

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

**REVISTA DE
GEOGRAFIA
(UFPE)**

www.ufpe.br/revistageografia

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

APLICAÇÃO DO ALGORITMO SEBAL NA ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACARÉ, SERGIPE

Wagner Roberto Milet Batista¹; Antenor de Oliveira Aguiar Netto¹; Inajá Francisco de Sousa¹; Fábio Brandão Britto²; Anderson Nascimento do Vasco²

¹ Universidade Federal de Sergipe - UFS, São Cristóvão, SE, Brasil e-mail: wagnermilet@yahoo.com.br, antenor.ufs@gmail.com, inajafrancisco@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Aracaju, Se, Brasil: brandaobritto@hotmail.com, anderovasco@yahoo.com.br

Artigo recebido em 24/03/2013 e aceito em 24/11/2014

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Jacaré, e diagnosticar possíveis processos de degradação por meio do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), usando o algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) e imagens do satélite Landsat 5 - TM para os dias 17/10/1999 e 07/12/2006. Os resultados mostram que o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) apresentou grandes variações, no cenário da bacia hidrográfica entre os dois períodos analisados. A utilização de sensoriamento remoto foi extremamente importante para analisar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Jacaré.

Palavras-Chaves: Áreas degradadas, recursos hídricos, NDVI.

ANALYSIS OF VEGETATION COVER OF THE RIVER JACARE, THROUGH ORBITAL IMAGES

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the vegetation of Jacare River basin and to diagnose potential degradation processes through normalized difference vegetation index (NDVI) using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and Landsat images 5 – TM related to the days 17/10/1999 and 07/12/2006. The results show that the normalized difference vegetation index (NDVI) presented considerable variations in the scenario of the watershed between the two analyzed periods. The use of remote sensing was extremely important to analyze the vegetation cover in the Jacaré River basin.

Keywords: Degraded areas, water resources, SEBAL.

INTRODUÇÃO

Com o advento cada vez mais frequente das novas tecnologias, o sensoriamento remoto vem se tornando um importante aliado ao aprimoramento da gestão e planejamento dos recursos naturais (JENSEN, 2009). Atualmente tem sido desenvolvida uma gama de tecnologias voltadas aos sensores remotos, e o uso de satélites se destaca como uma das mais utilizadas.

Segundo Bastiaanssen (2000) os dados gerados por sensoriamento remoto são potencialmente úteis na legislação, planejamento e alocação de recursos hídricos, avaliação de impactos ambientais e avaliação do desempenho de sistemas de irrigação. Além disso, podem prover informações sobre uso e ocupação da terra, dimensão de áreas irrigadas, desenvolvimento de biomassa, previsão de colheita, escoamento superficial, balanço de radiação, energia e evapotranspiração.

Para o processamento dessas informações com o objetivo de revelar aspectos ou informações importantes para o planejamento hidroagrícola, faz-se necessário o uso de ferramentas auxiliares, a exemplo dos modelos matemáticos e demais sistemas de informações geográficas, que garantem precisão e agilidade na tomada de decisão.

Uma dessas ferramentas é o algoritmo SEBAL, utilizado na determinação de mapas de evapotranspiração em grandes áreas (BASTIAANSSEN, 2007). Ele é processado por meio de rotinas computacionais que predizem um balanço completo da radiação e da energia ao longo da superfície da terra. Utiliza imagens coletadas pelo sensor TM Landsat 5 ou outro sensor que colete faixas do espectro na região do infravermelho refletivo e termal.

Segundo Comparoé et al. (2008) o SEBAL se destaca entre os demais algoritmos pelas seguintes razões: (1) Consiste em um algoritmo baseado fisicamente em análises de imagens de satélite e requer um mínimo de informações meteorológicas; (2) Faz uso de um grande número de variáveis ambientais e não as assume constantes espacialmente como é feito em muitos outros métodos; (3) É reduz a necessidade da correção atmosférica das informações em comprimentos de onda curta e térmica nas imagens (TASUMI, 2003).

