

Potencialidade das imagens-fração multitemporais TM/Landsat na caracterização de variações fenológicas em área de floresta tropical na Amazônia

Jane Delane Verona
Yosio Edemir Shimabukuro
João Roberto dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
jane, primatel.com.br
{yosio, jroberto@ltid.inpe.br}

Abstract: The present work was made at Tapajós National Forest (Pará-Brazil), with the aim of validating the hypotheses that the ombrophile dense forest (from low lands and submontains) can show phenology variations perceptible from orbital data (multitemporal and multiseasonal TM/Landsat-5 images). In this context, the aim was to relate values derived of the fraction-components “vegetation”, “soil” and “shadow” (resultant from the Linear Spectral Mixture Model) and from NDVI, with precipitation values. Stages of geometric and radiometric rectification were initially realized. Seven thematic classes were defined with field work support and several correlations were established. A higher correlation coefficient ($R = 0.94$) was found for the average of the forest cover classes derived from the fraction-image “vegetation” *versus* “precipitation”, showing that the local vegetation responds to the climatic variation, possibly expressed through phenology. The NDVI practically did not show any correlation with the precipitation values, possibly due to a quick saturation in forest environment.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, linear mixture model, phenology, climatic change, precipitation, sensoriamento remoto, processamento de imagens, modelo linear de mistura espectral, fenologia, mudanças climáticas, precipitação.

1. Introdução

A preocupação à cerca das mudanças climáticas tem movimentado a comunidade científica. Evidências apontam que atividades industriais e agropecuárias estão acelerando mudanças no clima e contribuindo com a expansão de áreas desertificadas, acarretando no aumento no nível dos oceanos, diminuição da camada de ozônio, chuva ácida e perda da biodiversidade (Anderson et al., 2003).

Alguns estudos relacionados à fenologia vegetal têm direcionado importantes questões à respeito de modelagens globais, monitoramento e mudanças climáticas (Schwartz, 1999). Outros sugerem que a fenologia da vegetação além de funcionar como guia a processos de mudanças climáticas (Asner et al., 2000), também auxilia na descrição de elementos da paisagem, seja local ou regional, melhorando também a classificação de fisionomias vegetais (Schriever e Congalton, 1995; Bohlman et al., 1998).

Dada a imensidão e o difícil acesso em áreas florestais, como o caso da floresta Amazônica, as imagens de satélite oferecem uma única saída. Almeida e Batista (1998) sugerem que o estabelecimento de uma relação entre precipitação e fenologia da vegetação, oferecida por meio de sensores remotos, pode servir ainda para fornecer informações complementares sobre a precipitação em locais onde existem poucas estações meteorológicas. Estes autores, juntamente com Asner et al. (2000) e Gurgel et al. (2003), buscaram relações entre o NDVI (índice de vegetação diferença normalizada) sazonal e a precipitação, em escalas globais obtidas pelo AVHRR/NOOAA, porém as correlações não foram significativas.

Neste sentido, o sensor MODIS apresenta uma alternativa melhor que os produtos AVHRR/NOAA, por apresentar melhor resolução espacial (250 metros), e tenderem a ser mais confiáveis (Shimabukuro et al., 2001). Além disso, como já observado pelos autores Shimabukuro et al., (2001), em trabalhos anteriores realizados nas áreas testes do LBA (Tapajós e Brasília), as imagens EVI do MODIS apresentam um range dinâmico maior, o que favorece a discriminação dos tipos de cobertura vegetal e transições sutis entre elas.

Estudos de fenologia vegetal em floresta Amazônica em escalas regionais e locais, observados por sensores remotos de melhor resolução espacial, como o caso dos TM/Landsat (30 metros), ainda são muito escassos (Bohlman et al., 1998; Verona, 2002). Isto porque a revisita do sensor a uma área no terreno ocorre a cada quinze dias, resultando em baixas probabilidades de se obter imagens sem cobertura de nuvens, como verificado por Asner (2001).

Segundo Bohlman et al. (1998), imagens de satélites que integram as copas das árvores individuais e cobrem uma grande área facilitam testes de fenologia da copa ao nível da floresta. Estes autores avaliaram a variabilidade da radiância no infravermelho (bandas 4 e 5 do TM) de alguns tipos de vegetação, a partir de uma série sazonal de três imagens do TM/Landsat, da estação úmida à estação seca em Marabá, Brasil (Amazônia oriental), e demonstraram que uma série de imagens pode fornecer informações sobre as mudanças temporais na vegetação e direcionar estudos de campo sobre mudanças sazonais que possivelmente não poderiam ser detectadas no campo.

