

## Obtenção de evapotranspiração e indicadores hídricos em perímetros irrigados usando imagens RapidEye

Janice Freitas Leivas<sup>1</sup>  
Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1</sup>  
Gustavo Bayma-Silva<sup>1</sup>  
Edlene Aparecida Monteiro Garçon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM  
Av Soldado Passarinho, 303 – 13070-115 - Campinas - SP, Brasil  
{janice.leivas, heriberto.teixeira, gustavo.bayma, edlene.garçon}@embrapa.br

**Abstract.** The objective in this study was to obtain evapotranspiration (ET) and biophysics parameters at irrigated 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 Jaíba (North of Minas Gerais) and Petrolina (Pernambuco state), located at in the São Francisco river basin, Brazil, in 2011, 2012, 2013, and 2014. The average daily evapotranspiration rate in Petrolina for 2011 scene was of  $0.47 \pm 1.14$  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  $0.64 \pm 1.43$  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. In 2013, daily average evapotranspiration (ET) of Jaíba was  $0.43 \pm 0.96$  mm and maximum value was 6.11 mm. In 2014, the average daily ET value was  $2.19 \pm 2.01$  mm. The results obtained enabled evaluating evapotranspiration 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:** SAFER, Agrometeorological model, remote sensing, modelo agrometeorológico espectral, sensoriamento remoto

### 1. 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. O Perímetro Irrigado de Jaíba apresenta uma grande área com agricultura irrigada, localizada nos municípios de Jaíba, Matias Cardoso e Verdelândia, no Estado de Minas Gerais, na margem direita do Rio São Francisco. Jaíba é um polo de produção de frutas e está entre os maiores do país no suprimento de banana, manga, limão, tomate, entre outros.

A consolidação de áreas irrigadas em Petrolina e Jaíba promoveu o desenvolvimento desses municípios, 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 da evapotranspiração (ET) 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 biofisicamente 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.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo deste trabalho compreende parte do município de Petrolina (Pernambuco) e Jaíba, (no norte de Minas Gerais) ambos pertencentes a Bacia do Rio São Francisco (Figura 1).

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 para Petrolina. Para Jaíba, foram obtidas imagens dos *tiles* 2332020 referente aos dias 26/06/2013 e 29/04/2014.

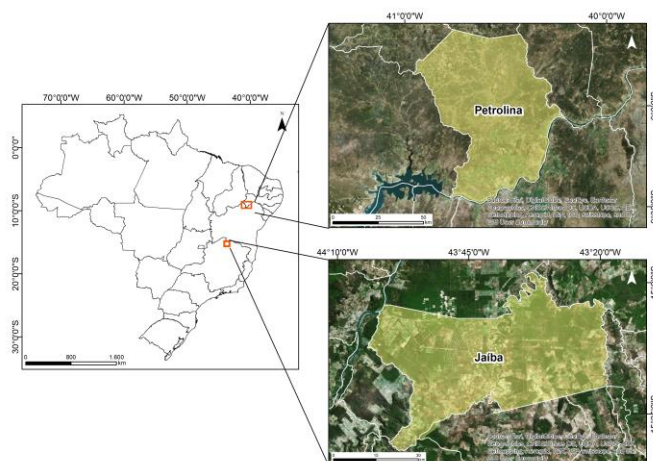


Figura 1 – Localização da área de estudo, Petrolina-PE e Jaíba-MG.

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 ( $\alpha_0$ ), 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 ( $\alpha_0$ ):

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

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  $\phi$  é o ângulo zenital solar. As bandas 1 a 5 do RapidEye, foram usadas para o cômputo de  $\alpha_p$ , sendo calculado como a média ponderada de  $\alpha_{pband}$  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 ( $\epsilon_A$ ) e da superfície ( $\epsilon_S$ ) foram calculadas como segue (Teixeira et al., 2014a,b):

$$\begin{aligned} \epsilon_A &= a_A + (\ln \tau_s)^{b_A} \\ \epsilon_S &= a_S \ln NDVI + b_S \end{aligned} \quad (4)$$

onde  $\tau_{sw}$  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  $\tau_{sw}$  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:

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

em que,  $Bio$  é o acúmulo de biomassa da vegetação ( $kg\ ha^{-1}$ ),  $E_{max}$  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 (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:

$$PA = BIO/ET \quad (8)$$

### 3. 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 ( $\alpha$ ), 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. 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 (Tsup), 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  $4,16 \text{ Kg.m}^{-3}$ . A evapotranspiração média diária de toda a cena de 2011, em Petrolina, 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. 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.