Os dados de sensoriamento remoto tem sido de fundamental importância em pesquisas direcionadas ao estudo do comportamento dinâmico da vegetação (DANTAS et al, 2010). Tal abordagem procura tornar mais operacional o sistema de monitoramento

da vegetação principalmente de extensas áreas, tendo como apoio informações coletadas de satélites meteorológicos e ambientais, tais como, Landsat/TM e AVHRR/NOAA.

Existem diversos índices de vegetação disponíveis a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, porém os mais frequentemente utilizados são: o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação ajustado ao efeito do solo (SAVI) e índice de área foliar (IAF) (PARISE E VETTORAZZI, 2005). Estes índices facilitam a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas (JENSEN, 2009; EPIPHANIO et al., 1996).

Esses índices utilizam as seis bandas não termais do sensor TM e atribuem pesos diferentes para cada uma delas por meio de equações lineares, como resultado, são geradas três imagens-síntese: "brightness", "greenness" e "wetness", sendo a imagem "greenness" ou o índice de vegetação GVI (Greenness Vegetation Index) gerado para o sensor TM do satélite Landsat 5.

Os valores de NDVI oscilam entre -1 e +1, que correspondem respectivamente às características de estresse hídrico e de uma vegetação exuberante. A água tem refletância na banda 3 maior do que na banda 4, portanto apresenta valores negativos, próximos a -1, no NDVI o mesmo ocorrendo com áreas de sombra. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo, portanto espera-se que o valor do pixel seja em torno de zero. O solo sem cobertura vegetal ou com pouca vegetação apresentam valores positivos, mas não muito elevados vegetação densa, úmida e bem desenvolvida apresenta os maiores valores de NDVI, próximos a 1.

Essa variável quando avaliada em longo prazo, pode ser um importante indicador, tanto da desertificação e redução de fitomassa da Caatinga como da recuperação de áreas degradadas. Deste modo este trabalho determina por meio de técnicas de sensoriamento remoto a cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jacaré, usando-se imagens do mapeador temático do Landsat 5 e dados complementares de superfície e diagnosticar possíveis mudanças na área da bacia Hidrográfica do rio Jacaré entre os anos estudados.

