

## Determinação de variáveis biofísicas na bacia do rio Pajeú – Pernambuco, Brasil.

Ricardo Rivelino Dantas Ramos<sup>1</sup>  
Hélio Leandro Lopes<sup>1</sup>  
Murilo Santos Freire<sup>1</sup>  
Maria do Carmo Sobral<sup>2</sup>  
Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup>  
Luciano José de Oliveira Accioly<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF  
48902-300 Juazeiro/BA.  
{murilo.s.freire, ricardo.rdramos, heliovasf}@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,  
50670-530 Recife/PE  
{msobral, suzanam}@ufpe.br

<sup>3</sup>Embrapa Solos, UEP-Recife/PE,  
luciano@uep.cnps.embrapa.br

**Abstract.** Exploration of natural resources, such as vegetation in arid and semi-arid areas has led to desertification process, with biomass losses and erosion. This process can be seen through satellite images by modeling biophysical parameters. Such information can be extracted from vegetation index that shows some characteristics related to stage and physiognomy of forests types. This work aims to mapping soil adjust vegetation index and leaf area index, and analyses soil cover and soil use as function of index value. The altitude and soil maps were analyzed relating to interference in the index. This analysis was applied in the Pajeú River Basin, Pernambuco state. Four Landsat images were mosaicked with orbit/point: 215/65, 215/66, 216/65 e 216/66. It was observed that the larger area of the basin has SAVI and LAI next to 0,0, pointing the intensity of exploration of forest resources in the basin, and the highest values are in the mountainous areas and in northeast and west boundaries in the basin, that occurs in altitudes higher than 600 meters. The lowest values of biophysical parameters are related to process of desertification that occurs in the south of the basin. In this areas occurs planosols and luvisols, which are susceptible to erosion process.

**Key words:** SAVI, LAI, Soil cover and soil use, SAVI, IAF, uso e cobertura do solo.

## **1. Introdução**

Há várias décadas, o sensoriamento remoto tem sido utilizado para o mapeamento da superfície terrestre. Seus primeiros produtos eram caros e apresentavam grande restrição temporal e espacial. A partir dos sensores orbitais, tornou-se viável a realização de estudos multitemporais em grandes áreas, e por determinado período de tempo (Freitas et al. 2007).

Segundo NASA (2010), o sensoriamento remoto é definido como um conjunto de instrumentos e técnicas empregados na aquisição e medidas, de informações da superfície terrestre sem o contato físico com o alvo. Para isso, são usados sensores instalados a bordo de plataformas em altitude, os quais coletam a radiação eletromagnética emitida ou refletida por um alvo, convertendo-a em um sinal que é posteriormente processado em terra, para geração de imagens (Almeida, 2010) e que são utilizadas na espacialização de índices de vegetação.

O índice de vegetação mais utilizado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), devido sua acessibilidade e simplicidade. No entanto, este índice é sensível a fatores externos, e apresenta-se saturado em valores altos do LAI. Para suprir suas limitações foram propostos muitos índices para estimar o LAI. Dentre eles, O SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), desenvolvido por Huete (1988), que considera a resposta do solo sobre a vegetação, associando as isolinhas do índice de vegetação com as isolinhas expressas em termos do LAI (Yi et al., 2008). O SAVI é representado pela fórmula do NDVI, mais uma constante L, que varia de 0 a 1, dependendo do grau da cobertura do solo, e a partir do SAVI determina-se o LAI.

Segundo Yi et al. (2008) medidas diretas do LAI são normalmente demoradas e desgastantes. As técnicas indiretas de sensoriamento remoto podem ser a melhor maneira para mapear o LAI. Segundo os autores, uma das formas normalmente usada para estimar o LAI a partir de imagens de sensoriamento remoto, é utilizando equações empíricas entre o LAI e os índices de vegetação.

Considerando a vegetação um parâmetro importante nas respostas hidrológicas em uma bacia hidrográfica; e sua densidade, fisionomias e condição podendo ser determinadas por técnicas de sensoriamento remoto através de índices de vegetação, objetivou-se neste trabalho analisar o comportamento de tais índices no bioma caatinga, de forma a gerar imagens do SAVI e do LAI comparando-os com diversos usos e cobertura do solo, tendo como dados satelitais, imagens do sensor Landsat-TM, aplicados à bacia do Rio Pajeú.

