

## **ANÁLISE MULTITEMPORAL DE IMAGENS NDVI EM AÇÕES DE REFORMA AGRÁRIA**

**Ana Paula Ferreira de Carvalho<sup>1</sup>, Osmar Abílio de Carvalho Júnior<sup>2</sup>,  
Renato Fontes Guimarães<sup>3</sup>, Éder de Souza Martins<sup>4</sup>,  
Vera Maria da Silva Rocha<sup>5</sup> & Carlota Selma César<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>UnB - Universidade de Brasília - Departamento de Ecologia  
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil  
[anapaula@unb.br](mailto:anapaula@unb.br)

<sup>2</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
[osmar@ltid.inpe.br](mailto:osmar@ltid.inpe.br)

<sup>3</sup>UnB - Universidade de Brasília - Departamento de Geografia  
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.  
[renatofg@unb.br](mailto:renatofg@unb.br)

<sup>4</sup>Embrapa/CPAC-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
Caixa Postal 08223, 73301-970, Planaltina, DF, Brasil  
[eder@cpac.embrapa.br](mailto:eder@cpac.embrapa.br)

<sup>5</sup>INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.  
SBN Ed. Palácio do desenvolvimento, sala 1205, 70057-900, Brasília, DF, Brasil  
[{verarocha,carlota}@incra.gov.br](mailto:{verarocha,carlota}@incra.gov.br)

Recebido 25 de junho de 2001; revisado 16 de novembro; aceito 18 de fevereiro de 2002

**RESUMO** - No processo de obtenção de terras para a Reforma Agrária pode haver divergência de informações entre o Laudo de Vistoria e a situação em que o imóvel se encontra no momento em que o proprietário contesta. Desta forma, a análise multitemporal de imagens de satélite vem sendo utilizada para subsidiar a fase judicial da obtenção de terras. Por outro lado, é importante estabelecer critérios para que essas imagens possam ser comparadas. Neste trabalho é proposta uma metodologia para otimizar a análise multitemporal de imóveis rurais, composta pelas seguintes etapas: (a) aquisição de imagens relativas à três datas distintas, (b) normalização das imagens pelo emprego da

conversão dos níveis de cinza para valores de reflectância, (c) emprego do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e (d) análise comparativa das datas de forma integrada por meio da composição colorida das imagens NDVI. Esse procedimento proporcionou a comparação de imagens de datas diferentes. A visualização das mudanças de cobertura e uso da terra em uma única imagem proporciona subsídios à fase judicial da desapropriação.

**Palavras-Chave** – reforma agrária, processamento digital de imagens, índice de vegetação por diferença normalizada.

**ABSTRACT** - Divergence of information between official agents and land owners is quit frequent during the land Agrarian Reform process. Thus, in order to solve such questions, the time series analysis of satellite images has been used to subsidize the legal judicial phase of the land partion among several users. In the other hand, it is necessary to establish criteria to compare these images. This papper proposes a methodology to improve multitemporal analysis, composed by the following steps: a) acquisition of relative images to three different dates, b) normalization of the images by the use of the conversion of the grey levels for reflectance values, c) use of the Normalized for Difference Vegetation Index (NDVI) and d) comparative analysis of the dates integrated by means of the color composition of the NDVI images. That procedure allowed the comparison of different dates images. The visualization of the vegetation cover changes and landuse in an single image provided subsidies to the judicial phase of the land dispossession.

**Keywords** – agrarian reform, image processing, normalized for difference vegetation index.

## INTRODUÇÃO

A detecção de mudanças na cobertura e uso da terra envolve o emprego de conjuntos de dados multitemporais para discriminar áreas imageadas em diferentes datas. A análise de séries temporais por imagens de satélite vem sendo amplamente utilizada em estudos da dinâmica da paisagem (Sader *et al.*, 1990; Brondízio *et al.*, 1993; Morán *et al.*, 1994; Alencar *et al.*, 1996; Venturieri *et al.*, 1998; Watrin *et al.*, 1996, 1998, entre outros).