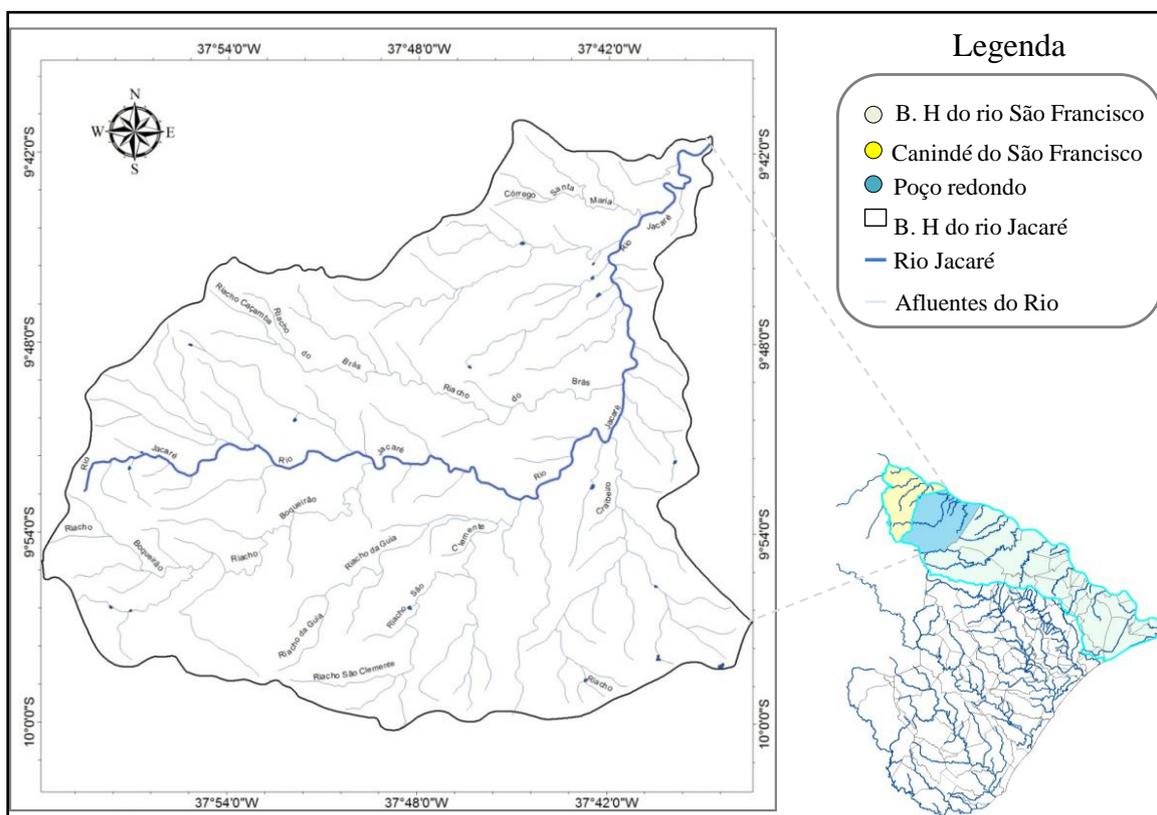
MATERIAL E MÉTODOS

A área selecionada (Figura 1) para a pesquisa ocupa parte do baixo rio São Francisco localizado nos municípios de Poço Redondo e Canindé do São Francisco no

Estado de Sergipe. A bacia hidrográfica do rio Jacaré orienta-se no sentido Norte - Nordeste e é formado por vários tributários, dentre eles destacam-se os mais importantes: o Riacho Novo, o Córrego Santa Maria e o Riacho do Brás. Com relação à margem direita do Rio Jacaré, destacam-se os Riachos do Boqueirão, o Riacho da Guia, o Riacho São Clemente e o Riacho Craibeiro, com características fisiográficas semelhantes.

De acordo com Santana et al. (2007) o rio Jacaré tem uma extensão de 73,5Km, a área da bacia é de 943,98Km², o perímetro da área é de 142,77Km, o desnível entre a nascente e a foz é de 270 m, a declividade média da bacia é de 0,0048m/m, o índice de forma é igual a 0,53 e o índice de compacidade é igual a 1,3. Segundo o autor, estes índices indicam que a sub-bacia tem tendência a sofrer enchentes e inundações.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Jacaré e seus afluentes principais. Fonte: Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe – 2012.

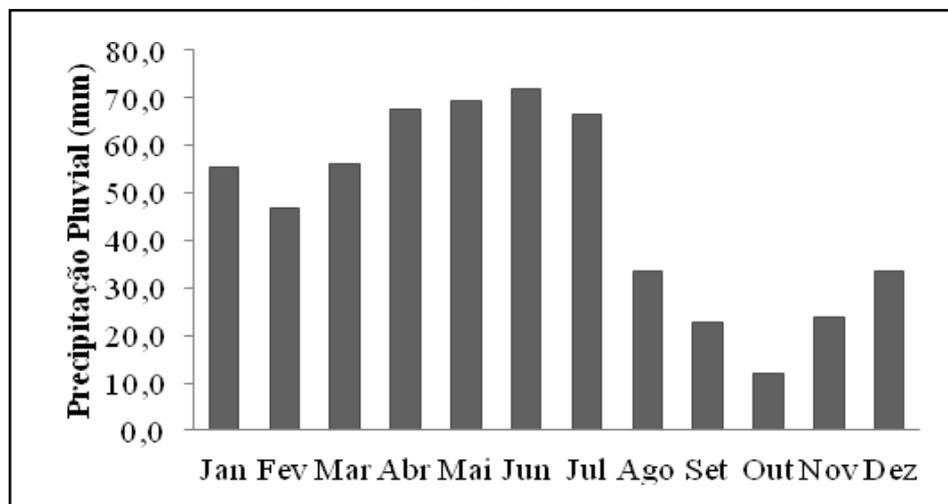


A vegetação nativa predominante na região na área da Bacia hidrográfica do rio Jacaré é a caatinga hiperxerófila (SANTOS, 2001). Verifica-se nesta formação vegetal indivíduos de porte arbóreo, isoladamente ou em pequenos grupos, com predominância de arbustos e árvores baixas e um grande número de cactáceas e bromeliáceas. Os solos da Bacia hidrográfica do rio Jacaré são rasos, pouco permeáveis, apresentando afloramentos rochosos na superfície e no perfil, o que contribui para restrições do seu uso

