



ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS EM ÁREAS IRRIGADAS UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Janice Freitas Leivas¹; Antônio Heriberto de Castro Teixeira² & Gustavo Bayma-Silva³

RESUMO - O objetivo deste estudo foi obter parâmetros biofísicos em áreas irrigadas e com vegetação natural (caatinga) em Petrolina (Pernambuco) utilizando o modelo SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) e o modelo de Penman-Monteith, sem utilizar a banda termal, visando aumentar a resolução espacial e obter maior detalhamento da superfície. Foram obtidos dados de estações meteorológicas e imagens do satélite RapidEye (5 metros) de 2011, 2012, 2013 e 2014. A evapotranspiração média diária de toda a cena de 2011 foi $0,47 \pm 1,14$ mm e valor máximo de 6,96 mm nas áreas irrigadas. Na imagem de 2014, a evapotranspiração (ET) alcançou valores superiores a 7,6 mm nas áreas irrigadas, e valores médios diários de $0,64 \pm 1,43$ mm. Com a elevada demanda evaporativa da atmosfera, a ET alcançou valores superiores aos observados na cena de 2011, possivelmente em decorrência fenômeno El Niño, que acarreta diminuição da precipitação na região e, conseqüentemente, escassez de água. A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar os indicadores biofísicos em períodos de estiagens severas com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal, o que contribui para o planejamento e gerenciamento da utilização dos recursos hídricos.

ABSTRACT - Our objective in this study was to collect biophysical parameters at irrigated areas and natural plant-cover (caatinga grassland) areas using the SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) and the Penman-Monteith models without using the thermal band, with the aim of enhancing spatial resolution and therefore detecting more surface details. We collected data from meteorological stations and RapidEye satellite images (5 meters) of Petrolina, Pernambuco, Brazil, in 2011, 2012, 2013, and 2014. The average daily evapotranspiration rate for the whole 2011 scene was of 0.47 ± 1.14 mm, with a maximum value of 6.96 mm at the irrigated areas. In the 2014 image the evapotranspiration (ET) rate reached values higher than 7.6 mm at the irrigated areas, and average daily values of 0.64 ± 1.43 mm. The atmosphere's higher evaporative demand caused ET to reach values higher than those observed in the 2011 scene, maybe due to the El Niño phenomenon, which reduces the rainfall rates at the study region and causes water scarcity. The results obtained enabled evaluating biophysical indicators during periods of severe drought with the advantage of not requiring the use of the thermal band, and thus contributing to the planning and management of the use of water resources.

Palavras-Chave – evapotranspiração, áreas irrigadas, SAFER

1) Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Av Soldado Passarinho, 303, Campinas/SP, (19) 32116200, janice.leivas@embrapa.br

2) Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Av Soldado Passarinho, 303, Campinas/SP, (19) 32116200, heriberto.texeira@embrapa.br

3) Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Av Soldado Passarinho, 303, Campinas/SP, (19) 32116200, gustavo.bayma@embrapa.br

INTRODUÇÃO

O município de Petrolina pertence ao polo de irrigação do Vale do Rio São Francisco, tendo como principais produtos agrícolas as culturas permanentes (uva, goiaba, coco, mamão e pinha) e temporárias (melancia, milho e feijão). Outros produtos agroindustriais e beneficiamentos como álcool, açúcar, apicultura, entre outros, destacam-se na região. A consolidação de áreas irrigadas em Petrolina promoveu o desenvolvimento da região, acarretando elevada produtividade agrícola, aumentando de oportunidades de emprego e, conseqüentemente, promovendo o desenvolvimento regional.

A intensa seca ocorrida no nordeste brasileiro desde 2012 foi considerada a pior dos últimos 30 anos, causando grandes prejuízos à população e interrupção de novos plantios nas áreas irrigadas, devido à escassez de água. Diante disso, o monitoramento dos parâmetros biofísicos em larga escala tem fundamental importância na tomada de decisão para o uso racional da água. Uma das grandes dificuldades do monitoramento da evapotranspiração em larga escala é a necessidade de algoritmos biofísicamente realísticos, mas que sejam simples para a sua operacionalização. O modelo agrometeorológico espectral SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo e imagens Landsat, envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas nas condições semiáridas brasileiras (Teixeira 2012a). Dentre as vantagens da aplicação do modelo é a não obrigatoriedade de utilizar imagens de satélite com a banda termal, além da possibilidade de utilização de dados de estações agrometeorológicas (automáticas ou convencionais), possibilitando avaliar a série histórica de parâmetros como biomassa e evapotranspiração, em larga escala.