Shimabukuro et al. (2001), afirmam a necessidade da utilização conjunta dos dados MODIS e TM/ETM+ para complementar a funcionalidade desse novo sensor. Assim, estes autores acreditam que tanto imagens EVI, quanto imagens-fração obtidas por um modelo linear de mistura espectral, geradas para diferentes épocas do ano, podem ser utilizadas para a detecção da variação fenológica da cobertura vegetal, e, as informações do Landsat (TM e ETM+), em conjunto com as informações de campo, podem ser utilizadas para a avaliação e validação dos dados MODIS.

Neste contexto, o intuito desta pesquisa foi validar a hipótese de que se a Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós apresenta variações fenológicas perceptíveis em dados orbitais, estas variações podem se relacionar com a precipitação. Apesar de se tratar de uma zona com baixa amplitude térmica, partiu-se do princípio que a queda na precipitação entre os meses de setembro e outubro pode ser suficiente para causar um sincronismo maior em alguma das fenofases, provocando alterações na resposta do dossel florestal. Deste modo, o objetivo foi relacionar valores oriundos das imagens-fração vegetação, solo e sombra, derivadas da aplicação do modelo linear de mistura espectral em imagens TM/Landsat-5, e de imagens NDVI multi-temporais, com valores pluviométricos.

2. Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região de abrangência da Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós, localizada ao sul da cidade de Santarém, estado do Pará – Brasil. Suas coordenadas geográficas são: 55° 30' a 54° 36' Oeste e 2° 30' a 4° 18' Sul. A rodovia de acesso é a BR-163, que liga a cidade de Cuiabá à cidade de Santarém.

A região em estudo engloba áreas preservadas de Floresta Ombrófila Densa, na qual apresenta as sub-regiões ecológicas dos Baixos Platôs da Amazônia e dos Altos Platôs do Xingu/Tapajós, e uma extensa área com atividades agrícolas e pecuária.

A **Figura 1** mostra a localização da área de estudo.

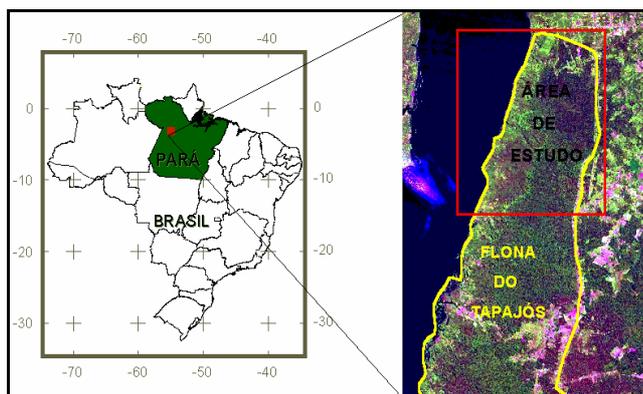


Figura 1: Localização da área de estudo. Composição colorida 345 (agosto de 1999).

3. Materiais e Metodologia

3.1. Materiais

Sete imagens do sensor TM/Landsat-5 foram utilizadas, nas bandas 1 a 5 e 7, órbita 227, ponto 062. As imagens foram escolhidas mediante consulta no banco de imagens do INPE, localizado em Cachoeira Paulista-SP, priorizando imagens de meses diferentes e em anos não muito distantes entre si, sendo descartadas aquelas totalmente encobertas por nuvens.

As datas das imagens que se enquadraram nas exigências foram as seguintes: 24 de maio, 25 de junho, 27 de julho, 13 de setembro e 15 de outubro do ano de 1997, 02 de agosto de 1999 e 05 de dezembro de 1998.

Todos os processamentos digitais sobre as imagens foram realizados no SPRING-3.4 para Windows, descrito por Câmara et al.(1996), com exceção da etapa de retificação radiométrica que foi executada no programa PCI 6.2, em ambiente UNIX.

Sobre as cartas topográficas Boim (AS-21-Z-D-I) e São Jorge (AS-21-Z-D-II), escala 1:100.000, publicadas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG), todas na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)-SAD-69, foram coletados os pontos de controle via mesa digitalizadora, para a fase de retificação geométrica e registro das imagens.