e propensão à erosão e salinização. Os solos identificados na região foram o Neossolo Litólico, Planossolo, Vertissolos e Luvisso (BRASIL, 2003).

Na área de estudo, o regime pluviométrico é do tipo mediterrâneo, tendo um período seco de primavera-verão com déficit hídrico elevado, que aumenta de sudeste para noroeste. De acordo com Pinto (1998), a estação seca é de sete a oito meses, e a chuvosa de cerca de quatro meses (Figura 2). Segundo a classificação climática de GAUSSEN, o clima da Subárea é do tipo 3 aTh – mediterrâneo quente ou nordestino, de seca acentuada no verão e segundo KOPPEN, é do tipo Bssh – clima muito quente, semiárido, tipo estepe, com estação chuvosa no inverno. O índice xerotérmico oscila entre 100 e 150, com 7 a 8 meses considerados mais secos e cerca de 4 meses período chuvoso.

Figura 2 - Normal climatológica da precipitação pluviométrica média mensal do município de Poço Redondo - SE, região do Baixo São Francisco no período de 1963 a 2010



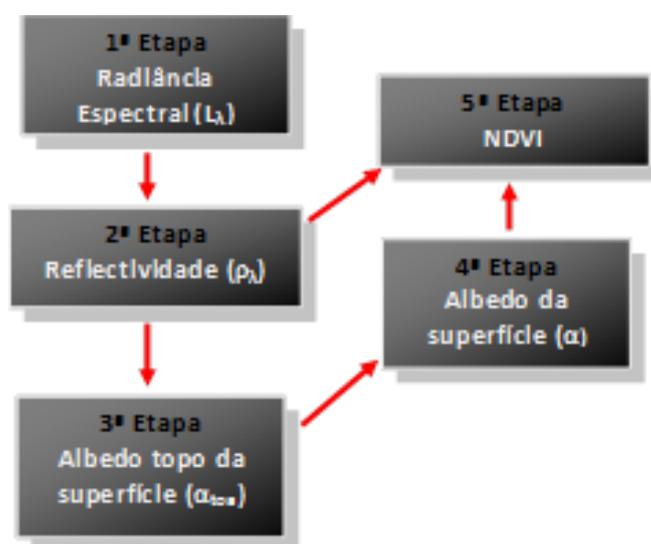
Fonte: (DEAGRO)

BASE DE DADOS

Utilizaram-se imagens adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/São José dos Campos, referentes aos sete canais espectrais (Tabela 1) do Mapeador Temático - TM do satélite Landsat 5, correspondentes aos dias 17 de outubro de 1999 e 07 de dezembro de 2006 (Dia Juliano, DJ = 290 e DJ = 341 respectivamente), para a órbita 215 e o ponto 67. Também foram utilizadas informações meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, radiação global e velocidade do vento) de uma estação automática pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, situada no Centro de Formação Dom Brandão de Castro (latitude 09° 50' 28" Sul, longitude 37° 40' 13" Oeste e 260 m de altitude).

O satélite mede a radiância espectral dos alvos e armazena-os esses dados sob a forma de números digitais (ND), com intensidade dos níveis de cinza variando de 0 a 255 (8 bits), para o caso do TM - Landsat 5. Cada passo realizado, a partir dos dados brutos (ND) do satélite para encontrar os parâmetros físicos da superfície, como o albedo, a temperatura e o NDVI, necessitam de um operador matemático. Neste sentido, para obtenção do índice de vegetação por diferença Normalizada (NDVI), a ferramenta de programação Model Maker do ERDAS Imagine v. 9.2, destinada às tarefas descritas a seguir. A montagem final do layout foi feito no programa ArcGIS 9.3. Na Figura 3 estão representadas as diferentes etapas de processamento do NDVI.