As imagens de satélite mais utilizadas para a modelagem hidrológica envolvem os sensores termais de média resolução espacial e baixa resolução temporal (ETM, ASTER); ou de baixa resolução espacial e alta resolução temporal (MODIS, AVHRR) (Teixeira et al., 2015). As imagens do sensor RapidEye possuem avanços consideráveis em suas especificações técnicas, principalmente em se tratando das resoluções espacial (5m), espectral e temporal. O RapidEye opera seu próprio sistema, composto por cinco satélites, capazes de coletar imagens sobre grandes áreas, com alta capacidade de revisita. Essas imagens possuem uma configuração que permite estabelecer novos padrões de eficiência relacionados à repetitividade de coleta e a exatidão das informações geradas sobre a superfície da Terra (Felix et al., 2009).

O objetivo deste estudo foi obter parâmetros biofísicos em áreas irrigadas e com vegetação natural (caatinga) no município de Petrolina (Pernambuco), utilizando o modelo SAFER, sem utilizar a banda termal, visando aumento da resolução espacial e obter maior detalhamento da superfície, possibilitando monitoramento das áreas irrigadas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho compreende parte do município de Petrolina, localizada às margens do Rio São Francisco, Pernambuco (Figura 1). Segundo a classificação climática de Koppen, o clima é BSh (semi-árido com curta estação chuvosa no verão) com temperatura média de 24,8°C e precipitação anual de 435 mm, sendo agosto o mês mais seco e o período chuvoso concentrado entre os meses de novembro e abril.

Para a realização deste estudo foram utilizados dados da rede de estações meteorológicas da Embrapa Semi-árido e quatro imagens do satélite RapidEye (*tiles 2434707*) referente aos dias 12/09/2011, 06/12/2012, 18/11/2013 e 15/09/2014.

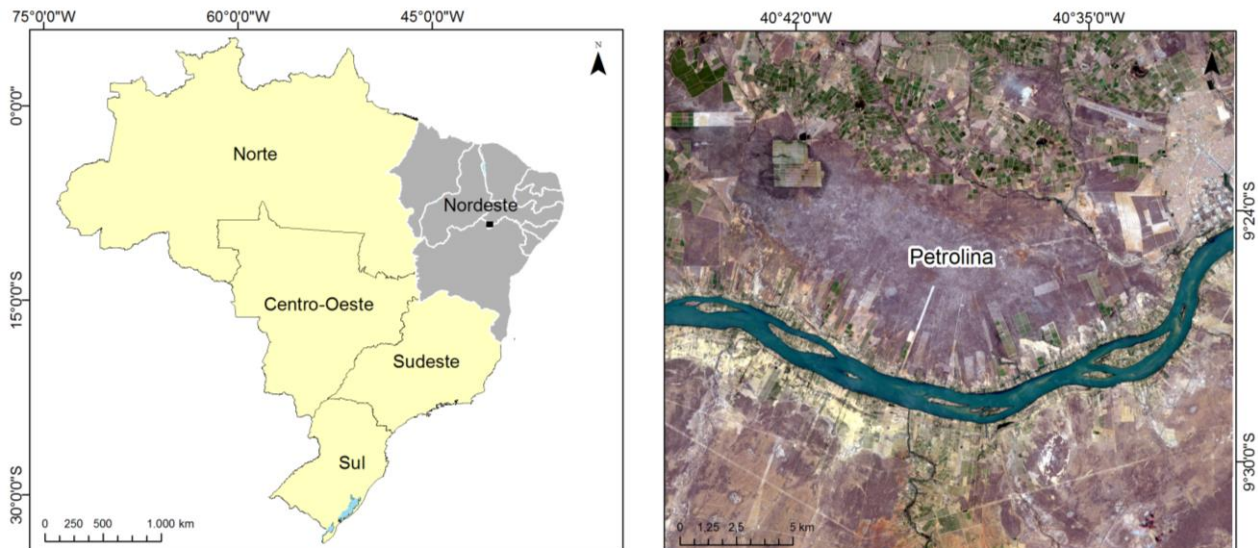


Figura 1 – Localização da área de estudo, Petrolina-PE, às margens do Rio São Francisco.

