



Uso de imagens NDVI e Modelo de Mistura Espectral para o monitoramento de Savanas no município de Santarém-PA.

Ana Sofia Sousa de Holanda, LASERS / HSTM / UFPA, Brasil

Carlos Eduardo Guerra, LASERS / UFPA, Brasil

Chieno Suemitsu, LASERS / HSTM / UFPA, Brasil

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The savannas of the Santarém region are located within a region of ecological tension among forests. These areas of savannas occur in small areas, often isolated, forming mosaics of vegetation ranging from forests to open savanna. In years with higher rainfall, the savanna area tends to recede as forest-forming species colonize the area. The passage of fire in the dry season (September-October) influences savanna dynamics by tending to expand the area of savanna. The monitoring of these areas can be enhanced using the methods of remote sensing. The objective of this work is to detect and monitor the vegetation dynamics in these areas using satellite images to calculate vegetation index (IV) and image-fraction (IF) linear model of spectral mixing. We obtained satellite images of Landsat-5 TM and CBERS-2 CCD covering the years of 1986, 1996 and 2006 and implemented a series of radiometric transformations, conversion of ND (digital numbers) for physical values of radiance and surface reflectance, radiometric correction and standardization to enable the analysis of vegetation cover and its dynamics. As a result of the study, we hope to identify changes in vegetation cover resulting from the dynamics of these savannas as well changes caused by human activities.

Resumo

As savanas da região de Santarém estão inseridas em uma região de tensão ecológica entre florestas. Essas áreas de savanas ocorrem em pequenas extensões, geralmente isoladas, formando mosaicos de vegetação variando de florestas abertas a savanas. Em anos com maior índice pluviométrico, sua área tende a recuar dando espaço a espécies formadoras de florestas. A passagem do fogo nos meses mais quentes (setembro-outubro) influencia sua dinâmica tendendo a expandir a área savânica. O monitoramento dessas áreas pode ser otimizado utilizando-se de métodos de sensoriamento remoto. O objetivo deste trabalho é detectar e monitorar a dinâmica da vegetação nessas áreas através de imagens

índice de vegetação (IV) e imagens-fração (IF) do modelo linear de mistura espectral. Foram obtidas imagens do satélite Landsat-5 TM e CBERS-2 CCD referente aos anos de 1986, 1996 e 2006 e aplicada uma série de transformações radiométricas, conversão de ND (números digitais) para valores físicos de radiância e reflectância de superfície, correção e normalização radiométrica a fim de permitir a análise da cobertura vegetal e sua dinâmica. Como resultado de estudo esperamos identificar mudanças na cobertura vegetal resultantes da dinâmica dessas savanas bem como mudanças causadas pela ação antrópica.

Introdução

As áreas de Savanas apresentam intensas mudanças na sua cobertura vegetal, associadas ao regime pluviométrico da região, a dinâmica natural da sua vegetação, e à ação antrópica (agricultura, ocupação, etc.). Estas mudanças podem ser detectadas e monitoradas através da análise de imagens orbitais, transformadas em imagens índice de vegetação (IV) e imagens-frações (IF) obtidas por meio do uso do modelo linear de mistura espectral.

Segundo Shimabukuro *et al.* (1998) as imagens frações contêm informações sobre componentes puras, como vegetação, solo, sombra e água; e quando comparadas com as IV's, são menos sujeitas as variações de fatores como condições de iluminação da cena e de variações atmosféricas.

Este estudo tem como objetivo avaliar a contribuição das imagens índice de vegetação (IV) e imagens frações (IF) do modelo linear de mistura espectral no monitoramento da dinâmica da vegetação da Savana do Juá região de Santarém-Pa.

Material e Métodos

Área de estudo

A Savana do Juá está localizada a 2º 26'49.96" Sul e 54º 46'57.22" Oeste; a cerca de 7,5 km da região central da cidade de Santarém-Pa. A região possui uma diversidade de ambientes em um espaço relativamente pequeno (cerca de 1000 ha.), apresenta solo arenoso cinzento, enriquecido com matéria orgânica, terreno de ondulação

suave nos morros e baixadas planas cortadas pelo igarapé de Juá, formando igapós e áreas de várzea nas porções mais próximas ao rio Tapajós (NASCIMENTO, 2005).

Nos meses mais quentes (setembro-outubro) quando a vegetação está mais seca, parte da área é atingida pelo fogo que carboniza a base dos troncos e consome a folhagem das gramíneas, sendo este ciclo de extrema importância para a manutenção da própria savana. Nascimento (2005) relata que nos anos em que o fogo foi combatido com sucesso, houve menor renovação da comunidade herbácea e favorecimento do crescimento de árvores, que invadem o perímetro da savana transformando-a em floresta.