Figura 3 - Diagrama das etapas do processamento para obtenção do índice por diferença normalizada (NDVI).



Etapa 1: Radiância Espectral - A primeira Etapa computacional do SEBAL é a obtenção da calibração radiométrica ou radiância espectral (L_{λ}) que é a conversão do Número Digital (ND) de cada pixel em radiância espectral monocromática.

Etapa 2: A Reflectividade (ρ_{λ}) é a razão entre a radiação solar refletida e incidente em cada pixel.

Etapa 3: Albedo topo da superfície - cálculo do albedo não corrigido no topo da atmosfera foi feito através de uma combinação linear das reflectâncias espectrais (α_{toa}).

Etapa 4: Albedo na superfície - A atmosfera terrestre produz interferência na radiação solar e na radiação refletida, portanto o albedo calculado para o topo da superfície necessita de correções aos processos de absorção e espalhamento.

Etapa 5: NDVI - (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), que é um indicativo das condições, da densidade e porte da vegetação.

MÉTODOS

A metodologia empregada seguiu Silva et al. (2005), Bastiaanssen et al. (1998a; 1998b) e Allen et al. (2002), a qual consiste em: com base na intensidade de cada pixel e canal, são procedidos os cálculos da calibração radiométrica, determinação da refletância planetária (exceto para o canal 6), quantificação do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), e a partir dos mesmos se calculou o albedo superficial, temperatura radiométrica e saldo de radiação (Rn). 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 em 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 E BAKER, 1987):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) \times DN - L_{MIN} \quad (1)$$

em que: DN é o número digital de cada pixel da imagem, LMAX e LMIN são as constantes de calibração espectral do sensor, cujos valores para o Landsat 5-TM e utilizados neste estudo, segundo Chander e Markham (2003).

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):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta \cdot d_r^2} \quad (2)$$

em que L_{λ} é a radiância espectral, computadas na 1ª Etapa; $ESUN_{\lambda}$ é a constante solar monocromática associada a cada banda do TM – Landsat 5, cujos valores válidos para dados radiométricos gerados pelo Landsat-5 após 5 de maio de 2003, de acordo com Chander e Markham (2003), foram apresentados na Tabela 1; θ é o ângulo zenital do Sol; e d_r é o inverso do quadrado da distância Terra-Sol, que é obtida pela equação 3.

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(DA \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que: DA é o dia do ano que foram obtidos os dados radiométricos (imagem de satélite), cujos valores correspondentes ao dia da geração das imagens, bem como o dr e o cos θ, para os respectivos dias são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1. Datas das imagens, seus respectivos dias Juliano (DJ), inverso da distância relativa terra-sol (dr) e cosseno do ângulo zenital (cos θ).

Data da imagem	DJ	dr	Cos θ
17/10/1999	290	1.009	0,867
07/12/2006	341	1.030	0,876

O cálculo do albedo no topo da atmosfera foi feito através de uma combinação linear das refletâncias espectrais (ρ_λ), calculados na 2ª Etapa, e o coeficiente de regressão ($\omega_1\lambda$), para cada banda de acordo com a equação 4.

$$\alpha_{toa} = (\omega_1 \times \rho_1) + (\omega_2 \times \rho_2) + (\omega_3 \times \rho_3) + (\omega_4 \times \rho_4) + (\omega_5 \times \rho_5) + (\omega_7 \times \rho_7) \quad (4)$$

Os coeficientes de regressão linear da equação anterior ($\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_7$), são calculados pela equação 5.