A detecção de mudanças na cobertura e uso da terra é necessária para a atualização de mapas e para o gerenciamento de recursos naturais. Em relação ao processo de obtenção das terras para a Reforma Agrária, pode haver divergência de informações entre o Laudo de Vistoria e a situação em que o imóvel se encontra no momento em que o proprietário contesta. Desta forma, a análise multitemporal vem sendo utilizada no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA para subsidiar a fase judicial da obtenção de terras em processo de desapropriação. As informações obtidas por meio dessa técnica podem ser utilizadas em juízo, devendo ser obtidas da forma mais criteriosa possível. Além disso, a detecção de mudanças na cobertura e uso da terra pode ser utilizada para monitorar a dinâmica dos assentamentos de trabalhadores rurais.

No presente trabalho foi desenvolvida uma metodologia para a comparação de informações obtidas em diferentes datas a partir de procedimentos de normalização visando facilitar o processo de análise multitemporal de imagens. Além disso, é proposta uma nova metodologia para processamento digital de imagens multitemporais. O algoritmo proposto gera uma imagem relativa ao

desvio padrão dos diferentes índices de vegetação normalizado ao longo do tempo para cada *pixel*.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A metodologia adotada pode ser resumida nas seguintes etapas:

- Seleção da área e obtenção das imagens relativas às três datas distintas que expressem a evolução do uso da terra;
- Normalização das imagens pelo emprego da conversão dos níveis de cinza para valores de reflectância,
- Emprego do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) objetivando ressaltar a vegetação e as áreas de plantio e análise comparativa das várias datas de forma integrada por meio da composição colorida das imagens NDVI, e
- Desenvolvimento e análise de uma imagem do desvio padrão do NDVI ao longo do tempo. Esse procedimento proporciona a obtenção de imagens de valores comparáveis, devido à normalização dos dados, e visualização das mudanças de cobertura e uso da terra em uma única imagem, facilitando sua análise.

## **SELEÇÃO DA ÁREA**

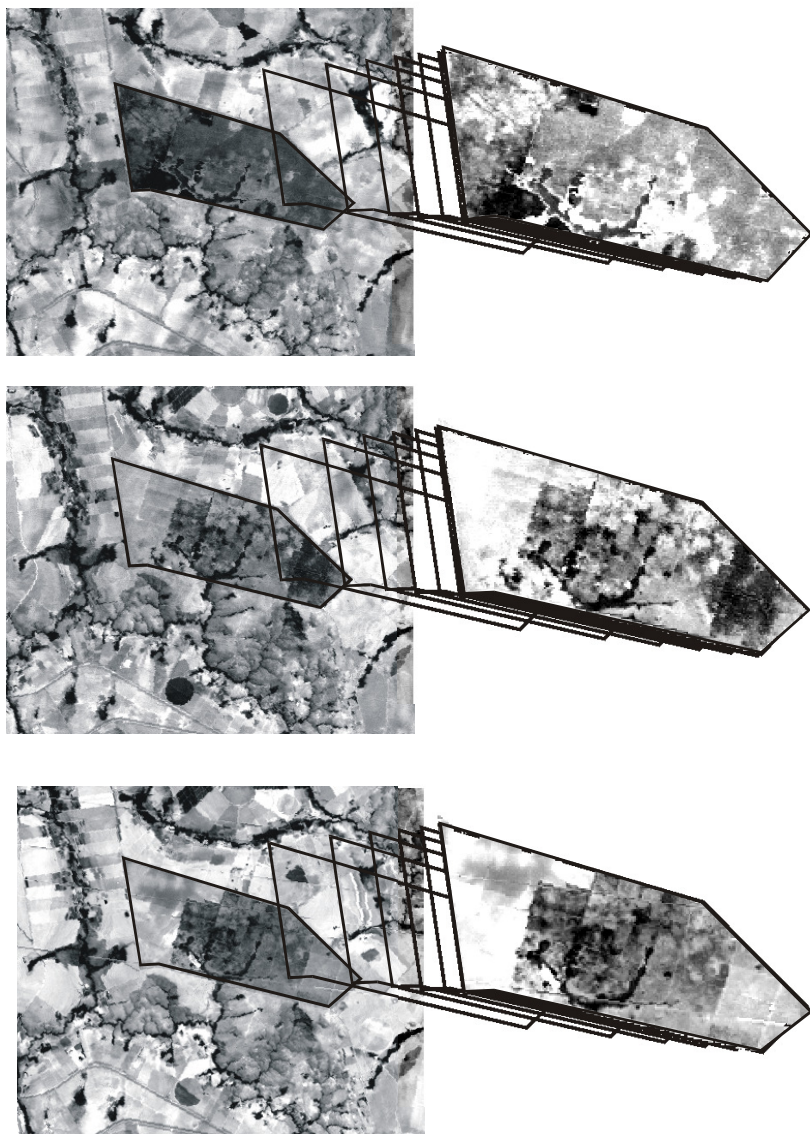
A área de estudo compreendeu um imóvel fictício delimitado aleatoriamente numa região agrícola do Distrito Federal para a demonstração da metodologia desenvolvida. Os procedimentos utilizados nesta área podem ser aplicados em áreas passíveis à desapropriação e de interesse do monitoramento.