Na verificação de campo realizada em julho de 2000 foram levantados aproximadamente 30 amostras geo-referenciadas, que auxiliaram na interpretação dos dados e na etapa de seleção das amostras dos componentes puros (solo, sombra e vegetação), entrada para o modelo linear de mistura espectral.

Dados sobre os totais de precipitação mensal foram adquiridos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1986-2000), da Estação meteorológica de Belterra, Pará, entre os anos de 1986 e 2000. A cidade de Belterra é a estação mais próxima da área em que foram coletadas as amostras deste trabalho, e fica localizada ao norte da FLONA do Tapajós. A **Figura 2** apresenta a média e a variância dos totais mensais de precipitação entre 1986 e 2000, e os posicionamentos das imagens disponíveis para a validação da hipótese inicial.

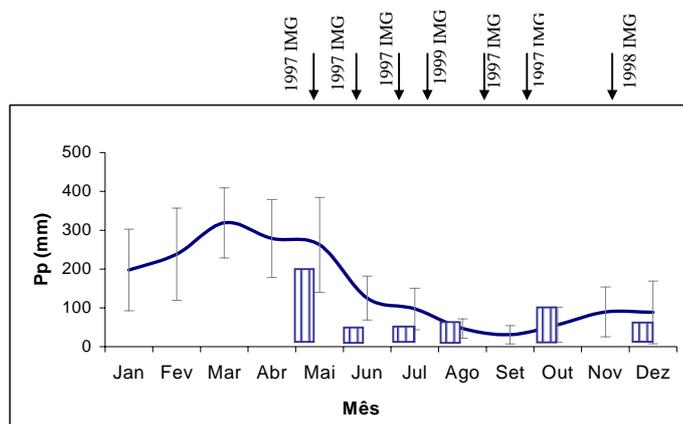


Fig. 2: Média da Precipitação Mensal entre 1986 e 2000, e posicionamento das imagens. OBS: As barras hachuradas indicam o total de precipitação mensal do ano da imagem (note que no mês de setembro não houve chuva). As setas indicam o posicionamento das imagens.

3.2. Metodologia e apresentação dos resultados

A metodologia aqui desenvolvida dividiu-se em cinco fases: (1) pré-processamento, (2) geração das novas bandas (NDVI e imagens-fração), (3) elaboração de duas máscaras (separar floresta de não floresta e editar manualmente áreas com nuvens e sombras de nuvens), (4) escolha das amostras com suporte a trabalho de campo e (5) correlação precipitação com amostras.

Inicialmente as imagens gravadas em CD constando o arquivo <voldir.dat> foram recortadas no programa IMPIMA (módulo do SPRING), e exportadas para o formato do SPRING <.grb>.

3.2.1 Pré-Processamento

Antes de se realizar qualquer processamento sobre as imagens realizou-se a etapa de pré-processamento, que envolveu os seguintes processos: (1) retificação geométrica (correção geométrica e registro); (2) conversão de números digitais para reflectância aparente (ex-atmosférica) e, em se tratando das imagens multitemporais, (3) a retificação radiométrica.

Na etapa (1), as cenas foram corrigidas geometricamente e registradas a um sistema de projeção geográfica (Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, modelo esferoidal SAD-

69). A imagem de agosto de 1999 primeiramente foi registrada via mesa digitalizadora. O interpolador do tipo “vizinho mais próximo” foi utilizado para a determinação do novo valor de nível de cinza, e um polinômio de grau 1 foi utilizado para o ajuste das coordenadas das imagens. As demais imagens utilizaram a de agosto de 1999 como referência (imagem-imagem). Foram aceitos erros inferiores a 1 *pixel*.

Na fase (2) todas as seis bandas (1 a 5 e 7) de cada uma das sete cenas foram exportadas para o formato TIFF e então importadas para o programa PCI-6.2, onde se procedeu a conversão dos números digitais para reflectância aparente, segundo proposto por Markham e Barker (1986).

A última etapa de pré-processamento (3) foi a retificação radiométrica, necessária quando se deseja analisar mudanças entre imagens obtidas em diferentes épocas. Aqui se optou pela retificação radiométrica proposta por Hall et al. (1991).

A partir das imagens reflectância obtidas no item anterior (2), procedeu-se a geração das imagens “Greenness” (GR) e “Brightness” (BR), segundo Kauth e Thomas (1976), ainda no ambiente PCI - v 6.2. Pelo comando scatterplot-2D, foi possível visualizar no plano cartesiano o espalhamento das imagens GR x BR, sendo possível deste modo verificar a similaridade entre as datas, comparando-as antes e após a retificação.