Como dados, foram utilizadas três imagens, sendo uma do sensor CBERS 2 (CCD_20060902) órbita/ponto 167-103 e duas do LANDSAT 5 (TM_19860814 e TM_19960708) órbita/ponto 227-62, obtidas no catálogo de imagens do INPE.

Antes da aplicação do Índice de Vegetação e do Modelo linear de mistura espectral foi necessária a conversão dos números digitais (ND) da imagem para valores físicos de radiância aparente e reflectância de superfície. Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007) tal conversão tem como objetivo permitir a caracterização espectral, bem como a elaboração de cálculos que incluam dados de diferentes bandas espectrais ou de diferentes sensores.

Conversão de número digital (ND) para radiância aparente (Lo)

A conversão dos ND para radiância (Lo) das imagens do sensor Tm foram determinadas segundo a equação citada por Ponzoni *et al.* (2005):

$$Lo(\lambda) = ND(\lambda) - \text{offset}(\lambda) / G(\lambda),$$

onde:

Lo(λ) = radiância na banda (λ);

ND(λ) = valores de ND na banda (λ);

offset(λ) = quantidade de valores de ND suficiente para compensar a chamada corrente escura do detector;

G(λ) = ganho na banda (λ).

Os valores de G(λ) e offset (λ) para cada banda do sensor TM podem ser encontrados no site do INPE.

A imagem do sensor CCD foi convertida para de ND para Lo através da equação utilizada por Ponzoni *et al.* (2005).

$$Lo(\lambda) = ND(\lambda) / CC(\lambda),$$

sendo:

Lo(λ) = radiância na banda(λ);

N(λ) = valor de ND médio para o pixel central na banda (λ).

CC(λ) = coeficiente de calibração.

Conversão de radiância aparente (Lo) para reflectância bidirecional aparente (FRB aparente)

A equação utilizada na conversão de Lo para FRB aparente, foi a de Markham e Barker (1986) *apud* Ponzoni e Shimabukuro (2007).

$$pa = \frac{\pi \cdot Lo(\lambda) \cdot d^2}{E_{sun}(\lambda) \cdot \cos\theta},$$

onde:

pa = FRB aparente;

Lo(λ) = radiância na banda(λ);

d = distância Sol-Terra em unidades astronômicas;

E_{sun}(λ) = Irradiância média do sol no topo da atmosfera;

θ = ângulo solar zenital.

Correção atmosférica

A partir das imagens de reflectância aparente (FRB aparente) foi feita a minimização dos efeitos da atmosfera utilizando-se o modelo de transferência radiativa (*Second Simulation at the Satellite Signal in the Solar Spectrum-6S*). De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), a aplicação deste e outros modelos de transferência radiativa resultam em uma imagem denominada de Reflectância de Superfície, ou seja, são estimados os valores de reflectância bidirecional dos objetos presentes na superfície terrestre, tornando-se possível a caracterização espectral desses objetos.

Normalização radiométrica

Após a obtenção dos valores de reflectância de superfície através da correção atmosférica, aplicou-se o método de normalização radiométrica proposto por Hall *et al.* (1991), este método visa minimizar as influências de variações não lineares da sensibilidade dos detectores ao longo do tempo e de variações na geometria de iluminação, para melhor comparar as imagens obtidas ao longo do tempo. Para realização desse método são necessários dois passos: o primeiro é a aquisição de um conjunto de dados controle caracterizado pela baixa ou nenhuma variação em seus valores de reflectâncias média entre as imagens; e o segundo trata-se de determinação empírica dos coeficientes para transformação linear de todas as imagens em relação aos dados de referência.

Os dados de referência são compostos por um conjunto de pixels claros (dados radiométricos claros) e pixels escuros (dados radiométricos escuros) pertencentes a áreas não vegetadas. A equação para a normalização é dada pelas seguintes transformações lineares:

$$Ti = m_i \cdot x_i + b_i,$$

onde:

T_i = número digital da imagem retificada;

x_i = número digital da imagem original;

m_i = (B_{ri} - D_{ri}) / (B_{si} - D_{si});

b_i = (D_{ri} · B_{si} - D_{si} · B_{ri}) / (B_{si} - D_{si});

e onde:

B_{ri} = média do conjunto de referência clara;

D_{ri} = média do conjunto de referência escura;

B_{si} = média do conjunto claro a ser normalizado;

Ds_i = média do conjunto escuro a ser normalizado;
 i = bandas utilizadas.