Para o estudo foram utilizadas imagens do sensor TM-Landsat, órbita/ponto 221/071, relativas aos anos de 1986, 1996 e 1999. Essas imagens foram corrigidas geometricamente usando uma reamostragem pelo método do vizinho mais próximo, de forma a não alterar os valores digitais. A **Figura 1** apresenta as imagens referentes à banda 5 da área de estudo nas diferentes datas. As imagens foram cortadas em mesmo tamanho de forma possibilitar a sobreposição das diferentes datas.

### **CONVERSÃO DOS NÚMEROS DIGITAIS PARA VALORES DE REFLECTÂNCIA**

Os procedimentos de detecção de mudanças devem envolver a aquisição de dados pelo mesmo sensor (ou similar) devido às características de resolução espacial, geometria de visada, bandas espectrais e hora do dia.

As comparações de imagens de datas diferentes apresentam interferências provenientes das condições vigentes da aquisição da cena como o efeito das condições de iluminação, a irradiância solar no topo da atmosfera e o ângulo de incidência da radiação sobre o alvo. Os procedimentos de transformação radiométrica, que visam normalizar as interferências provenientes da aquisição das cenas, podem ser subdivididos em dois tipos: a) os que normalizam os dados descalibrando-os radiometricamente (razões de bandas) e b) os que normalizam recuperando a grandeza física absoluta dos números (Bentz, 1990). O segundo método apresenta vantagens sobre o primeiro, pois permite melhor compensar os efeitos da aquisição da cena e obter valores numéricos comparáveis aos de bibliotecas espectrais.