A avaliação da retificação radiométrica foi realizada de três formas: pela análise numérica, também representada na forma gráfica e pelo deslocamento dos níveis de cinza, avaliado pelo gráfico de espalhamento, sempre sendo comparados antes e depois do processo de retificação. Após este procedimento, todas as bandas foram exportadas para o formato TIFF e novamente importadas para o SPRING.

3.2.2 – Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI)

De acordo com Baret e Guyot, (1991), os índices de vegetação ressaltam as diferenças entre o solo e a vegetação, como também reduzem a informação espectral de duas bandas em apenas uma, relacionada às características da vegetação (área foliar, biomassa, produtividade, atividade fotossintética e percentagem de cobertura). O índice utilizado aqui foi índice de vegetação diferença normalizada (NDVI), expresso pela **Equação 1**:

$$\text{NDVI} = (\text{Infravermelho} - \text{Vermelho}) / (\text{Infravermelho} + \text{Vermelho}) \text{ (Eq. 1)}$$

Esta equação gera uma imagem com valores que vão de -1 a +1. Para que estes possam ser visualizados em 256 níveis de cinza (entre 0 e 255), estas imagens foram transformadas, utilizando-se um valor de ganho equivalente a 127 e offset de 128, conforme a **Equação 2**:

$$\text{NDVI} = [(\text{banda 4} - \text{banda 3}) * \text{ganho} / (\text{banda 4} + \text{banda 3})] + \text{offset}; \text{ (Eq.2)}$$

3.2.3 – Modelo Linear de Mistura Espectral

A elaboração do modelo linear de mistura espectral seguiu o modelo proposto por Shimabukuro e Smith (1991). Para a geração das imagens proporção, os valores radiométricos dos componentes puros solo, sombra e vegetação foram determinados, baseados em amostras coletadas em campo com auxílio de um GPS (campanha de julho de 2000). Em seguida o modelo linear de mistura espectral foi processado no SPRING. Neste procedimento, foram utilizadas as informações espectrais das 6 bandas do TM, formando um sistema de equações lineares que foi resolvido pela utilização do estimador MQP (Mínimo Quadrado Ponderado).

O modelo determinado pela imagem de agosto de 1999 foi o mesmo utilizado para as demais datas, uma vez que estas já se encontravam radiometricamente retificadas.

3.2.4 – Máscaras e escolha das amostras

Para garantir a presença de vegetação até a data da imagem mais recente (agosto de 1999), realizou-se uma classificação preliminar automática baseada na metodologia do PRODES DIGITAL (Duarte et al., 1999), onde foram classificadas áreas de floresta e não floresta.

Em seguida, a edição manual sobre as imagens com cobertura de nuvens foi feita sobre as composições coloridas, alternando-se as bandas na composição, para minimizar ao máximo a presença de *pixels* contaminados (o que foi feito observando cada *pixel*).

O mosaico das máscaras de nuvens e sombras reduziu a possibilidade de coleta sobre a área de estudo, como pode ser verificado na **Figura 3**. Ainda assim, as duas máscaras foram cruzadas para evitar pontos contaminados e que não eram vegetação em estágio avançado de sucessão.

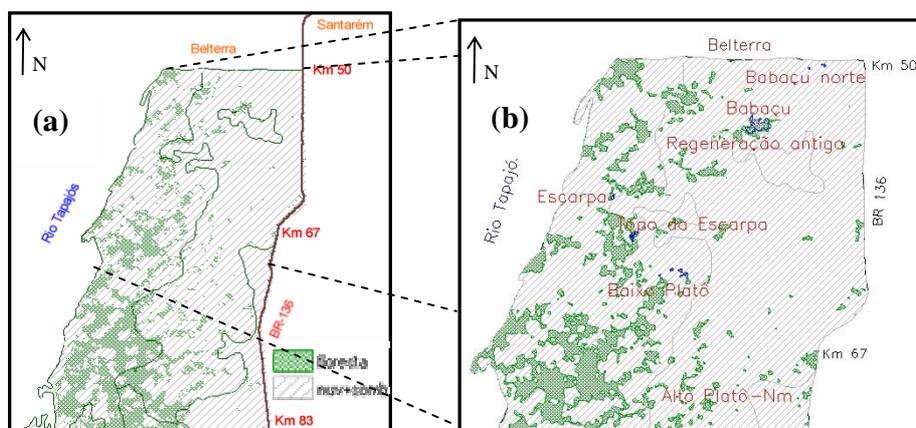


Fig. 3: (a) Máscara de nuvens e sombra de nuvens (em verde áreas de florestas em todas as datas) e (b) localização das amostras florestais analisadas estatisticamente (em azul).