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (5)$$

Para o Landsat 5-TM, os valores de ω_λ , são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Coeficientes de regressão linear de cada banda para o cálculo do albedo do topo da atmosfera. Fonte: Allen et.al (2002)

	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7
Landsat 5-TM	0,293	0,274	0,233	0,157	0,033	-	0,011

No SEBAL o albedo da superfície é obtido mediante correção atmosférica que considera a transmitância (τ_{sw}) e a refletância atmosférica (α) em todo o domínio da radiação de onda curta, sendo determinado por meio da equação (BASTIAANSSEN, 1995; BASTIAANSSEN et al., 1998; ALLEN et al., 2002; SILVA et al., 2005):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

Em que: α_{toa} é o albedo planetário, computado na 3ª etapa, $\alpha_{path_radiance}$ é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera que neste trabalho foi considerada igual a 0,03 (Bastiaanssen, 2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que é definida como a fração da radiação solar incidente que é transmitida pela atmosfera e representa o seu efeito de absorção e reflexão (ALLEN et al., 2002). A transmissividade atmosférica foi computada em função da altitude local (z), conforme a equação:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times Z \quad (7)$$

Para o local estudado $z = 188$ m, o que implicou em transmissividade $\tau_{sw} = 0,754$. O Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), que é um indicativo das condições, da densidade e porte da vegetação, foi obtido através da razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (ρ_4) e do vermelho (ρ_3) e a soma das mesmas reflectâncias conforme equação (Allen et al., 2002):

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (8)$$

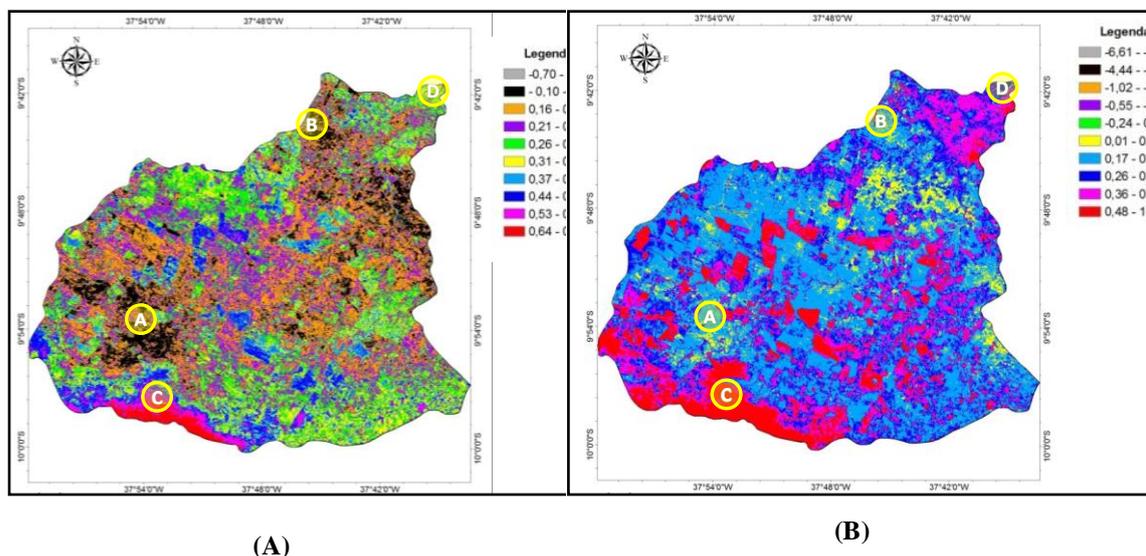
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das imagens para o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) entre os anos de 1999 e 2006 estão explicitados na Figura 4A e 4B. As imagens são da mesma área, mas em situações de umidade e estágio fenológico da vegetação diferentes. Essa variável quando avaliada em longo prazo, pode ser um importante indicador tanto da desertificação e redução de fitomassa da Caatinga como da recuperação de áreas degradadas. Neste estudo, os valores de NDVI obtidos para o dia 17/10/1999 (Tabela 3), foram 0,16 para área de caatinga; 0,69 para área de cultivo irrigada; 0,58 para região de bioma Mata Atlântica enquanto que para a foz do rio Jacaré foi de -0,07. Para o dia 07/12/2006 foram 0,21; 0,60; 0,68 e -0,33, para área de caatinga, cultivo irrigado, Mata Atlântica e foz do rio Jacaré respectivamente.