**Figura 1** – Imagens da banda 5 relativas à área de estudo com os limites do imóvel, nas datas de 1986, 1996 e 1999.

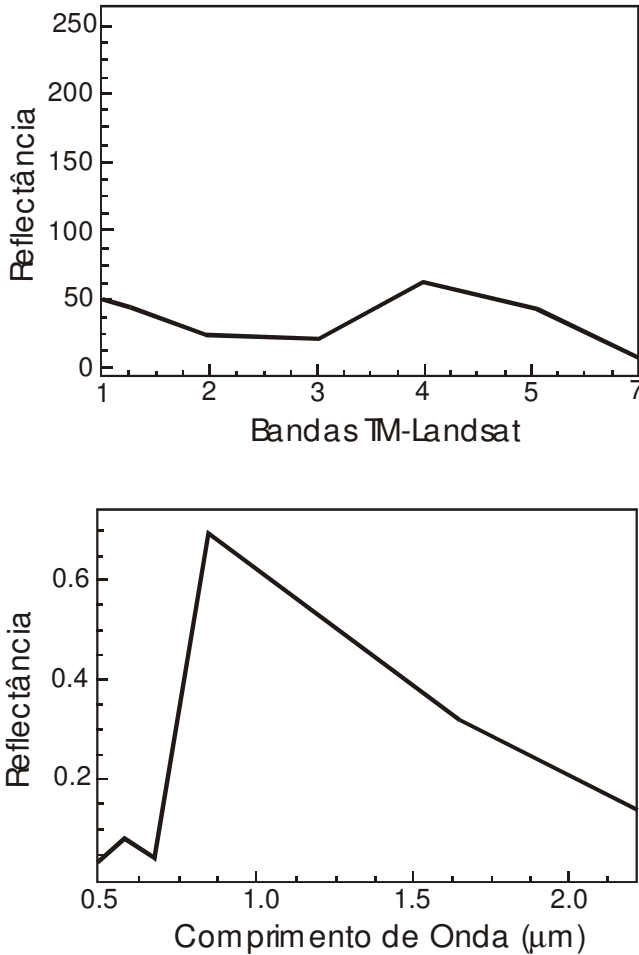
Portanto, para minimizar as variações presentes durante a aquisição das cenas realizou-se a conversão dos valores digitais para a reflectância aparente. Para recuperar os valores de radiância e reflectância aparente é necessário utilizar os parâmetros de calibração radiométrica.

Esses parâmetros são definidos na fase de calibração, que antecede o lançamento do sensor, e são atualizados periodicamente enquanto o sistema está em órbita. A transformação dos números digitais para valores de radiância compensa as diferenças entre ganhos e “*off-sets*” de cada banda espectral. Já a conversão desses valores de radiância em valores de reflectância compensa as diferenças quanto à irradiância solar no topo da atmosfera e o ângulo de incidência da radiação sobre o alvo, no momento da aquisição da imagem. Desta forma, a transformação para dados de reflectância aparente é mais eficiente para reduzir a variabilidade da resposta espectral (Nelson, 1985).

No presente trabalho realizou-se a conversão dos números digitais para a reflectância aparente no topo da atmosfera usando um módulo específico do programa ENVI que utiliza as informações de ganhos e “*offsets*” relativos ao sensor antes do lançamento, a data da imagem e o ângulo de elevação solar.

A **Figura 2** apresenta uma comparação entre os números digitais e os valores de reflectância de um *pixel* de vegetação fotossinteticamente ativa. Desta forma, a falta de correspondência entre os números digitais e a reflectância dos alvos salienta a importância da calibração radiométrica. Além disso, para o emprego da técnica de razão de bandas observa-se que é importante a realização da calibração radiométrica, pois a diferença entre a proporção dos números digitais

em relação aos valores de reflectância demonstra diferenças que podem levar a erros de interpretação (Price, 1987; Bentz, 1990).



**Figura 2** – Comparação das curvas relativas aos números digitais e os valores de reflectância aparente do topo da atmosfera para um *pixel* de vegetação verde para o sensor TM-Landsat 5.



### REALCE DIGITAL PELO EMPREGO DO NDVI

O emprego da razão de bandas apresenta duas finalidades principais: amenizar a influência das condições angulares da geometria de imageamento relativa ao relevo e realçar alvos específicos. Desta forma, o emprego da razão de bandas sobre os dados de reflectância permite diminuir ainda mais o efeito da topografia relativo aos ângulos de elevação e azimute solar (Meneses *et al.*, 1991).

