



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO NDVI UTILIZANDO O MODELO SEBAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

*Samuellson L. Cabral<sup>1</sup>; Heliofabio B. Gomes<sup>2</sup>; Cleiton da Silva Silveira<sup>1</sup>; Wictor E. Dajtenko Lemos<sup>1</sup> & Helber Barros Gomes<sup>2</sup>.*

**RESUMO** – O presente estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espaço temporal da cobertura vegetal através do IVDN na região do semiárido do nordeste brasileiro, mais especificamente na bacia hidrográfica do rio Ipanema, entre os Estado de Alagoas e Pernambuco através de uma serie temporal de imagens multiespectrais do LANDSAT 5 - TM compostas por sete bandas espectrais, referentes aos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, utilizando o algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) que, permitiu a geração de cartas do índice de vegetação da diferença normalizada para cada pixel da imagem. Os resultados apresentam um aumento espaço temporal da cobertura vegetal em toda bacia, com valores médios de IVDN na ordem de 0,24, 0,27 e 0,30 para os anos de 1991, 2001 e 2008 respectivamente.

**ABSTRACT**– The objective of this study is to analyze spatial and temporal variability in vegetative cover using IVDN in the Brazilian Semi-Arid Northeast, specifically in the hydrographic basin of the Ipanema River between Alagoas and Pernambuco using a time series of multispectral images from LANDSAT 5 – TM made up of seven spectral bands referring to the days 08 August 1991, 06 October 2001, and 23 September 2008. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) permits the calculation of a vegetative cover index for each pixel of the image. The results show an increase in time of vegetative cover in all of the basin, with median values of IVDN on the order of 0.24, 0.27, and 0.30 for the years of 1991, 2001, and 2008 respectively.

**Palavras-Chave** – semiárido, gerenciamento de recursos hídricos, agricultura.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Av. Humberto Monte S/N, Pici, CEP: 60525-571, e-mail: [samuellsoncabral@hotmail.com](mailto:samuellsoncabral@hotmail.com)

## **Introdução**

A região nordeste do Brasil apresenta uma característica marcante no tocante da variabilidade inter e intra-anual da precipitação pluviométrica, tendo essa, passado ao longo do tempo por vários episódios de secas, que associados à intervenção antrópica, tem culminado em frequentes processos de degradação. A distribuição irregular das precipitações ao longo do ano, somada à baixa capacidade de armazenamento e conseqüentemente umidade dos solos e às altas taxas de evapotranspiração contribui para acelerar os processos de degradação ambiental desta região.

A conscientização desses problemas cresceu, e os estudos sobre mudanças globais e seus impactos têm sido destacados no campo das ciências da natureza. Dentro desse campo, a variável biofísica, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) tem dado importante contribuição no entendimento das modificações que ocorrem sobre um ecossistema (Prasad, et al. 2007; Gurgel, et al. 2003).

Nos últimos anos a utilização do sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento vem sendo usado em diversas áreas da pesquisa, principalmente no monitoramento ambiental do Brasil. Por sua grande extensão territorial a aplicação destas ferramentas e de grande importância no país, haja vista que se pode assim realizar diagnósticos de áreas de difícil acesso por meio de transportes e de acordo com a resolução temporal dos satélites pudesse realizar um monitoramento efetivos destas áreas.

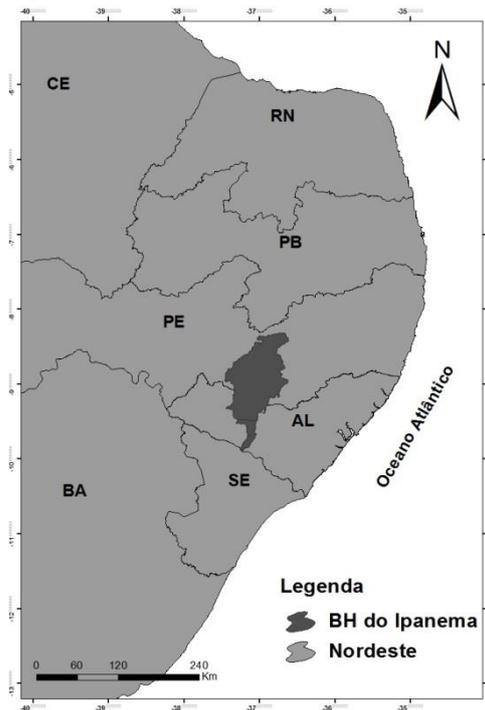
Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. No entanto, o mais comumente utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN). Séries temporais e espaciais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) têm sido utilizadas em todo o mundo para identificação e classificação da vegetação, para a caracterização da dinâmica da vegetação, para resposta da vegetação à precipitação pluvial e para alerta de secas.