Tabela 3. NDVI instantâneo determinado usando o Algoritmo SEBAL, para quatro diferentes alvos, para os dias 17 de outubro de 1999 e 07 de dezembro de 2006, na bacia hidrográfica do rio Jacaré.

Parâmetro	Data	A	B	C	D
		Caatinga	Cultivo Irrigado	Mata Atlântica	Foz do Rio Jacaré
NDVI	17/10/1999	0,16	0,69	0,58	-0,07
	07/12/2006	0,21	0,60	0,68	-0,33

Figura -Mapas de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) obtidos para bacia hidrográfica do rio Jacaré para 1999 (A), e 2006 (B).



Contudo, quando se comparou as imagens das duas datas, constatou-se claramente alterações no cenário da bacia hidrográfica entre os dois períodos, sendo os maiores valores próximos a 1 encontrados para a imagem de 2006. Porém percebe-se que a carta NDVI da Figura 5B, apresenta uma área classificada com valores negativos elevados, quando comparado com a Figura 5A, o que indica presença de vegetação exuberante.

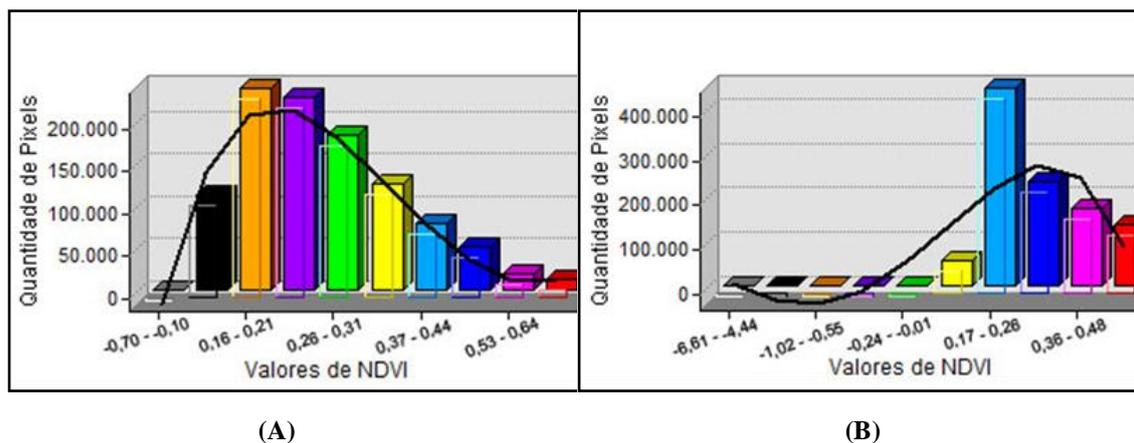
É válido lembrar que mesmo em condições de boa disponibilidade de água há áreas com valores baixos de NDVI, que podem ser devido à presença de solo exposto ou ainda ao tipo de solo que ocorre na área. Solos rasos, pedregosos ou de textura arenosa podem intensificar os efeitos da deficiência de água.

Nota-se ainda que em ambas as imagens as áreas que apresentaram os valores de NDVI superior a 0,48 encontram-se em locais com vegetação densa, típico de florestas, pixel vermelho, uma vez que nesses locais a cobertura do solo é maior, mantendo maior umidade no solo mesmo em épocas de estiagem. Autores como Prasad et al. (2007), comentam que valores de NDVI dessa magnitude, são típicos de regiões úmidas com

maior regime pluviométrico. Esses pontos estão localizados em pontos de maior elevação na bacia neste caso representado pela serra da guia (a altitude da serra preserva um clima mais frio e úmido), ponto mais alto do Estado de Sergipe e área de Mata Atlântica em plena região semiárida.

Mesmo tendo a bacia hidrográfica do rio Jacaré passado por modificações de caráter antrópico durante o período das imagens, observou-se um maior aporte de vegetação para o ano de 2006, demonstrado o poder de regeneração desse bioma quando avaliado em períodos longos. Nas Figuras 5A e 5B, estão representados os histogramas de frequência de píxeis do NDVI correspondente às imagens estudadas.