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  $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Nas áreas de vegetação natural (em tons de azul) foram encontrados os menores valores de biomassa, sendo inferiores a  $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . 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.



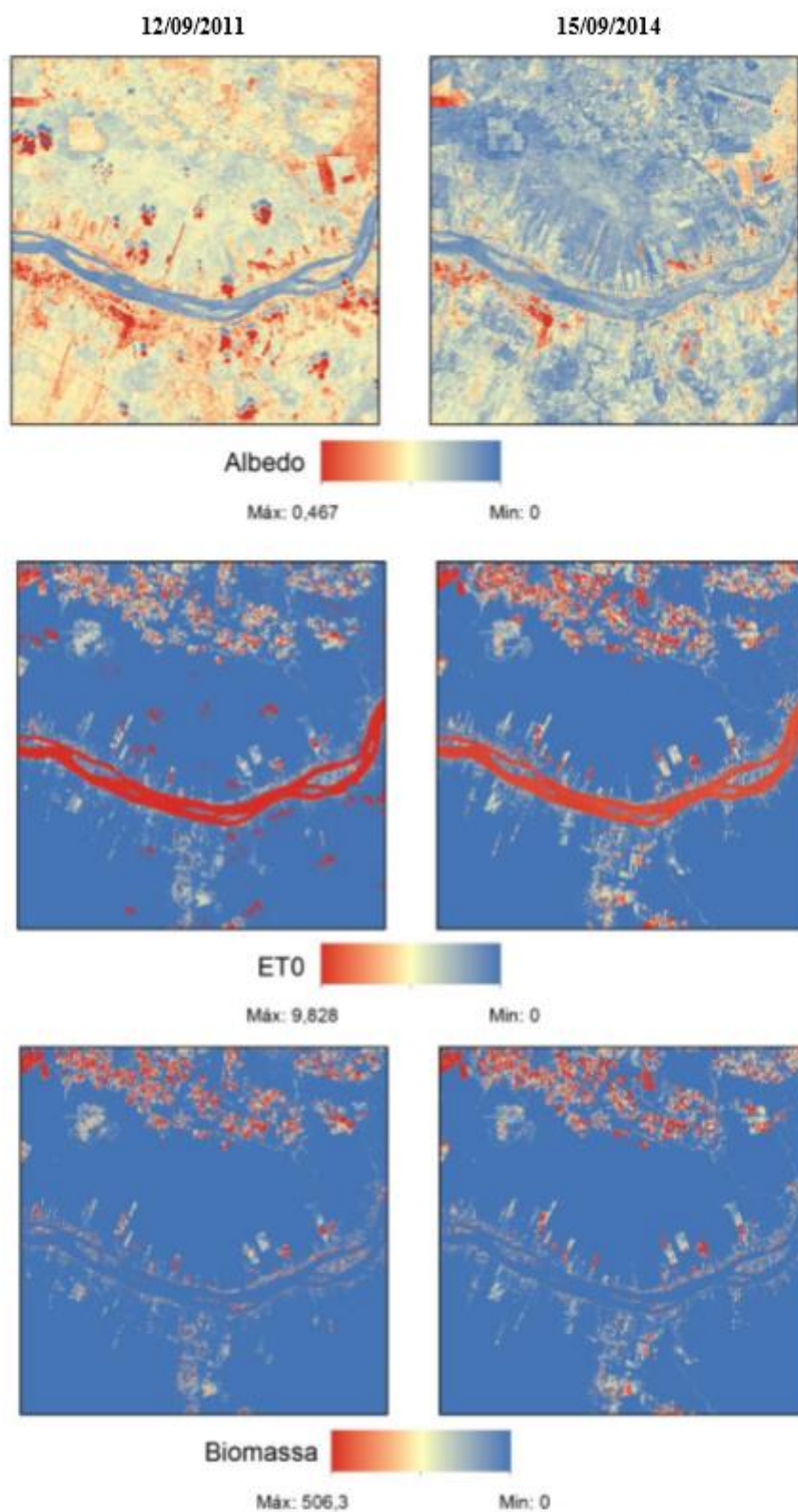


Figura 2. Distribuição espacial dos parâmetros hidroespectrais obtidos via SAFER, com imagens RapidEye, (a) albedo, (b) evapotranspiração (ET); (c) biomassa (BIO), nas datas 12/09/2011 e 15/09/2014, respectivamente, em Petrolina-PE.