Imagens índice de vegetação

As imagens índice de vegetação são utilizadas para avaliar o vigor da vegetação, auxiliar na detecção de desmatamentos, monitoramento da cobertura vegetal, avaliação de queimadas, produção agrícolas, entre outras. O fundamento dos diversos índices de vegetação está na utilização das propriedades espectrais da vegetação, na região do vermelho e infravermelho próximo (COELHO *et al.* 2007).

Na **Figura 1 (A) e (B)** temos as imagens da área de estudo nas bandas do vermelho e infravermelho próximo. A **Figura 1 (C)** mostra claramente a distribuição das reflectâncias no espaço bidimensional (vermelho x infravermelho próximo), onde observamos um padrão que depende das propriedades espectrais dos objetos observados nas imagens. A figura, do gráfico em questão, assemelha-se a um triângulo. No vértice localizado no canto inferior à esquerda, aglomeram-se os pixel's com baixos valores de reflectâncias no vermelho e no infravermelho próximo, representando os corpos d'água e regiões sombreadas. No vértice extremo à direita temos uma região de altas reflectâncias no vermelho, representando zonas de baixa cobertura vegetal. Finalmente, no canto superior à esquerda temos uma zona com altas reflectâncias no infravermelho próximo, representando regiões com alta densidade de vegetação.

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), proposto por Rouse *et al.* (1973), é uma operação aritmética simples e muito utilizada atualmente para estudos do comportamento espectral, caracterização e monitoramento da vegetação bem como detecção e avaliação de desmatamentos.

O princípio do índice consiste na exploração do comportamento espectral da vegetação na região do vermelho, que apresenta baixa reflectância e na região do infravermelho próximo, que apresenta alta reflectância, Shimabukuro *et al.* (1995). Com o aumento quantitativo da vegetação, a reflectância na região do vermelho tende a diminuir, enquanto no infravermelho próximo, tende a aumentar.

Os valores obtidos com NDVI variam entre -1 e +1. Em cenas com vegetação, o NDVI, geralmente, varia entre 0,1 e 0,8 conforme sua arquitetura, densidade e umidade (ESPIG *et al.* 2006). Em áreas onde a vegetação é relativamente escassa, em savanas, por exemplo, esses valores tendem a diminuir aproximando-se de zero.

A equação utilizada para o cálculo do NDVI é dada por:

$$NDVI = \frac{R2 - R1}{R2 + R1},$$

onde:

R1= reflectância da banda na região do vermelho;

R2= reflectância da banda na região do infravermelho próximo.

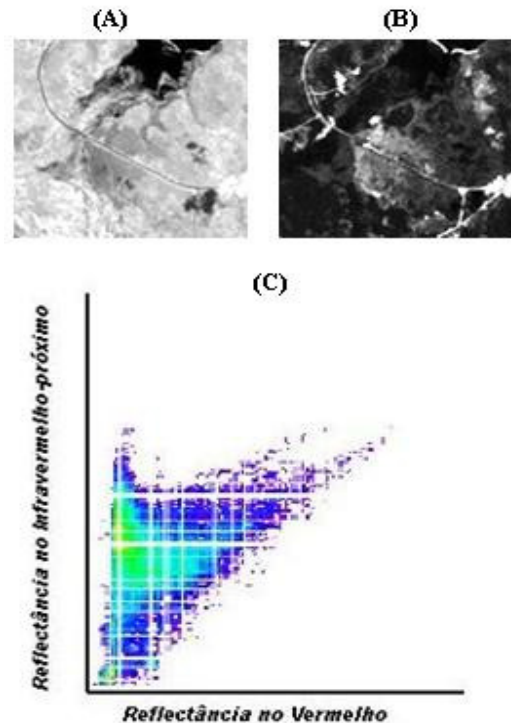


Figura 1: Imagem na banda do Infravermelho Próximo em (A), na banda do Vermelho em (B) e (C) gráfico de dispersão do IPV x Vermelho produzido pelo software ENVI 4.3.

Aplicação do modelo linear de mistura espectral para obtenção das imagens-frações.

Dentro de um pixel podem estar incluídos diferentes objetos ou elementos da cobertura superficial (água, solo, vegetação, entre outros), portanto, a radiância média desse pixel é representada pela mistura destas componentes, a que atribuímos o termo mistura espectral. A proporção destas componentes pode ser estimada utilizando-se uma relação linear para representar a mistura espectral.

Segundo Shimabukuro *et al.* (1998), se a resposta espectral das componentes é conhecida, suas proporções podem ser estimadas. Do mesmo modo que se as proporções das componentes são conhecidas podemos obter suas respostas espectrais.