Figura 5 - Histograma de frequência do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), da bacia hidrográfica do rio Jacaré em 17/10/1999 (A) e 07/12/2006 (B)



Analisando os histogramas percebe-se que as áreas com resposta à razão de bandas que correspondem aos locais onde o déficit hídrico foi mais intenso no período de 1999 apresentaram um deslocamento para a esquerda possuindo maior quantidade de píxeis assumindo valores próximo aos negativos, uma vez que a fotossíntese é reduzida, e a clorofila torna-se menos ativa, absorvendo menos radiação solar. Já no ano de 2006, com distribuição de chuvas superior ao ano de 1999, o gráfico tendeu a se deslocar para a direita, assumindo mais valores positivos, característicos de vegetação em plena atividade fotossintética, consequência de um bom suprimento de água para o seu desenvolvimento.

CONCLUSÕES

A metodologia propiciou a análise da bacia hidrográfica do rio Jacaré, sendo possível diagnosticar, por meio do índice, as mudanças da cobertura vegetal. A consistência dos dados obtidos neste trabalho é compatível com informações reportadas

na literatura assim como os produtos gerados a partir de imagens orbitais. Portanto a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em imagens do satélite Landsat 5 TM permitiu avaliar que o índice de vegetação da diferença normalizada mostrou fortes variações, no cenário da bacia hidrográfica do rio Jacaré, entre as imagens estudadas, mostrando que durante o período de seis anos de análise das imagens houve um incremento e ou regeneração considerável de biomassa na área da bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- BASTIAANSSEN, W. G. M. et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) Formulation. *Journal of Hydrology*, v.212-213, pp.198-212 (1998a).
- BASTIAANSSEN, W. G. M. et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, v. 212–213, p.213-229. 1998b.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, v.42, p. 137-155, 2000.
- BASTIAANSSEN, W.G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 237p., 1995.
- BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 229, pp.87-100, 2000.
- BASTIAANSSEN, W.G.M.; ZWART, S.J. SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. *Agricultural Water Management*. v.89, p.287-296. 2007.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. v. 41. n. 11. 2003.

COMPAORÉ, H. et al. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.33,p.127-140, 2008.

DANTAS, F. R. DA C et al. Determinação do albedo da superfície a partir de dados AVHRR/NOAA e T/LANDSAT-5. *Rev. bras. meteorol.*, São Paulo, v. 25, n. 1, Mar. 2010.

FOLHES, M. T., SOARES, J. V., RENNO, C. D., CORREIA, A. H. Estimativa de fluxos de energia por meio do modelo METRIC em região semi-árida. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13., 2007, Florianópolis. Anais. Florianópolis: INPE, 2007. P. 3349-3356

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Trad. José Carlos Epiphanyo (coordenador)... [et al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

PARISE, F. J. O.; VETTORAZZI, C.A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.27, n.1, abr.2005.

PINTO, J. E. S. Os reflexos da seca no estado de Sergipe. NPGEO/UFS, São Cristóvão, 1998.

PRASAD, A. K. et al. Inter-annual variability of vegetation cover and rainfall over India. *Advances in Space Research*, v. 39 p.79-87, 2007.

[SANTANA, J. L. S. DE](#); AGUIAR NETTO, A. O.; MELLO JUNIOR, A. V. Impacto da precipitação e de vazão máximas em obras de infra-estrutura em uma sub-bacia do semi-árido de Sergipe. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2007, São Paulo. Anais. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2007. p. 1-15.

SANTOS, L. G. C. Diagnóstico dos Remanescentes de Mata Ciliar no Baixo São Francisco Sergipano afetado pela erosão marginal e a compreensão dos ribeirinhos sobre a degradação vegetal. *Dissertação de mestrado – São Cristóvão/SE*, 2001.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

TASUMI, M. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. 357p., (Dissertation Doctor of Philosophy). University of Idaho, 2003.

TREZZA, R. Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized ground control. 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002.