## **2. Material e método**

### **2.1 Área de estudo**

A Bacia Hidrográfica do Pajeú está localizada no estado de Pernambuco e está inserida geograficamente entre as latitudes 9°27' e 11°30' Sul e entre as longitudes 40°22' e 41°30' Oeste. (Figura 1).

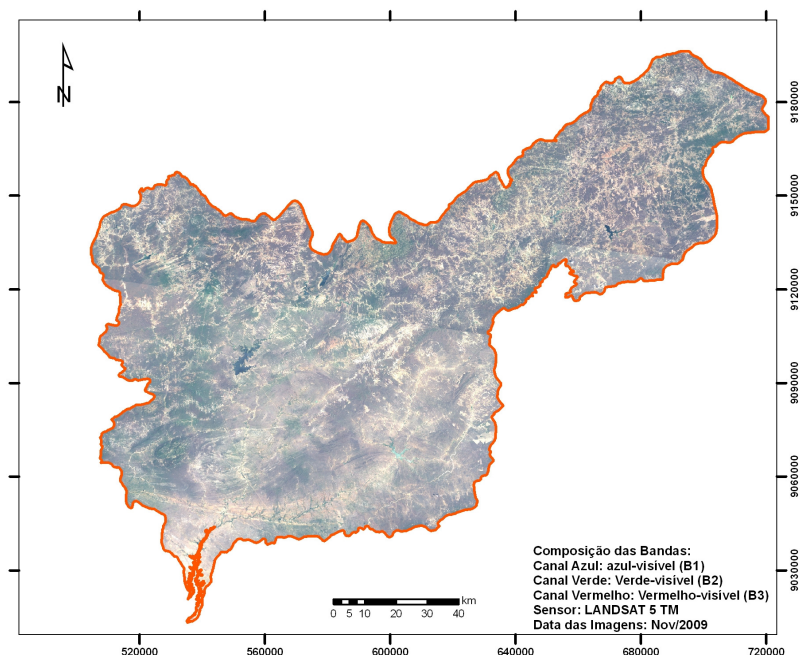


Figura 1. Limite da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, com composição da bandas Landsat 5 TM, 3R, 2G e 1B.

A bacia ocupa uma área de 16.760 km<sup>2</sup>, sendo integrada pelos municípios de Salgueiro, Belém de São Francisco, Verdejante, São José do Belmonte, Mirandiba, Carnaubeira da Penha, Itacuruba, Floresta, Serra Talhada, Tacaratu, Santa Cruz da Baixa Verde, Betânia, Calumbi, Triunfo, Flores, Inajá, Quixaba, Ibimirim, Custódia, Carnaíba, Solidão, Afogados da Ingazeira, Sertânia, Igaraci, Tabira, Ingazeira, Santa Terezinha, São José do Egito, Brejinho, Tuparetama e Itapetim. Tendo como rios principais o Riacho do Navio e o Rio Pajeú, este com 286 km de extensão.

## 2.2 Modelagem dos dados

Para a espacialização dos índices de vegetação, foram utilizadas imagens TM da data de 13/11/2009 e 20/11/2009, orbitas/pontos 215, 216/65, 216, 215/66. Essas imagens foram georreferenciadas, utilizando o software Erdas 9.2, e em seguida, foi realizado o mosaico das mesmas.

Para a determinação do NDVI, calculou-se, inicialmente, a radiância (equação 1) e, em seguida, a reflectância (equação 2) para as bandas 3 e 4 do sensor Landsat 5 TM, na Linguagem Legal do Spring 5.1.6.

$$L_{rad} = L_{i,min} + \left( \frac{L_{i,max} - L_{i,min}}{255} \right) \times NC_i \quad (1)$$

Em que,  $L_i$  é a radiância espectral na banda  $i$  em  $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ;  $L_{i,max}$  e  $L_{i,min}$  os valores de radiância máxima e mínima na banda  $i$ , respectivamente;  $NC_i$  o nível de cinza na banda  $i$ . As constantes de calibração  $L_{max}$  e  $L_{min}$  TM, cujos valores, válidos para imagens geradas após 5 de maio de 2003, de acordo com Chander e Markham (2003), estão representados na Tabela 1.