A evapotranspiração foi obtida através do modelo agrometeorológico espectral SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) (Teixeira 2012a). O SAFER envolve parâmetros obtidos por sensoriamento remoto como albedo da superfície (α_0), a temperatura da superfície (T_s) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), assim como dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0). Foram utilizados dados da rede de estações automáticas da Embrapa Semi-Árido.

A partir das imagens RapidEye, foi calculado o albedo da superfície (α_0):

$$\alpha_{pband} = \frac{L_{band} \pi d^2}{R_{aband} \cos \phi} \quad (1)$$

onde L_{band} é a radiação espectral para os comprimentos de onda de cada banda, d é distância relativa Terra-Sol; R_{aband} é a irradiância solar média no topo da atmosfera para cada banda ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) e ϕ é o ângulo zenital solar.

As bandas 1 a 5 do RapidEye, foram usadas para o cômputo de α_p , sendo calculado como a média ponderada de α_{pband} de acordo com o peso de cada banda (w_{band}) (Teixeira et al., 2014a):

$$\alpha_p = \sum w_{band} \alpha_{pband} \quad (2)$$

A temperatura da superfície (T_s) foi obtida por resíduo na equação do balanço de radiação (Teixeira et al., 2004a,b):

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \epsilon_A \sigma T_a^4 - R_n}{\epsilon_s \sigma}} \quad (3)$$

onde R_G e T_a são os valores diários da radiação solar global incidente e a temperatura média do ar, respectivamente, provenientes das estações meteorológicas, R_n é o saldo de radiação diário.

As emissividades da atmosfera (ϵ_A) e da superfície (ϵ_s) foram calculadas como segue (Teixeira et al., 2014a,b):

$$\begin{aligned} \epsilon_A &= a_A + (\ln \tau_{sw})^{b_A} \\ \epsilon_s &= a_s \ln NDVI + b_s \end{aligned} \quad (4)$$

onde τ_{sw} é a transmissividade para ondas curtas, e a_A , b_A , a_s e b_s são os coeficientes de regressão (Teixeira et al., 2014a).

Os valores diários de R_n foram obtidos pela equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{sw} \quad (5)$$

onde a_L é um coeficiente de regressão da relação entre o saldo de radiação de ondas longas e τ_{sw} na escala diária. Este coeficiente foi espacializado de acordo com os valores de T_a (Teixeira et al., 2014a,b).

O algoritmo SAFER foi usado para modelagem dos valores instantâneos da razão da ET para a evapotranspiração de referência (ET_0), a qual multiplicada pelos valores diários da ET_0 da estação meteorológica fornece a evapotranspiração (ET) em larga escala.

$$\frac{ET}{ET_0} = \left\{ \exp \left[g + h \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

onde ET_0 é calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e g e h são os coeficientes de regressão (Teixeira et al., 2014a,b).

Posteriormente, estimou-se o acúmulo de biomassa da vegetação para um dado período:

$$Bio = \sum (\varepsilon_{max} \times E_f \times APAR \times 0,864) \quad (7)$$

Em que, Bio é o acúmulo de biomassa da vegetação ($kg\ ha^{-1}$), ε_{max} é a máxima eficiência do uso da radiação, considerou-se o valor de $2,5\ g\ MJ^{-1}$ (Bastiaanssen e Ali, 2003), E_f é a razão entre o fluxo de calor latente (λE , em $W\ m^{-2}$) e o saldo de radiação (R_n , $W\ m^{-2}$) (Teixeira et al., 2012).