O objetivo desse trabalho é analisar a dinâmica espaço temporal da vegetação no semiárido de Alagoas e Pernambuco, com ênfase na bacia hidrográfica do rio Ipanema, quantificando através de imagens multiespectrais do satélite LANDSAT 5, a cobertura vegetal para auxílio na gestão da bacia.

## Material e Métodos

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Ipanema (Figura 1) está localizada em sua maior parte no Estado de Pernambuco, com sua porção sul no Estado de Alagoas, onde se estende até o rio São Francisco. Sua área total é de cerca de 8.800 Km<sup>2</sup>. A precipitação média anual da bacia é de 750 mm/ano, variando de níveis menores que 400 mm/ano na porção sudoeste, até 1100 mm/ano na porção noroeste.



**Figura 1-** Localização da bacia hidrográfica do rio Ipanema.

### Imagens de Satélites

Nesse estudo é utilizado imagens multiespectrais do sensor Thematic Mapper (TM) do LANDSAT 5, disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Para o mesmo, foram selecionadas imagens dos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, correspondendo à passagem do satélite pelos quadrantes 215/66 e 215/67 às 9h:30min, cobrindo toda área de estudo.

### Seleção dos Alvos

Para uma análise mais detalhada da variação do NDVI da bacia do rio Ipanema, foram selecionados alvos, em alguns tipos de cobertura vegetal da região, tais como: vegetação nativa (A1), solo exposto (A2) e área agrícola (A3), conforme a Tabela 1.

**Tabela 1-** Coordenadas dos “Pixels” preestabelecidos das seguintes áreas: vegetação nativa, solo exposto e área agrícola, representadas por A1, A2 e A3 respectivamente, através das quais se efetuaram os cálculos inerentes ao estudo.

Alvos	Latitude	Longitude	Altitude (m)
<b>Vegetação Nativa (A1)</b>	9° 12'16'' S	36° 54'17'' W	342
<b>Solo Exposto (A2)</b>	9° 00'30'' S	37° 02'22'' W	437
<b>Área Agrícola (A3)</b>	9° 20'40'' S	37° 06'44'' W	274

Os alvos foram identificados com o auxílio de mapas de uso e cobertura do solo, para isso foi realizado uma classificação não supervisionada na bacia do rio Ipanema para todos os anos do trabalho.

### Processamento das imagens

Para obtenção do índice de vegetação da diferença normalizada e do albedo da superfície foi utilizada o algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), metodologia desenvolvida por Bastiaanssen et al. (1998a,b) e Allen et al. (2002).

### Radiância Espectral

A radiância espectral de cada banda ( $L_{\lambda_i}$ ) representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite LANDSAT, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel e pode ser obtida pela equação (Markham and Barker, 1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde:  $a_i$  e  $b_i$  são coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander & Markham (2003), e ND é o número digital da imagem.

### Reflectância Monocromática

A reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a equação (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

em que  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $k_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ ),  $Z$  é o ângulo zenital solar e  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, dada por (Iqbal, 1983):

$$d_r = 1 + 0.333 \cos\left(\frac{DSA \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

Em que o argumento da função cosseno esta em radianos. O valor médio anual de  $d_r$  é igual a 1,00 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente. Quando a área de estudo tem pequena, ou declividade nula, o cosseno do angulo de incidência da radiação solar e simplesmente obtido a partir do angulo de elevação do Sol ( $E$ ), que se encontra no cabeçalho da imagem, ou seja:

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

### Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)

O índice de vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ) pela soma das mesmas (Allen et al., 2002):

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

Onde:  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do LANDSAT 5-TM.