Após a determinação da radiância para cada banda, calcula-se a reflectância de cada banda ( $\rho_{o,i}$ ), que é obtida pela razão entre a radiação solar refletida e radiação solar incidente em cada pixel, de acordo com a equação 2. Em outras palavras,  $\rho_{o,i}$  representa a porção da

radiação solar de cada banda que é refletida por cada pixel da imagem e o seu cômputo é efetivado pela equação (Allen *et al.*, 2002):

$$\rho_{o,i} = \frac{L_{\text{rad}} \times \pi}{E_{o,i} \times \cos\theta \times d_r} \quad (2)$$

Em que,  $\rho_{o,i}$  é a reflectância espectral na banda  $i$ ;  $d_r$  o inverso do quadrado da distância Terra-Sol em unidade astronômica;  $E_{o,i}$  o valor médio da irradiância solar exoatmosférica na banda  $i$  em  $\text{W.m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$  (constante solar);  $\theta$  o ângulo zenital solar (calculado a partir da informação do ângulo de elevação solar,  $\beta$ , disponível no arquivo cabeçalho da imagem:  $\theta = (90^\circ - \beta)$ ) e  $L_i$  é a radiância espectral na banda  $i$  em  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ .

Em seguida, realizou-se a correção atmosférica pelo método DOS (Dark Object Subtraction), usando o histograma de cada banda para selecionar o pixel mais escuro (Gürtler *et al.*, 2005).

### 2.3 Cálculo do SAVI e LAI

A partir da determinação da reflectância para cada banda, foi possível calcular os índices na LEGAL do software SPRING 5.

O SAVI é um índice de vegetação que visa amenizar os efeitos da superfície do solo, sendo obtido através da equação 3 (Huete, 1988):

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L) \times (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{VIS}})}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{VIS}} + L} \quad (3)$$

onde  $L$  é o fator de ajuste do solo, sendo considerado igual a 0,5.

O cômputo do IAF, que representa a razão entre a área total de todas as folhas contidas em dado pixel, pela área do pixel, é feito por equação empírica conforme Bastiaanssen (2000):

$$\text{LAI} = \frac{1}{-0,73} \times \ln\left(\frac{\text{SAVI} - 0,84}{-0,97}\right) \quad (4)$$

Após a modelagem de cada parâmetro biofísico em cada cena, foi realizado o mosaico e em seguida o recorte da imagem biofísica no formato da bacia do Pajeú.

### 3. Resultados e discussão

A Figura 2 traz informação sobre a distribuição espacial do SAVI onde encontram valores próximos do zero nas margens do rio Pajeú sendo características de solo exposto e áreas degradadas. É observada no mapa do SAVI uma área no centro da bacia com valores mínimos sendo indicativo de área erodidas, enquanto as áreas com maiores valores encontram-se em áreas de elevada altitude conforme visto na região nordeste e oeste da bacia. Nessas áreas ocorrem fisionomias vegetais do tipo “florestada”.

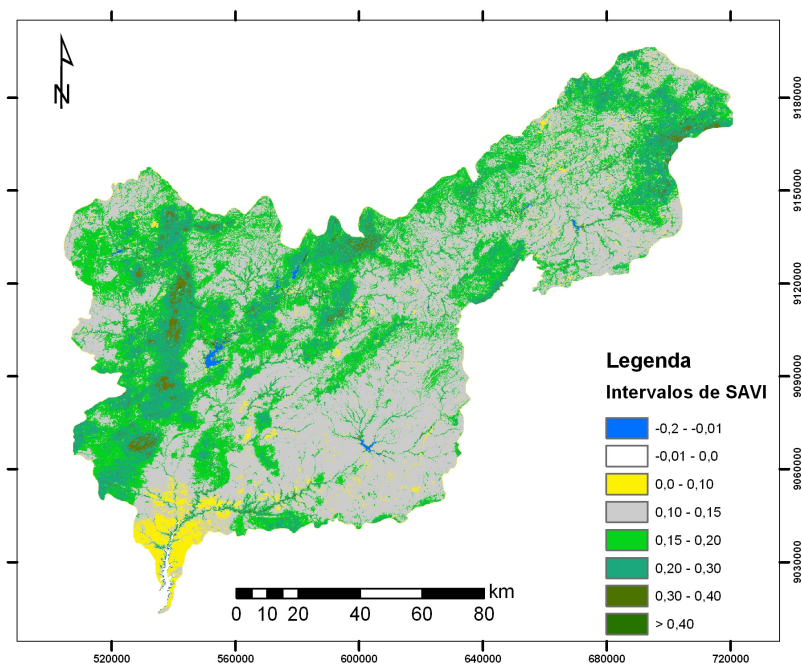


Figura 2. Distribuição espacial do SAVI na bacia Pajeú

Para análise dos resultados referente a classes de uso e cobertura do solo na bacia do Pajeú, foi elaborada uma Tabela contendo os valores estatísticos para cada classe conforme visto a abaixo:

Tabela 2. Estatística descritiva para o SAVI e LAI em função do uso e cobertura do solo

Uso e Cobertura do Solo	SAVI			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Área de Várzea	0,35	0,43	0,38	0,01
Área Degradada	0,08	0,12	0,09	0,01
Área Irrigada	0,23	0,41	0,34	0,04
Caatinga Aberta	0,06	0,10	0,09	0,01
Caatinga Arbórea	0,09	0,21	0,13	0,02
Caatinga Florestada	0,17	0,23	0,20	0,01
Solo Exposto	0,12	0,16	0,13	0,01
Uso e Cobertura do Solo	LAI			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Área de Várzea	0,94	1,11	1,03	0,04
Área Degradada	0	0	0	0
Área Irrigada	0,63	1,12	0,90	0,05
Caatinga Aberta	0,15	0,49	0,34	0,02
Caatinga Arbórea	0,28	0,59	0,36	0,03
Caatinga Florestada	0,84	1,36	1,23	0,03
Solo Exposto	0	0,27	0,19	0,02

De acordo com a Tabela 2, os valores do SAVI variaram de 0,08 a 0,12 para uma área degradada próxima a foz do Rio Pajeú na região sul da bacia. Os maiores valores do SAVI na

bacia foi para classe Caatinga Florestada que oscilaram de 0,17 a 0,23, localizado em áreas de planossolo (Figura 3) e altitude acima de 600 metros. Na foz do Rio Pajeú o SAVI variou de valores negativos a 0,10, evidenciando a degradação e existência de solo exposto. A agricultura irrigada localizada em trechos da calha do Pajeú possui valores de SAVI entre 0,23 a 0,41, ocorrendo em classes de solo do tipo luvisso solo crômicos (Silva, 2001).

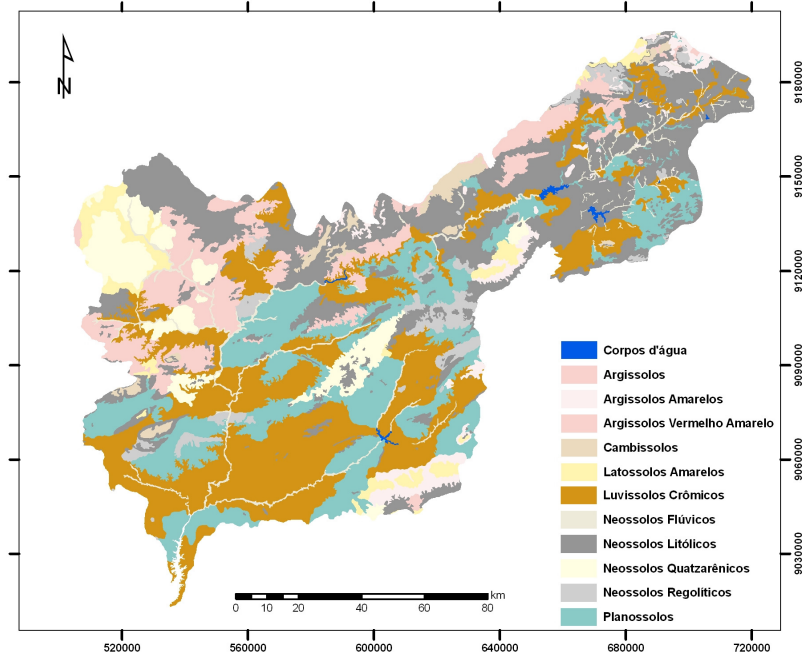


Figura 3 Mapa de solo da bacia do Pajeú, Pernambuco.

Com relação ao índice de área foliar – LAI, ao longo da parte central da bacia os valores são próximos de 0,10 (Figura 4). Isso é evidenciado devido à exploração da vegetação da caatinga, caracterizando uma área de solo exposto e caatinga aberta. Em áreas de agricultura irrigada o LAI variou de 0,63 a 1,11 ao passo que em áreas de caatinga florestada o índice oscilou entre 0,84 a 1,36, tendo uma maior relação entre área foliar e área de solo.