A produtividade da água foi obtida pela expressão:

$$PA = \frac{BIO}{ET}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do modelo SAFER, juntamente com dados de estações meteorológicas e imagens de alta resolução espacial, foram obtidos os valores médios dos parâmetros biofísicos como evapotranspiração (ET), albedo (α), biomassa (BIO), temperatura da superfície (T_{sup}) e produtividade da água (PA), em áreas irrigadas e de vegetação natural (caatinga) em Petrolina-PE. Observa-se que com a metodologia proposta neste estudo, utilizando imagens de alta resolução espacial e dados de estações meteorológicas, foi possível discriminar o comportamento espectral entre as áreas irrigadas e vegetação natural. A desvantagem de utilização de imagens de alta resolução espacial é a captação de imagens sem nuvens, impedindo mapeamento da superfície em períodos chuvosos.

Na Tabela 1, observa-se que os valores médios diários do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram $0,15 \pm 0,15$ e $0,18 \pm 0,16$, para as imagens de 2011 e 2014, respectivamente. Nas áreas irrigadas, o NDVI alcançou valores superiores a 0,7, salientando a resposta da vegetação à irrigação. Em áreas com vegetação natural, o NDVI ficou em torno de 0,12 e valores negativos no Rio São Francisco. Já o albedo médio diário não variou entre as cenas analisadas (Figura 2), ficando em torno de $0,21 \pm 0,02$, porém obtendo informações sobre as áreas irrigadas, observa-se a variação do parâmetro (tonalidades de vermelho a azul). Pode-se considerar que o NDVI responde melhor à variação das condições hídricas que o albedo, corroborando com os resultados obtidos por Teixeira et al. (2015).

Na análise da temperatura da superfície (T_{sup}), observa-se que na imagem de 2011 foram observados valores médios superiores aos observados na imagem de 2014, sendo $315,94 \pm 4,08\ K$ e $310,09 \pm 3,76\ K$, respectivamente. A produtividade da água (PA) em áreas irrigadas alcançou valores superiores a $4,16\ Kg.m^{-3}$. A evapotranspiração média diária de toda a cena de 2011 foi $0,47 \pm 1,14\ mm$ e valor máximo de 6,96 nas áreas irrigadas. Na imagem de 2014, os valores máximos de ET alcançaram valores superiores a 7,6 mm nas áreas irrigadas e valores médios diários foram de $0,64 \pm 1,43\ mm$ (Tabela 1). Em 2014, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, a ET alcançou valores superiores aos observados na cena de 2011. Isso pode ser devido à ocorrência do fenômeno El Niño que acarreta diminuição na precipitação na região e, conseqüentemente escassez de água.