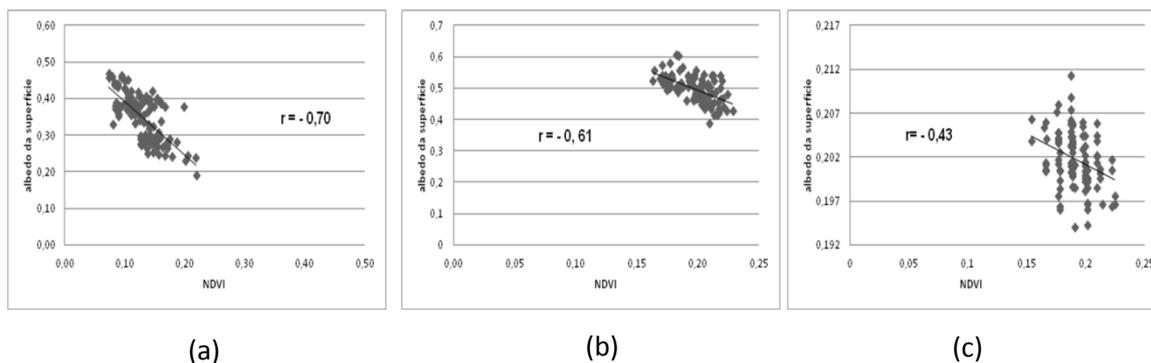
## RESULTADOS

### Análise dos Alvos

Os alvos apresentam o IVDN e o albedo pontual obtido nos três alvos selecionados. Observa-se que a variação temporal do IVDN para o alvo vegetação nativa (A1), verificou-se valores de 0,469 (08/08/1991), 0,285 (06/10/2001) e por fim 0,319 (23/09/2008), com os seguintes albedos, 18%, 29% e 26% respectivamente. Para o alvo solo exposto (A2), teve-se a seguinte variação, valores de IVDN de 0,080 (08/08/1991), 0,197 (06/10/2001) e 0,153 (23/09/2008), resultando os albedos na ordem de 40%, 32% e 36% para os alvos estudados. E por fim na área agrícola (A3), a estimativa foi de valores de IVDN de 0,405 (08/08/1991), com albedo de 13%, IVDN de 0,606 (06/10/2001) com albedo de 22% e IVDN de 0,721 (23/09/2008) com um albedo de 19%.

Em todos os casos percebe-se a correlação entre IVDN *versus* albedo, ou seja, áreas sem cobertura vegetal apresentam um potencial maior para refletir com mais intensidade, e áreas com maior cobertura vegetal refletem menos radiação.

Para avaliar a relação entre o IVDN e o albedo da superfície sobre a bacia do rio Ipanema, foram calculadas as correlações de Pearson para o dia de 08/08/1991 (Figura 5a), 06/10/2001 (Figura 5b) e 23/09/2008 (Figura 5c). Para o cálculo deste coeficiente de correlação considerou-se uma amostra contendo 100 elementos. Como já era esperado, observa-se uma relação linear inversamente proporcional para as amostras de IVDN e albedo da superfície, apontando para um decréscimo de albedo da superfície com um aumento do IVDN, impulsionado principalmente pelo aumento na intensidade pluviométrica. Os valores de correlação foram de - 0,70, - 0,61 e - 0,43, para os respectivos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008.



**Figura 5** – Correlação de Pearson entre o IVDN e o albedo da superfície em (a) 08/08/1991, (b) 06/10/2001 e (c) 23/09/2008, na bacia do rio Ipanema.

