em tempo real ou quase real não é uma tarefa trivial. A qualidade geométrica dos dados MODIS e a padronização do processamento de seus produtos desde o início de sua operação em meados de 2000 permitem a caracterização da variabilidade espaço-temporal da floresta e áreas desflorestadas através da análise de série temporais dos produtos MODIS, possibilitando a detecção de mudanças em áreas de floresta em tempo quase real.

Com o objetivo de gerar informações seguras sobre a atual participação da sojicultura no processo de desmatamento do bioma Amazônia e diante de manter o compromisso das indústrias e exportadores da ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais e da ANEC – Associação Nacional dos Exportadores de Cereais de não adquirirem soja oriunda dessas áreas a partir de junho de 2006 (ABIOVE, 2010). A moratória da soja tem grande influência no desenvolvimento deste trabalho no que tange a data de fiscalização das áreas em questão.

Assim, este trabalho objetivou, através da metodologia computacional proposta, a identificar a data de início da ocorrência de desmatamento, além de fornecer os subsídios necessários ao entendimento do critério de avaliação que será utilizado para identificar a presença de cultivo de soja com base na série espaço-temporal do índice de vegetação efetiva (*Enhanced Vegetation Index- EVI*). Neste trabalho serão discutidas ainda as regras de inferências desenvolvidas, baseadas em conceitos fundamentais da lógica nebulosa, visando estimar com maior precisão a existência de soja em áreas desflorestadas, seguindo os critérios estabelecidos pela moratória da soja citadas anteriormente.

2. Metodologia

A área escolhida como estudo de caso compreende 36 municípios no limite territorial de três estados (Mato Grosso, Pará e Rondônia). Para a identificação das áreas desflorestadas e avaliação da presença de cultivo de soja foram utilizadas as séries espaço-temporais de reflectância (EVI) geradas a partir das imagens compostas de 8 dias¹ do sensor MODIS a bordo do satélite terra, mais especificamente os produtos MOD09GA (resolução espacial de 1 Km a 500m – Banda 1 à 7) e MOD09GQ (resolução espacial de 250m – Banda 1 e 2) coleção 5.0 com captação diária e o produto MOD09A1 (resolução espacial de 500m – Banda 1 à 7) coleção 5.0 com captação de 8 dias. Para a análise dos resultados até o momento obtidos, fez-se necessária a composição das imagens (Banda 1,2 e 6) de forma a realçar a vegetação. Entretanto, devido a indisponibilidade da banda 6 na resolução de 250m com captação diária, foi realizada a reamostragem da mesma presente no produto MOD09GA para 250m. Já o produto MOD09A1 coleção 5.0, resolução espacial de 500m, foi utilizado neste trabalho para construção da série temporal do índice de vegetação efetiva denominado EVI (*Enhanced Vegetation Index*), proposto por Huete et al. (1997). Para a realização deste procedimento também fez-se necessária a reamostragem das bandas 1,2 e 3 para 250m. O EVI foi formulado a partir de uma combinação de outros dois índices de vegetação: o SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index; Huete, 1988) e o ARVI (Atmosphere Resistant Vegetation Index; Kaufman & Tanré,1992) tendo a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, de acordo com a equação 1:

$$EVI = G * \frac{IVP - V}{IVP + C_1 * V - C_2 * A + L} \quad (1)$$

em que: IVP = reflectância no infravermelho próximo; V = reflectância no vermelho; A= reflectância no azul; C₁ = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho (6); C₂ = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul (7,5); L = fator de correção para a interferência do solo(1); G = fator de ganho(2,5). Os coeficientes C₁ e C₂ podem ser alterados de acordo com as condições regionais, sendo que os produtos disponibilizados pelo EOS (*Earth Observing System*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) utilizam as especificações acima. Além disso, o EVI tem se mostrado mais sensível às alterações na biomassa vegetal em relação aos índices utilizados até então, sobretudo em regiões de alta densidade de vegetação, como florestas (Rizzi, 2009; Huete et al.,2002). Isto aumenta o contraste entre as áreas de florestas e aquelas contendo cultivos agrícolas, facilitando a distinção entre tais áreas em uma imagem EVI.