Neste trabalho, foram geradas as imagens-frações obtendo-se a resposta espectral das componentes, diretamente das imagens. O modelo linear de mistura espectral pode ser escrito como:

$$r_i = a \cdot \text{vege}_i + b \cdot \text{solo}_i + c \cdot \text{água}_i + e_i$$

onde:

r_i = resposta do pixel na banda i ;

a = proporção de vegetação;
b = proporção de solo;
c = proporção de sombra ou água;
vege_i = resposta espectral do componente vegetação na banda *i*;
solo_i = resposta espectral do componente solo na banda *i*;
água_i = resposta espectral do componente sombra ou água na banda *i*;
e_i = erro na banda *i*,
i = bandas.

Análise dos resultados

A **Figura 2** apresenta um gráfico com os valores de NDVI das imagens referentes à região do Juá antes e após o processo de normalização radiométrica. Neste gráfico, observa-se uma redução dos índices de vegetação de 0.61 em 08/1986 para 0.50 em 09/2006, ou seja, uma queda de 0,11 nos índices de vegetação; o que pode significar perda de cobertura vegetal ao longo de 20 anos. No mesmo gráfico, nota-se que os valores de NDVI antes do processo de normalização radiométrica são maiores que os valores obtidos após normalização dessas imagens. Isso pode ser atribuído a variações não lineares na sensibilidade dos sensores ao longo do tempo bem como variações na geometria de iluminação dos satélites.

A **Figura 3** mostra uma composição colorida da imagem mais recente deste trabalho 09/2006 e as imagens NDVI juntamente com as escalas de valores correspondentes. Houve uma diminuição do NDVI no decorrer dos anos, assumindo valores cada vez mais negativos. A savana do Juá no ano de 2006 apresenta valores entre -0.2 a 0.4, que caracterizam valores baixos de índice de vegetação, por se tratar de um ecossistema com baixa cobertura vegetal. Observa-se também dentre esse período de 20 anos, baixos valores de NDVI em algumas áreas ao longo da rodovia Eng. Fernando Guilhon. Esses baixos índices devem-se a diminuição da cobertura vegetal por consequência de ações antrópicas como construção de estradas e ocupação de algumas áreas ao longo destas estradas. As imagens frações permitem visualizar com clareza as feições solo e áreas com baixa cobertura vegetal, contribuindo para uma melhor interpretação das imagens NDVI nestas regiões (savanas, por exemplo). As interpretações das imagens NDVI podem ser melhor entendidas e validadas através da comparação com as imagens frações, como no caso da **Figura 4**, onde houve diminuição na fração água em 2006, aumento da fração solo e consequentemente uma redução dos valores de NDVI.

Finalmente, para uma melhor caracterização e estudo das áreas de savanas, no que se refere a sua dinâmica, serão necessários a obtenção de um conjunto maior de imagens, que cubra os períodos de seca e chuva em anos consecutivos e não apenas no espaço de dez anos.

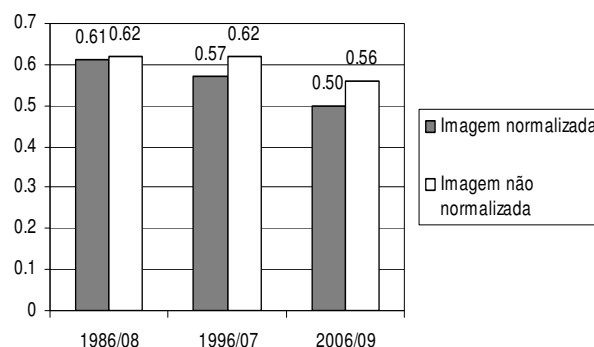


Figura 2: Valores NDVI das imagens normalizadas e não normalizadas.

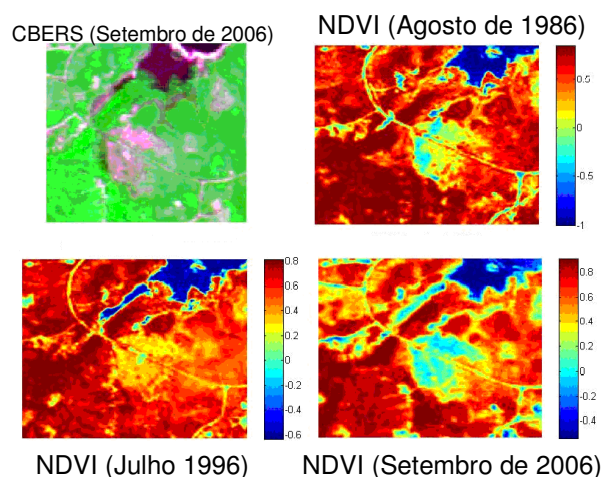


Figura 3: Composição RGB - Banda 3 (vermelho), 4 (verde) e 2 (azul) - da imagem CBERS-2-CCD de setembro de 2006 e NDVI correspondente aos meses de agosto/1986, julho/1996 e setembro /2006, e a escala NDVI.