As fórmulas matemáticas que utilizam os valores de reflectância do visível e do infravermelho próximo são conhecidas como índices de vegetação radiométricos, tendo sido propostos para quantificar a vegetação. O índice mais utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1974). A base do NDVI consiste no aumento abrupto da reflectância da vegetação relativa a absorção da clorofila (~0,68 – ~0,73µm). Esta feição consiste numa das mais pronunciadas inclinações encontradas nos espectros naturais (Clark *et al.*, 1995). O NDVI é obtido a partir da seguinte formulação com as bandas dos sensores TM/ ETM<sup>+</sup>:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (1)$$

Onde:

NDVI – índice de vegetação normalizado;

$\rho_4$  – valor de reflectância na banda 4; e

$\rho_3$  – valor de reflectância na banda 5

Com a obtenção das imagens NDVI realizou-se uma composição colorida das três datas de forma a realçar a evolução do uso da terra conforme a lógica de formação de cores (Ippoliti *et al.*, 1998). A partir das imagens de NDVI foi gerada uma composição colorida com a seguinte distribuição: 1986 (vermelho), 1996 (verde) e 1999 (azul). Desta forma, as cores presentes na imagem podem ser esquematizadas segundo a **tabela 1**.

Tabela 1 – Distribuição de Cores			
	1986 (R)	1996 (G)	1999 (B)
vermelho	x		
amarelo	x	x	
verde		x	
ciano		x	x
azul			x
magenta	x		x
branco	x	x	x

Nessa tabela, o “x” indica os mais altos valores de NDVI. As áreas em vermelho correspondem às localidades com valores de NDVI altos em 1986 e as áreas em verde e azul às localidades com altos valores em 1996 e 1999, respectivamente. Para as cores secundárias temos a conjunção de duas datas com valores altos, por exemplo, as áreas em ciano correspondem às áreas com altos valores de NDVI em 1996 e 1999. O mesmo procedimento é válido para as demais cores secundárias. As áreas que se mantiverem constantes ao longo do tempo recaem sobre o eixo acromático, aparecendo na imagem em tons de cinza que variam do branco ao preto. Desta forma, as áreas em branco correspondem às localidades com altos valores de NDVI nas três datas, ou seja, áreas que mantiveram vegetação densa nesses períodos. Como foi possível constatar pela

imagem gerada, o presente procedimento permite integrar em uma única imagem os eventos e a dinâmica de uso para diferentes datas. Esta técnica permite a visualização da dinâmica de forma fácil e direta na análise do imóvel.

### ANÁLISE DO DESVIO PADRÃO

Com o propósito de realçar as áreas com maiores variações de uso ao longo do tempo foi desenvolvido um algoritmo que realiza o cálculo do desvio padrão para os NDVI's nas diferentes datas, para cada *pixel*. O algoritmo foi desenvolvido em linguagem IDL, rodando dentro do programa ENVI como um dos seus aplicativos (ENVI, 1997). A formulação da medida de dispersão pode ser expressa como:

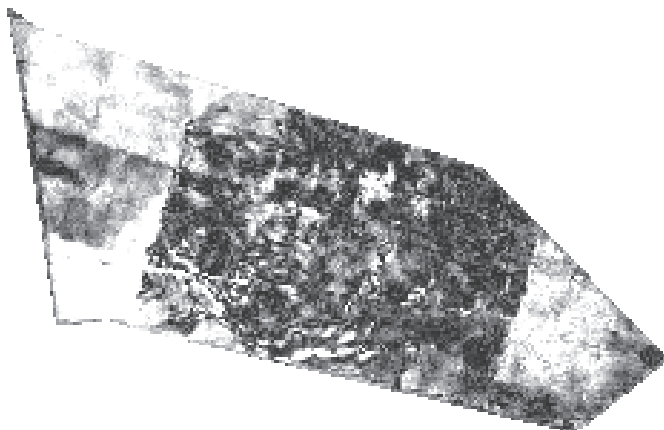
$$s = \sqrt{\frac{(NDVI - média(NDVI))^2}{n}} \quad (2)$$

Os valores mais altos representam as áreas que sofreram maior variação ao longo do tempo sendo um indício de um maior manejo, em contraposição, os níveis de cinza com valores mais baixos representam as áreas que se mantiveram mais constantes.

A **Figura 3** apresenta a imagem relativa ao desvio padrão dos índices NDVI das diferentes datas. Observa-se que as áreas com valores mais altos estão localizadas nos extremos do imóvel. A análise conjunta da imagem do desvio padrão e da composição colorida relativa aos NDVIs permite compreender a dinâmica de uso do imóvel.