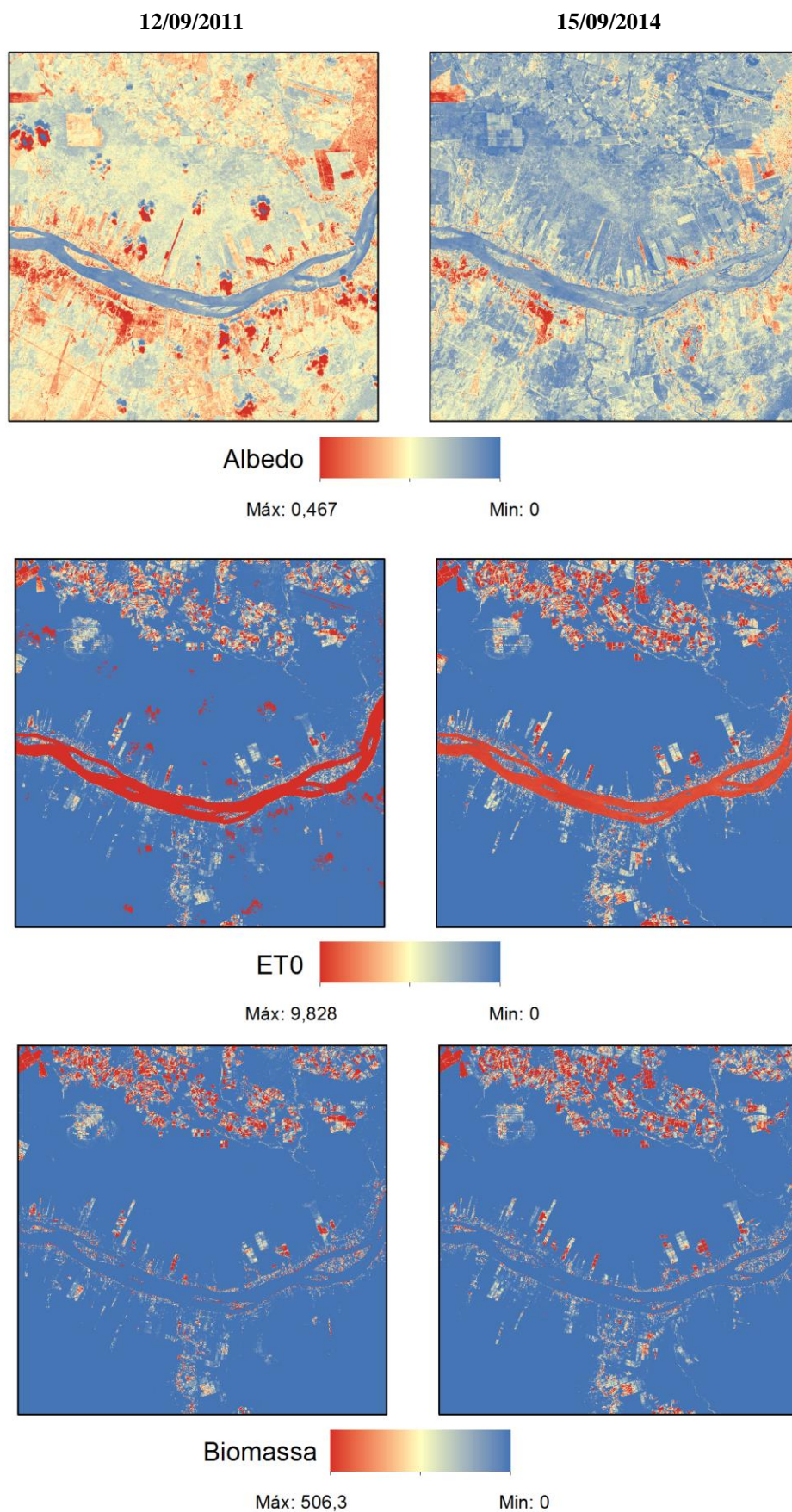


Figura 2. Distribuição espacial dos parâmetros hidroespectrais obtidos via SAFER, com imagens RapidEye , (a) albedo, (b) evapotranspiração (ET); (c) biomassa (BIO), nas datas 12/09/2011 e 15/09/2014, respectivamente.

Tabela 1 – Estatísticas dos parâmetros biofísicos obtidos das cenas referentes do satélite RapidEye (NDVI, albedo, temperatura da superfície (T_s) e evapotranspiração (ET).

Parâmetros	12/09/2011	06/12/2012	18/11/2013	15/09/2014
	$\mu \pm \sigma$; []	$\mu \pm \sigma$; []	$\mu \pm \sigma$; []	$\mu \pm \sigma$; []
Albedo	0,21 \pm 0,03; [0,13; 0,47]	0,20 \pm 0,02; [0,14; 0,44]	0,21 \pm 0,02; [0,13; 0,45]	0,20 \pm 0,02; [0,13; 0,47]
NDVI	0,15 \pm 0,15; [-0,54; 0,77]	0,16 \pm 0,15; [- 0,46; 0,79]	0,16 \pm 0,16; [-0,48; 0,84]	0,18 \pm 0,16; [-0,38; 0,92]
T_s (K)	315,94 \pm 4,08; [306,95; 349,2]	316,2 \pm 4,26; [307,04; 349,3]	315,29 \pm 4,20; [248,3; 306,16]	310,09 \pm 3,76; [301,77; 343,3]
ET (mm.dia ⁻¹)	0,47 \pm 1,14; [0; 6,96]	0,44 \pm 1,08; [0; 7,3]	0,46 \pm 1,10; [0; 7,77]	0,64 \pm 1,43; [0; 9,83]
BIO (Kg.ha.dia ⁻¹)	6,62 \pm 24,29; [0; 337,83]	7,42 \pm 26,69; [0; 366,26]	9,24 \pm 32,43; [0; 416,72]	13,71 \pm 44,65; [0; 506,3]
PA (Kg.m ⁻³)	0,42 \pm 0,89; [0; 4,9]	0,46 \pm 0,93; [0; 5,01]	0,48 \pm 1,00; [0; 5,36]	0,52 \pm 1,0; [0; 5,46]