Desde 1988, o INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) vem produzindo as taxas anuais do desflorestamento da Amazônia Legal. Entretanto, a partir de 2002, estas estimativas estão sendo produzidas por classificação digital de imagens. A principal vantagem deste processo esta na precisão do geo-referenciamento dos polígonos de desflorestamento, de forma a possibilitar a produção de um banco de dados geográfico multitemporal. A cada ano a partir dos incrementos de desflorestamento identificados as taxas anualizadas são estimadas (Projeto Prodes - <http://www.obt.inpe.br/prodes/>).

Para as áreas de estudo de caso foram abordados 349 polígonos, sob influência dos incrementos anuais do Projeto Prodes desde 2006. Tais polígonos foram definidos na faixa entre 25 e 50 hectares² e maiores que 50 hectares². Para a construção das séries espaço-

¹ Neste caso, uma imagem MODIS não se refere a uma data, mas sim a um período que tem início nesta data. Então, é composta uma imagem contendo os *pixels* de melhor qualidade radiométrica e geométrica observados durante este período (Huete et al.,1999).

² Um hectare (conhecido como hectômetro quadrado – símbolo hm²) equivale a 10.000m²

temporais foram utilizados os produtos de reflectância (EVI), conforme descrito anteriormente, de janeiro/2001 à julho/2010.

Já no processo de tratamento dos dados, frente à metodologia computacional proposta, fez-se necessária a identificação dos centróides de cada pixel do MODIS da área de estudo, denominado identificador, como forma de diminuir o tempo de processamento levando em consideração o volume de dados. Cada identificador corresponde a 6250m² equivalente a resolução espacial do produto MODIS de 250m. Assim, todos os identificadores foram interserccionados levando em consideração 500 metros de margem de erro nas fronteiras de cada polígono de desmatamento (Projeto PRODES), resultando em 24.769 identificadores a serem tratados a partir da metodologia proposta. A figura 1 representa a composição das áreas de desflorestamento (PRODES), as áreas nas fronteiras dos polígonos (margem de erro) e os respectivos identificadores (Pixels MODIS).

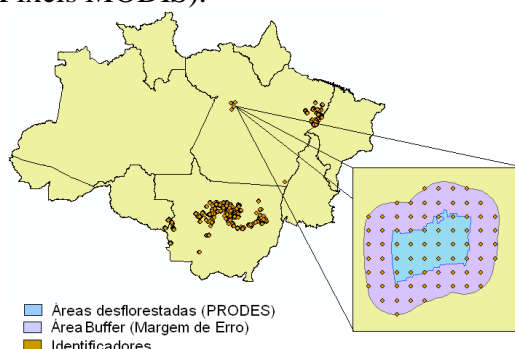


Figura 1. Ilustração da composição das áreas desflorestada (PRODES), área de Buffer nas regiões de fronteira dos polígonos (Margem de erro) e os identificadores (centróides pixels MODIS).

No processo de criação da metodologia, proposta neste trabalho, fez-se necessária a utilização de um banco de dados relacional. A principal vantagem neste trabalho à utilização de um banco de dados é pertinente ao aumento de desempenho do processamento dos dados em comparação a realização feita pela linguagem hospedeira. O banco de dados utilizado foi o PostgreSQL disponível no site do fabricante (<http://www.postgresql.org>).

Conforme descrito anteriormente, neste trabalho foram desenvolvidas as regras de inferência para estimar a existência de cultivo de soja em áreas desflorestadas. Para a elaboração destas fez-se necessário uma abordagem a conceitos fundamentais da lógica nebulosa. A tabela 1 mostra a definição lingüística dos parâmetros estabelecidos à estimativa de cultura de soja nas áreas desflorestadas. A figura 2 representa as curvas dos valores de CEI (detalhado no decorrer do trabalho) em analogia com uma função de pertencimento genérica, inspirada no paradigma de lógica nebulosa. A tabela 2 ilustra as regras de inferências, inspiradas nos paradigmas de lógica nebulosa, definidas para tratar dois dos principais aspectos da imperfeição da informação: a imprecisão e a incerteza. Como descrito anteriormente, para tratar estes aspectos será levado em consideração os valores de reflectância (EVI) pontual no período de análise definido.