## CONCLUSÃO

O emprego da análise multitemporal consiste numa importante ferramenta que pode ser utilizada para subsidiar a fase judicial da obtenção de terras para fins de Reforma Agrária. A metodologia proposta neste trabalho possibilitou a comparação de imagens de diferentes datas e a obtenção de informações de forma rápida e criteriosa. A composição colorida das imagens NDVIs é bastante elucidativa e de fácil compreensão. O programa para a formulação do desvio padrão entre as imagens evidenciou as áreas de modificação. Essa análise deve ser complementada com a quantificação das áreas e sua disposição em gráficos para subsidiar a fase de obtenção de terras.



**Figura 3** - Imagem de Desvio Padrão entre as imagens NDVI de 1986/1996/1999.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alencar, A. A. C., Vieira, I. C. G., Nepstad, D. C. & Lefebvre, P. (1996). Análise multitemporal do uso do solo e mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da Amazônia Oriental, in: *CD-ROM do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador (BA), Brasil.
- Bentz, C. M. (1990). Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM/Landsat – 5 em reflectâncias. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos (SP), Brasil.
- Brondízio, E. S., Morán, E. F., Mausel, P. & Wu, Y. (1993). Dinâmica da Vegetação do Baixo Amazonas: Análise Temporal do Uso da Terra Integrando Imagens Landsat-TM, Levantamento Florístico e Etnográfico, in: *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba (PR), Brasil, Vol. 2, 38-46.
- Clark, R. N., King, T. V. V., Ager, C. & Swayze, G. A. (1995). Initial Vegetation Species and Senescence/Stress Indicator Mapping in the San Luis Valley, Colorado, Using Imaging Spectrometer Data, in: *Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publ. 95-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1, p.35-38.
- ENVI®. (1997). *Tutorials better solutions* Consulting Limited Liability Company Lafayette, Colorado, USA, 370pp.
- Ippoliti, G. A., Epiphanyo, J. C. N. & Shimabukuro, Y. E. (1998). Utilização de Sensoriamento remoto na previsão de área a ser plantada com culturas de verão em três municípios do Estado de São Paulo, in: *CD-ROM do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos (SP), Brasil.
- Meneses, P. R.; Sano, E. E. & Assad, E. D. (1991). Introdução ao processamento de imagens digitais de satélites de sensoriamento remoto. Editora da UnB, Brasília, 98p.

- Morán, E. F., Brondízio, E. S. & Mausel, P. (1994). Secondary Succession. *Research & Exploration*, 10(4):458-476.
- Nelson, R. F. (1985). Reducing Landsat MSS scene variability. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*, 51 (5): 583-593.
- Price, J. C. (1987). Radiometric calibration of satellite sensors in the visible and near infrared: history and outlook. *Remote Sensing of Environment*, 22 (1):3-9.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement of natural vegetatio, NASA/GSFC Final Report, Greenbelt, MD, 371p.
- Sader, S. A., Stone, T. A. & Joyce, A. T. (1990). Remote Sensing of Tropical Forests: An Overview of Research and Applications Using Non-Photographic Sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56 (10) 1343-1351.
- Venturieri, A., Watrin, O. S., Rocha, A. M. A. & Silva B. N. R. (1998). Avaliação da Dinâmica da Paisagem da Ilha do Mosqueiro, Município de Belém, Pará, in: *CD-ROM IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos (SP), Brasil.
- Watrin, O. S., Santos, J. R.. & Valério Filho, M. (1996). Análise da Dinâmica na Paisagem do Nordeste Paraense Através de Técnicas de Geoprocessamento, in: *CD-ROM VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador (BA), Brasil.
- Watrin, O. S., Venturieri, A. & Sampaio S. M. N. (1998). Análise Multitemporal do Uso da Terra e suas Interrelações com a Cobertura Vegetal em Comunidades Rurais do Nordeste Paraense, in: *CD-ROM IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos (SP), Brasil.