Nas áreas de vegetação natural (caatinga), foram observados os menores valores de ET (tons de azul), em torno de 1,5 mm, contrastando com as áreas irrigadas (tons de vermelho). Isto se deve ao fato de que a energia disponível no sistema é utilizada para aquecimento do ar, enquanto que nas áreas irrigadas essa energia é dispendida para o processo evapotranspiratório. Durante a época seca, a caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET (Teixeira, 2008).

Na Figura 2c, observa-se a distribuição espacial da biomassa com destaque para as áreas irrigadas (vermelho) alcançando 300 kg ha⁻¹.dia⁻¹. Nas áreas de vegetação natural (em tons de azul) foram encontrados os menores valores de biomassa, sendo inferiores a 40 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Conforme Teixeira (2009), os consumos hídricos das culturas irrigadas nas condições semiáridas brasileiras excedem aquele para as espécies da Caatinga durante o período naturalmente mais seco, promovendo um aumento na produção de biomassa (BIO) e nas taxas da evapotranspiração atual (ET) em larga escala.

Em análise de áreas irrigadas e caatinga utilizando modelagem agrometeorológica espectral com imagens Landsat-8, Teixeira et al. (2015) encontraram valores incrementais, representativos dos efeitos da substituição da vegetação natural por culturas irrigadas foram de 40, 54 e 23%, para respectivamente ET, BIO e PA.

A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar os indicadores biofísicos em áreas irrigadas e vegetação natural, com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal, possibilitando utilizar imagens de alta resolução espacial e temporal no manejo dos recursos hídricos. Recomenda-se analisar uma série temporal de imagens de satélite juntamente com dados meteorológicos históricos, possibilitando o monitoramento da Bacia do São Francisco, contribuindo para o gerenciamento culturas irrigadas, diante da escassez dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar os indicadores biofísicos em áreas com irrigação e vegetação natural no nordeste brasileiro, em diferentes anos com ocorrência de estiagens severas, com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal. Com o modelo agrometeorológico espectral SAFER é possível discriminar as áreas irrigadas, possibilitando o monitoramento da Bacia do São Francisco, contribuindo para o planejamento e gerenciamento da utilização dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Rome, Italy, 300 pp, 1998.

BASTIAANSEN, W.G.M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, p. 32-340, 2003.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 9, p.747-766, 1972.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. *In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Abr. 2009, INPE, pp. 7619-7622.

TEIXEIRA, A.H. de C. *Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region*; LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 226p., 2009.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G. ; LEIVAS, J.F. ; BOLFE, E. L. Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. *Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering*, v. 9239, p. 923900-1-923900-10, 2014a.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; VICTORIA, D. DE C.; ANDRADE, R.G. ; LEIVAS, J.F. ; BOLFE, E.L. ; CRUZ, C.R. Coupling MODIS images and agrometeorological data for agricultural water productivity analyses in the Mato Grosso state, Brazil. *Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering*, v. 9239, p. 92390W-1- 92390W-14, 2014b.

TEIXEIRA, A.H. DE C. BASTIAANSEN, W.G.M., AHMAD, M.D., MOURA, M.S.B., BOS, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 362, p. 110-127, 2008b.

TEIXEIRA, A. H. de C., LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T. Water productivity assessments with landsat 8 images in the Nilo Coelho irrigation scheme. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 1-10, 2015.

TEIXEIRA, A.H. de C. *Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region*. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2009, 226p.