Tabela 1. Significado Lingüístico dos Parâmetros

ND	No Deforestation	PSHR	Presence of the Soybean Higher
OD	Occured Deforestation	PSH	Presence of the Soybean High
IRM	Inside the Rules of the Moratory	PSS	Presence of the Soybean Standart
ORM	Outside the Rules of the Moratory	PSL	Presence of the Soybean Low
PS	Presence of the Soybean	PSLR	Presence of the Soybean Lower
AS	Absence of the Soybean	SM	Soybean Moratory
		NS	No Soybean

Tabela 2. Regras de inferência com base conceitual nos fundamentos de Lógica Nebulosa

1	If (OD = true) AND (IRM=true) AND ((PS_2001 and PS_2002 and PS_2003 and PS_2004 and PS_2005 and PS_2006 and PS_2007 and PS_2008 and PS_2009 and PS_2010) = true) THEN PSHR
2	If (OD = true) AND (IRM=true) AND ((PS_2008 and PS_2009)=true) AND ((AS_2001 and AS_2002 and AS_2003 and AS_2004 and AS_2005 and AS_2006 and AS_2007)=true) THEN PSHR
3	If (OD = true) AND (IRM = true) AND (AS_2001 = true) AND ((PS_2002 and PS_2003 and PS_2004 and PS_2005 and PS_2006 and PS_2007 and PS_2008 and PS_2009 and PS_2010)=true) THEN PSH
4	If (OD=true) AND (ORM = true) THEN OM
5	If (ND = true) AND not exist PS=true THEN NS
6	If (OD=true) AND (IRM=true) AND ((PS_2006 and PS_2007) = true) AND ((AS_2001 and AS_2002 and AS_2003 and AS_2004 and AS_2005 and AS_2008 and AS_2009 and AS_2010) = true) THEN PSS
7	If (OD=true) AND (IRM=true) AND ((PS_2001 and PS_2002)=true) AND ((AS_2003 and AS_2004 and AS_2005 and AS_2006 and AS_2007 and AS_2008 and AS_2009 and AS_2010)=true) THEN PSLR
8	If (ND=true) AND exist PS=true THEN PSHR
9	If (OD=true) AND (IRM=true) AND ((PS_2003 and PS_2004 and PS_2005 and PS_2006)=true) AND ((AS_2001 and AS_2002 and AS_2007 and AS_2008 and AS_2009 and AS_2010)=true) THEN PSL

Todas as leis criadas em analogia a função de pertencimento genérica, conforme descrito na tabela 2, leva em consideração o valor da resultante do índice CEI, calculados de forma otimizada a partir da metodologia computacional em questão. Conforme proposto por Rizzi (2009), valores de índice CEI superiores a 0,28 refletem a existência de soja no identificador analisado. Assim, a primeira lei definida na tabela 2 leva em consideração a ocorrência do desmatamento dentro do período estimado pela moratória da soja (processo apresentado na seção 3) e ainda a presença de soja (índices CEI maiores que 0,28) em todos os intervalos oriundos à análise. Desta forma, a saída gerada pela metodologia proposta, resulta no limiar altíssimo de presença de soja, segundo a Figura 2. Assim, a partir desta contextualização, as outras regras de inferência foram desenvolvidas, a fim de estimar com maior precisão todos os identificadores mostrados na figura 1, segundo a moratória da soja.

3. Resultados e Discussão

Como forma de garantir a precisão da metodologia computacional aqui apresentada, visando à estimativa do cultivo de soja em áreas desflorestadas, algumas premissas devem ser avaliadas. Em primeiro momento, como objetivo proposto pelo trabalho, a necessidade de validação dos identificadores frente à problemática da ocorrência do desmatamento, detalhada anteriormente, e em futuro próximo a concretização de todo o processo demonstrado aqui.