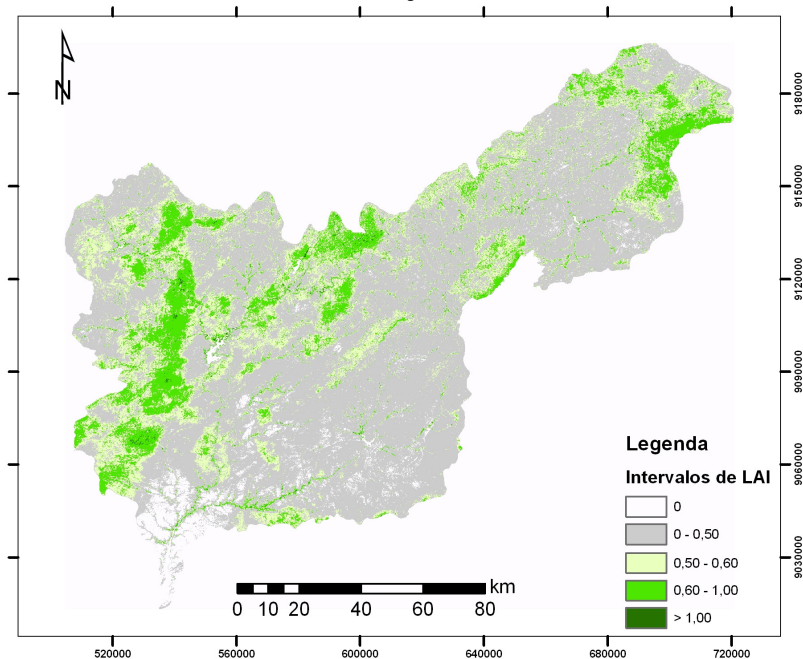


Figura 4. Espacialização do índice de área foliar para bacia hidrográfica do Pajeú.

Conforme o mapa da Figura 4, a maior parte dos pixels da bacia oscilou entre 0,0 e 0,50, representando as áreas com solo exposto e vegetação com pouca área foliar (vegetação aberta), enquanto a vegetação com alta densidade que ocorrem em altitudes acima de 600 metros apresentaram índice de área foliar acima de 0,60.

#### **4. Considerações finais**

A partir dos índices de vegetação ajustados para o solo e o índice de área foliar na bacia hidrográfica do Pajeú no estado de Pernambuco, afluente do rio São Francisco, considerando os valores observados, conclui-se que a maior parte da bacia possui valores de SAVI próximos de zero e índice de área foliar baixo, evidenciando a exploração intensa na bacia dos recursos florestais. Verificou-se que as áreas com maiores índices ocorrem em áreas montanhosas e em regiões nos limites da bacia (região nordeste e oeste da bacia). Em trabalhos futuros os índices poderão ser avaliados quanto a sua contribuição na modelagem de bacias hidrográficas em equações de deflúvio e perdas de solo devido sua determinação por dados orbitais que considera informações pixel a pixel, contribuindo para uma maior precisão espacial dos dados.

#### **5. Bibliografia**

Allen, R.G; Tasumi, M.; Trezza, R. “SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)”. Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation 1. 2002.

Almeida, C. M. “Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional”. Revista eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT) 3, pp. 98-123, 2010.

Chander, G.; Markham, B. “Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing v 41, 11 (2003).

Freitas, C. C.; Sant'anna, S. J. S.; Rennó C. D.; Correia, A. H. “Utilização de Imagens de Radar de Abertura Sintética na Classificação de Uso e Ocupação do Solo”. INPE, São José dos Campos-SP, 54 p. 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.php>>. Acesso em: 25 março 2010.

Gürtler, S.; Epiphanyo, J. C. N.; Luiz, A. J. B.; Formaggio, A. R. “Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat”. Revista Brasileira de Cartografia v 57/02, 2005.

Huete, A. “A soil adjusted vegetation index (SAVI)”. Remote Sensing of Environment, v. 25 n. 3, p. 295–309, 1988.

NASA. “Remote Sensing Tutorial”. Goddard Space Flight Center. Disponível em: <[http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2\\_1.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_1.html)>. Acesso em: 15 julho 2010.

Silva, F. B. R. Santos, J. C. P.; Silva, A. B.; Cavalcanti, A. C.; Silva, F. H. B. B.; Burgos, N.; Oliveira, L. B.; Araujo Filho, J. C.; Lopes, O. F.; Luz, L. R. Q. P.. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. Recife - PE: Embrapa Solos - UEP-Recife. 2001.

Yi, Y.; Yang, D.; Huang, J.; Chen, D. "Evaluation of MODIS surface reflectance products for wheat leaf area index (LAI) retrieval". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 63, p. 661–677, 2008.