Nas imagens da área do perímetro irrigado de Jaíba, a ET média diária de toda a cena de 2013 foi  $0,43 \pm 0,96$  mm, e seu valor máximo foi de 6,11 mm. Nesta mesma área, na imagem de 2014, os valores máximos de ET alcançaram 8,22 mm e valores médios diários foram de  $2,19 \pm 2,01$  mm. Em 2014, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, a ET alcançou valores superiores aos observados na cena de 2013, podendo ser devido à ocorrência do fenômeno El Niño que acarretou diminuição na precipitação na região. Analisando os dados meteorológicos da estação de Jaíba, observa-se que precipitação ficou abaixo da normal climatológica (64 mm), não sendo registrada ocorrência de chuvas na região. Em 2014, os irrigantes dessa região enfrentaram prejuízos com a interrupção de novos plantios nas áreas irrigadas, devido à escassez de água.

Nas áreas de vegetação natural (Caatinga), foram observados os menores valores de ET contrastando com as áreas irrigadas, com ET superiores a 5 mm (Figura 3). 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).

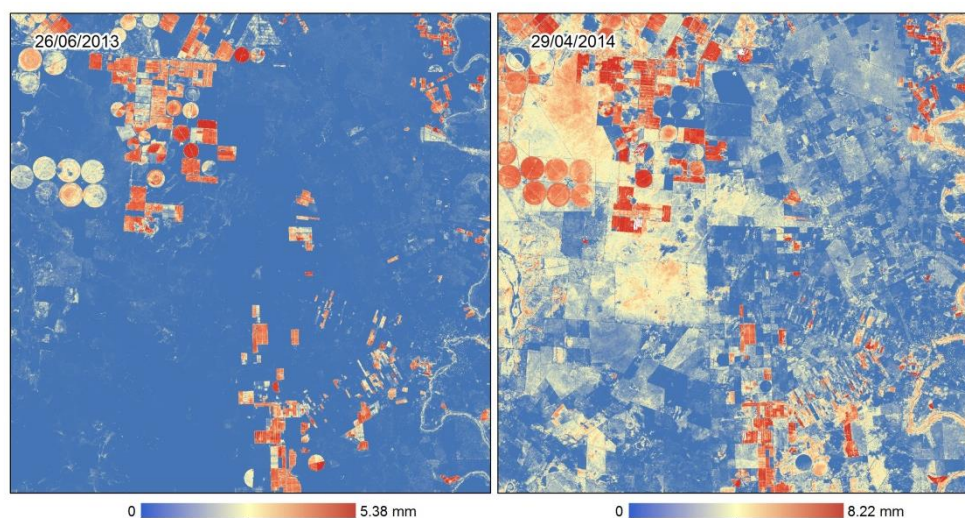


Figura 3. Distribuição espacial dos valores de ET obtidos através do modelo SAFER, utilizando imagens RapidEye, em Jaíba-MG.

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.

#### 4. Considerações Finais

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar indicadores hídricos como ET e biomassa em áreas com irrigação e vegetação natural, em diferentes anos com ocorrência de estiagens severas. Com a utilização de imagens de alta resolução espacial do sensor RapidEye foi possível determinar a evapotranspiração em áreas extensas com irrigação e vegetação natural, com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal. O modelo agrometeorológico foi sensível às variações das condições hídricas. Recomenda-se analisar uma série temporal de imagens de satélite juntamente com dados meteorológicos históricos,

para contribuir para o gerenciamento culturas irrigadas, principalmente em períodos de déficit hídrico.

## 5. 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.
- Bastiaanssen, 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...** 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. Bastiaanssen, 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.