Para a etapa em foco, criou-se uma “*procedure*” (rotina em Banco de Dados) de forma a organizar e facilitar a verificação de cada identificador quanto ao limiar definido para análise da malha de dados (EVI filtrado). A figura 3a ilustra o comando SQL para a criação das tabelas temporárias via “*procedure*”. A figura 3b ilustra o comando SQL para a realização da consulta para identificar o momento no qual ocorreu o primeiro corte raso, considerado neste trabalho como desflorestamento ou presença de solo exposto, na série espaço-temporal de cada identificador. A figura 3c ilustra o comando SQL para a realização da consulta da data de início do desflorestamento. Esta data é um marco crucial a solução da problemática, levando em consideração o critério estabelecido pela moratória da soja.

```
CREATE TABLE temporary
(
  dataid character varying(10),
  data date,
  evi numeric(10,4)
)
```

Figura 3a. Estrutura da tabela temporária gerada em procedure.

```
select data from temporary where data in
(select min(data) from temporary where evi between 0.04 and 0.2);
```

Figura 3b. Query para identificação da primeira queda brusca de EVI em procedure.

```
select Max(data) from temporary where data <= (select data from temporary where
data in (select min(data) from temporary where evi between 0.04 and 0.2)) and evi
between 0.49 and 0.54;
```

Figura 3c. Query para identificação da data de início do desflorestamento.

Para a identificação do limiar utilizado como padrão nas consultas, foi realizada a análise de 5% dos identificadores de forma gráfica e a partir desta validação foram replicados aos demais identificadores, obtendo 92,16% de aprovação frente à comparação das imagens MODIS na data do primeiro corte raso (desflorestamento) em função da série temporal e início do desflorestamento. A figura 4 ilustra o comportamento da série espaço-temporal de um dos identificadores utilizados para análise. A figura 5a e 5b ilustram as imagens obtidas do MODIS a partir das datas obtidas pela realização das consultas.

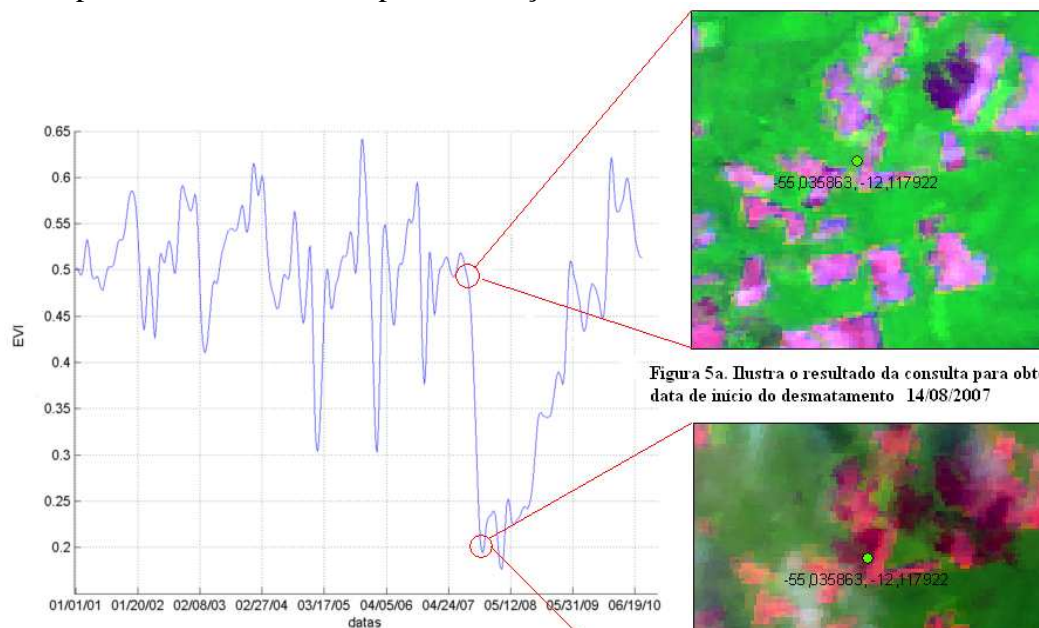


Figura 4. Comportamento do identificador 26043652 localizado no município de Santa Carmem - MT (Lat = -11,913 , Long = -55,226)
Microregião = Sinop
Mesoregião = Norte Mato-Grossense