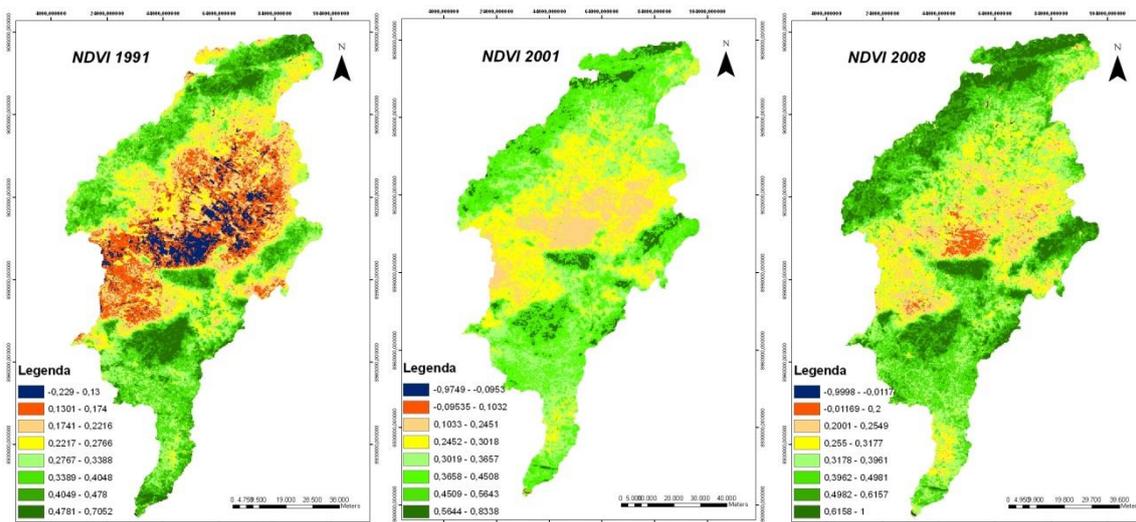
### **Análise espaço-temporal do IVDN**

Os valores estatísticos referente ao IVDN, para os dias do estudo. Os valores médios estimados foram de 0, 24 0, 27 e 0, 30 para os dias de 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008 respectivamente. Os valores referentes ao desvio padrão ( $\sigma$ ) e coeficiente de variação (cv) foram de  $\pm 0, 09$ ,  $\pm 0, 11$  e  $\pm 0, 14$  e cv de 0, 37, 0, 40 e 0, 46. Observa-se que os valores médios do IVDN, aumentaram na escala temporal e os maiores valores é observado no dia de 23/09/2008, possivelmente relacionado à melhor gestão da bacia e de programas de incentivos a agricultura pelos órgãos públicos.

A Figura 6 mostra a variação espacial do IVDN para a bacia do rio Ipanema nos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, respectivamente. Em agosto de 1991, os maiores valores de IVDN encontrados estão associados à cobertura de vegetação mais densa localizados no extremo norte e centro sul da bacia. Podem ser observados valores negativos de IVDN sobre a água e em áreas úmidas, nas três datas avaliadas, em concordância com o encontrado na literatura.

Observa-se que espacialmente as áreas mais vegetadas estão localizadas no extremo norte da bacia localizada em áreas com altitudes mais elevadas, e no centro sul da bacia. Os diferentes regimes pluviométricos nas três datas influenciaram diretamente na espacialização do IVDN na bacia, onde se pode observar que no ano de 1991 teve-se uma variação de valores no intervalo de -0, 229 a 0, 7062, para a imagem do ano 2001 a variação foi de -0, 9749 a 0, 8338 e por fim a imagem referente ao ano de 2008 variou de -0, 998 a 1.

Analisando-se cronologicamente a evolução da variabilidade do IVDN ao longo dos anos, identifica-se uma tendência cíclica de aumento e redução dessa variável ao longo do tempo, sendo fortemente influenciada pela precipitação daquele ano, mesmo estando essas concentradas nos meses de março a julho.



**Figura 6** - Distribuição espacial do IVDN na bacia do rio Ipanema.

## 1. Conclusões

A distribuição da cobertura vegetal da bacia do rio Ipanema, aumentou tanto na escala espacial, como na escala temporal, fator esse ligado diretamente as precipitações na bacia.

As análises dos alvos pré selecionados, ratifica a correlação satisfatória, entre os parâmetros de IVDN e o albedo da superfície na bacia do rio Ipanema.

O algoritmo SEBAL se apresenta como uma ferramenta importante para a obtenção da distribuição espaço-temporal no cômputo da cobertura vegetal. Evidenciando que o mesmo pode ser aplicado de forma operacional, para grandes áreas, utilizando imagens de baixa resolução.

## BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G. ET AL. (2002). (Surface Energy Balance Algorithms for Land), Advanced training and users manual. Idaho: Implementation, v.1.0.

- ANYAMBA, A.; TUCKER, C. J. (2005). Analysis of sahelian vegetation dynamics using noaa-avhrr IVDN data from 1981-2003. *Journal of Arid Environments*, v. 63, p. 596–614.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A. & HOLTSLAG, A. A. M. A. (1998a). Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212- 213, p. 198-212.
- BASTIAANSEN, W. G. M., PELGRUM H., WANG, J. MORENO, Y. M.J., ROERINK, G. J. & VAN DER WAL, T. (1998b). The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 213-229.
- BASTIAANSEN, W.G.M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology, Amsterdam*, v.229, n.1, p.87-100.
- CHANDER; G.; MARKHAM; B. (2003). Revised LANDSAT-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *Idée transactions on geosciences and remote sensing*. v.41, n.11, p.2674- 2677.
- GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J.; LUIZ, A.J.B. (2003). Estudo da variabilidade do IVDN sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v.7, n.1, p.85-90.
- IQBAL, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. New York: Academic Press. 212p.
- LI, J.; LEWIS, J.; ROWLAND, J.; TAPPAN, G.; TIESZEN, L. L.(2004). Evolution of land performance in Senegal using multi-temporal IVDN and rainfall series. *Journal of Arid Environments*, v. 59, p. 463-480.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. (1987). Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International. Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p.517-523.
- PRASAD, A. K.; SARKAR, S.; SINGH, R. P.; KAFAFOS, M. (2007). Inter- annual variability of vegetation cover an rainfall over India. *Advances in Space Research*, v. 39, p. 79-87.
- TASUMI, M.; TREZZA, R.; ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L. (2005). Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. *Irrigation and Drainage Systems*, v.19, p.355- 376.