Com base nas informações de campo, mapa de regiões fitoecológicas (RADAMBRASIL, 1976) e cruzamento das máscaras (**Figura 3a**), foram escolhidas sete amostras nas seguintes áreas: 1 – Baixo Platô (BPlt), 2- Regeneração de 20 anos (Reg), 3 – Escarpa (Esc), 4- Babaçu ao extremo Norte (BabN), 5- Topo da escarpa (TopEsc), 6- Babaçu próximo à regeneração (Bab) e 7- Alto Platô Parcela Noemi (APlt), como pode ser visto na **Figura 3b**.

3.2.5 – Correlação das imagens com a precipitação

Os dados de precipitação (**Figura 2**) foram correlacionados com as sete classes vegetais e a média destas, nas quatro bandas (NDVI, FSB, FSL e FVG) multi-temporais (Mai97, Jun97, Jul97, Ago99, Out97 e Dez98), (**Tabela 1**), inicialmente desconsiderando o mês de setembro que apresentou zero de precipitação, pois, apesar de ser um mês com baixa precipitação, não havia sido registrado, em 14 anos de observação (desde 1986), zero milímetros, como no ano de 1997. A última coluna da tabela 2 apresenta a média considerando o mês de setembro, como forma de comparação.

TABELA 1: Correlação entre a precipitação total mensal e as bandas, para cada classe vegetal.

Bandas	1- BPlt	2- Reg	3- Esc	4- BabN	5-TEsc	6- Bab	7- APlt	Média (s/ set97)	Média (c/ set97)
NDVI	0,29	0,28	-0,23	-0,11	0,17	0,09	-0,05	0,04	-0,19
FSB	-0,48	-0,90	-0,65	-0,86	-0,68	-0,70	-0,81	-0,77	-0,41
FSL	-0,32	-0,65	-0,29	-0,34	-0,39	-0,45	-0,10	-0,38	-0,33
FVG	0,78	0,91	0,82	0,91	0,82	0,86	0,93	0,94	0,55

Um *lag* de dois meses para a precipitação foi considerado, e novas correlações foram traçadas, visando comparar com estudos anteriormente realizados, porém não foi encontrada correlação significativa.

4. Discussões e considerações

Observando a **Tabela 1**, em geral, as maiores correlações ocorreram nas imagens FVG, sendo que a média das classes vegetais desconsiderando setembro foi de 0,94. Este valor sugere que a vegetação relaciona-se positivamente com a precipitação, indicando que um possível aumento na quantidade de chuva pode evidenciar que a vegetação responde com um aumento da atividade fotossintética (foliosidade), ou queda de folhas quando a precipitação é baixa.

Incluindo o mês de setembro, notou-se que apesar da correlação ter diminuído, os valores mais altos continuam sendo para a imagem FSB (-0,41) e imagem FVG (0,55).

Um fato interessante observado foi a desprezível correlação encontrada entre precipitação e o NDVI, que no caso para a média das classes vegetais de 0,04 (**Tabela 1**). Uma razão poderia estar no fato deste índice saturar rapidamente em ambiente de floresta, como apontado por Nicholson e Farrar (1994). Gurgel et al (2003) e Almeida et al. (1998) encontraram correlações significativas entre precipitação e NDVI apenas quando foi dado um *lag* de dois meses para a estação chuvosa, ou seja, a vegetação demoraria dois meses para responder ao *stress* hídrico. Assim, pelos resultados obtidos, valores de precipitação se relacionaram com imagens fração, e não se relacionaram com imagens índices de vegetação (NDVI), mesmo quando o *lag* de dois meses foi considerado.

Seria interessante acompanhar imagens mensais, de alguns anos, utilizando para tal sensores com maior resolução temporal, como o caso do MODIS (revisita até diária), oferecendo maior probabilidade de coletar imagens sem nuvens, ou com menor quantidade delas.