Conclusões

Na **Figura 4**, foram utilizadas as imagens frações solo, água e vegetação para corroborar os dados das imagens NDVI. Observa-se uma redução dos índices da vegetação (região em amarelo) nas imagens NDVI's nos anos de 1986 a 2006. Uma pequena diminuição na fração solo foi observada na imagem 1996, isso pode ser atribuído ao relativo aumento da fração água observada no mesmo período, que deixa o solo mais úmido e diminui sua reflectância. Entre o período de 1996 e 2006, as imagens frações água sofreram uma redução, que pode ser corroborada pelo aumento da fração solo correspondente e numa consequente diminuição dos índices de vegetação em 2006.

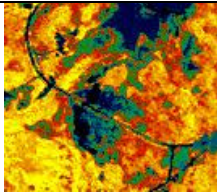
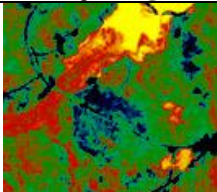
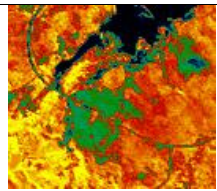
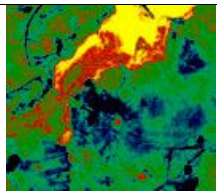
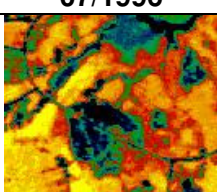
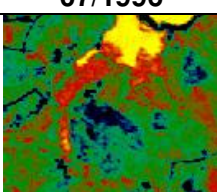
Fração vegetação	Fração água
	
08/1986	08/1986
	
07/1996	07/1996
	
09/2006	09/2006

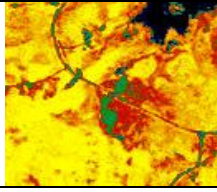
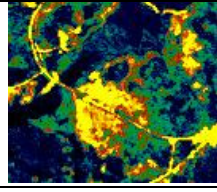
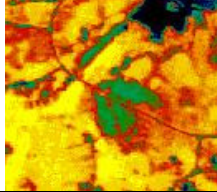
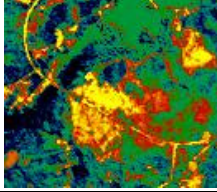
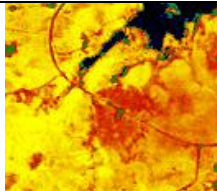
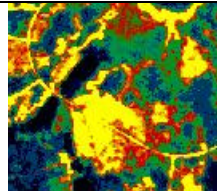
Imagem NDVI	Fração solo
	
08/1986	08/1986
	
07/1996	07/1996
	
09/2006	09/2006

Figura 4: Mostra uma composição colorida das imagens NDVI e imagens fração solo, água e vegetação dos períodos de 08/1986, 07/1996 e 09/2006, derivadas do modelo linear de mistura espectral.

Agradecimentos

Ao Dr. Flávio Ponzoni da Divisão de Sensoriamento remoto do INPE, pelo auxílio com o programa de correção atmosférica, normalização das imagens e sugestões sobre a metodologia do trabalho. Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto de Santarém (LASERS) por possibilitar a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Coelho, F. A., A. C. P. Filho; L. M. M, Albuquerque. Comportamento sazonal da cobertura do vegetal no estado de Mato Grosso do Sul. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal: 327-333 p. 2006.

Espig, S. A.; J. V. Soares; J. R, Santos. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal 2006.

INPE - Divisão de geração de imagens. (<http://www.dgi.inpe.br/html/radiometria-TM.htm>)

NASCIMENTO, C, M, N. Nectários extra florais em plantas da savana do Juá região de Santarém-PA. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Pará. 2005.p.22-24.

Ponzoni, F. J. e Y. E. Shimabukuro. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São Paulo. 2007.

Ponzoni, F. J.; J. Z. Junior; R.A.C, Lamparelli. Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: 1067-1074 p. 2005.

Rouse, J.W.; Haas, R. H.; Schell, J.A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p.309-317.

Shimabukuro, Y. E.; E. M. Novo; F.J, Ponzoni. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL NO MONITORAMENTO DA REGIÃO DO PANTANAL. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, n. Numero Especial, p.1729-1737. out. 1998.