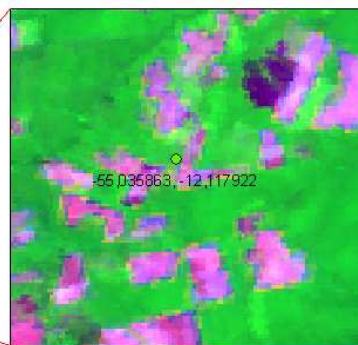


Figura 5a. Ilustra o resultado da consulta para obtenção da data de início do desmatamento 14/08/2007

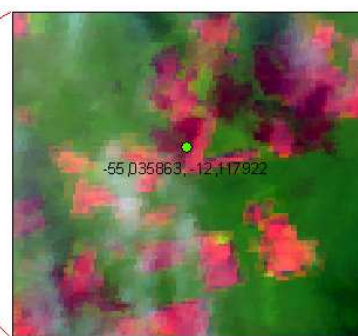


Figura 5b. Ilustra o resultado da consulta para obtenção da data de desflorestamento. 18/11/2007

4. Conclusão

A abordagem exposta neste trabalho tem por base a disponibilidade de imagens de alta resolução temporal geradas pelo sensor MODIS, o calendário agrícola e a variação espaço-temporal das culturas de soja e desflorestamento. A metodologia demonstrou grande potencial para identificação da data do início do desflorestamento frente à problemática da moratória da soja, sendo este fator crucial na obtenção dos futuros resultados pertinente a estimativa do cultivo de soja inspirado em conceitos fundamentais de lógica nebulosa (Lógica Fuzzy) utilizados. A importância deste trabalho reflete ao tempo de processamento frente ao volume de dados e a precisão na identificação dos alvos de interesse.

5. Referência Bibliográfica

ABIOVE – Associação Brasileira das Industrias de Óleos Vegetais. **Moratória da Soja**, 2008. 2008. Disponível em: <www.abiove.com.br/ss_moratoria_br.html>. Acesso em: 18 agosto de 2010.

ABIOVE – Associação Brasileira das Industrias de Óleos Vegetais. **Moratória da Soja – 3º Ano do Mapeamento e Monitoramento do plantio de soja no bioma Amazônia, relatório julho 2010**. 2010. Disponível em: <www.abiove.com.br/ss_moratoria_br.html>. Acesso em: 24 setembro de 2010.

Diehl, Sérgio R. L. ; Junquetti, M. T. G. **AGROBYTE – Semeando Informações**. Clima e Solo, 2010. 2010. Disponível em: <<http://www.agrobyte.com.br/index.php?pag=soja>>. Acesso em 23 Setembro de 2010.

Epiphanyo J. C. N.; Formaggio, A. R.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. **Comportamento Espectral de Solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. 132p. (INPE 5424-PRP/172).

Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environment**, v.25, n.3, p. 295-309, Aug. 1988.

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

Huete, A.; Justice, C.; Leeuwen, W. V. **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**, 1999. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>. Acesso em: 13 set. 2008.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodrigues, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n.83, p. 195-213, 2002.

Ippoliti-Ramilo, G.A.; Epiphanyo, J. C. N.; Shimabukuro, Y. E. Landsat-5 Thematic Mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. **Internacional Journal of Remote Sensing**, v. 24, n.7, p. 1521-1534, jul. 2003.

Irons, J. R.; Weismiller, R. A.; Petersen, G. W. Soil Reflectance. In: Asrar, G. (Ed.) **Theory and Applications of Optical Remote Sensing**. New York, John Wiley & Sons, 1989. p. 66-106.

Kaufman, Y. J.; Tanré, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Symposium. **Proceedings...**v. 30, p. 261-270, 1992.

Monitoramento da floresta Amazônia Brasileira por satélite (PROJETO PRODES). Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 10. set.2010.

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: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 25-30 Abril 2009, Natal, Brasil. Artigo, p. 387-394.

Stoner, E. R.; Baumgardner, M. F. **Characteristic variations in reflectance of surface soils**. **Soil Sci. Soc. Am. J.**v.45, p.1161-1165, 1981.