O inconveniente desta metodologia está no grande volume de dados gerados, e de se tratar de processamentos que requerem treinamento, tanto na fase de retificação radiométrica, quanto na fase da escolha dos componentes solo, sombra e vegetação. Porém, a interpretação destes dados se torna muito mais simples e direta, por se trabalhar com a estrutura do alvo, mais assimiláveis do que assinaturas espectrais de classes.

Agradecimentos:

Este trabalho está inserido dentro das atividades do Projeto LBA Ecologia (INPE/EMBRAPA/Universidade do Arizona). Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq (processos 300808/94-1 e 300677/91).

5. Referências Bibliográficas

Almeida, E. S. de; Batista, G.T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**. INPE, Imagem Multimídia, 1998. Seção Artigos Oral. Disponível na biblioteca digital URLib: <dpi.inpe.br/lise/2004/07.20.14.26>.

Anderson, L.O.; Latorre, L.R.; Shimabukuro; Arai E.; Carvalho Jr., O. A. Sensor MODIS, uma abordagem geral. São José dos Campos. INPE, 2003. (INPE- 10131-RPQ/752). 58p.

Asner, G.P; Townsend, A.R.; Braswell, B.H. Satellite observation of El Niño effects on Amazon forest phenology and productivity. **Geophysical Research Letters**. v. 27, n.7, p. 981-984, Apr. 2000.

Asner, G.P Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, n. 18,p. 3855-3862. 2001.

- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**. v. 35, n. 2 e 3, p.161-173, 1991.
- Bohlman, S.A.; Adams, J.B.; Smith, M. O.; Peterson, D.L. Seasonal foliage changes in the eastern Amazon basin detected from Landsat Thematic Mapper satellite images. **Biotropica**. v.30, n.3. p. 373-391, 1998.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. C. P. SPRING: Integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modelling. **Computers and Graphics**, v.15, n. 6, p.13-22, 1996.
- Duarte, V., Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R. dos; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Moreira, M.A.; Souza, R.C.M. de; Shimabukuro, R.M.K.; Freitas, U.M. de **Metodologia para a criação de dados digitais da Amazônia - Projeto BADDAM**. São José dos Campos. INPE, 1999. (INPE-7039-PUD/036). 33p.
- Gurgel, H. C.; Ferreira, N.J; Luiz, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. v.7, n.1, p.85-90, 2003 <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em 23 de outubro de 2004.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.1, p. 11-27, 1991.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) **Total de precipitação mensal entre 1986 e 2000**: estação Belterra. Belém - PA: Seção de Observação e Meteorologia Aplicada. Ministério da Agricultura e do Abastecimento – MA. 2001.
- Kaut, R.J.; Thomas, G.S. The tasseled Cap- a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, West Lafayette, IN, 1976. **Proceedings**. Purdue University: LARS, 1976. p.4b41-4b51
- Markham, B.L.; Barker, J.L. **Landsat MSS and TM post calibration on dynamic ranges of exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures**. Lanham: EOSAT, 1986. 21 p. (Landsat Technical notes n. 1).
- Nicholson, S.E.; Farrar, T.J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semi-arid Botswana. I. NDVI response to rainfall. **Remote Sensing of Environment**, (50):107-120, 1994.
- Projeto RADAMBRASIL. **Folha S/A 21- Santarém**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DPNM, 1976. (Levantamento dos Recursos Naturais, v. 10).
- Schriever, J.R.; Congalton R.G. Evaluating seasonal variability as aid to cover-type mapping from Landsat thematic mapper data in the Northeast. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 6, n.1, p.321-327, 1995.
- Schwartz, M.D. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. **International Journal of Biometeorology**. v. 43, n. 3, p. 113-118, 1999.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.
- Shimabukuro, Y.E.; Verona, J. D.; Lacruz, S.P.; Huete, A.; Ferreira, L.; Yoshioka; Sano, E. Avaliação dos dados MODIS para o estudo da cobertura vegetal da Floresta Nacional do Tapajós no estado do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Técnica Oral. p. 1761-1764. Repositório da URLib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.37>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.37>>. Acesso em: 1 jul. 2004.
- Verona, J. D. **Classificação e monitoramento fenológico foliar da cobertura vegetal na região da Floresta Nacional do Tapajós - Pará, utilizando dados multitemporais do sensor Thematic Mapper do Landsat**. . 2002. 159 p. (INPE-9556-TDI/832). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.