

## OBTENÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA VEGETAÇÃO DE CAATINGA NO MUNICÍPIO DE SERRA NEGRA DO NORTE – RN

E. G. Dos Santos<sup>1</sup>, C. A. C. Santos<sup>2</sup>, A. H. C. Teixeira<sup>3</sup>

**RESUMO:** Analisou-se o comportamento da Evapotranspiração (*ET*) a partir de imagens de satélite provenientes do Landsat 8, para alguns dias dos anos 2014 e 2015. Utilizou-se para tal o algoritmo SAFER com a finalidade de obter valores de *ET* com elevado nível de precisão, com os quais possibilitem a identificação da variabilidade espacial e temporal da *ET* e as condições de sazonalidade climática. As estimativas de *ET* variaram dentro de uma escala de 0 a 8 mm $\text{dia}^{-1}$ , com os menores valores de *ET* observados nos meses de agosto e setembro, meses em que o saldo de radiação (*Rn*) atingiu maiores valores. Os maiores valores de *ET* ocorreram nos meses de maio e junho. Os resultados foram validados com dados obtidos em torres micrometeorológicas localizados na área de estudo. Esses valores de *ET* estão associados à variabilidade climática cuja irregularidade pluviométrica é a principal característica dessa região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sazonalidade, Algoritmo SAFER, Sensoriamento Remoto.

## OBTAINING EVAPOTRANSPIRATION OF CAATINGA VEGETATION IN THE MUNICIPALITY OF SERRA NEGRA DO NORTE – RN

**SUMMARY:** Evapotranspiration (*ET*) behavior was analyzed from Landsat 8 satellite images, for some cloud free days in 2014 and 2015. The SAFER algorithm was used to obtain *ET* values with a high precision level, which allow the identification of the spatial and temporal variability of the *ET* and the conditions of climatic seasonality. *ET* estimates varied within a range of 0 and 8 mm $\text{day}^{-1}$ , with the lowest *ET* values observed in August and September, when the net radiation (*Rn*) showed higher values. The highest *ET* values occurred in the months of May and June. The results were validated with data obtained from micrometeorological tower located in the study area. These *ET* values are associated with climatic variability whose rainfall irregularity is the main characteristic of this region.

<sup>1</sup> Doutorando, UACA/CTRN/UFCG. Campina Grande - Paraíba. Email: elder.ufcg@gmail.com

<sup>2</sup> Professor, UACA/CTRN/UFCG. Campina Grande - Paraíba. Email: carlos.santos@ufcg.edu.br

<sup>3</sup> Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP. Email: heriberto.teixeira@embrapa.br

**KEYWORDS:** Seasonality, SAFER Algorithm, Remote Sensing.

## INTRODUÇÃO

O bioma da Caatinga é considerado o único bioma exclusivo do Brasil, cobrindo 734.478 km<sup>2</sup> na região Nordeste e ocorrendo em manchas no norte de Minas Gerais (SCARDUA, 2004). Caracterizado por um clima quente e semiárido, fortemente sazonal, com menos de 1000 mm de chuva anuais, concentrados fortemente em um período de três a seis meses.

Diante deste fato, com a crescente demanda hídrica e, por outro lado, a deterioração dos recursos naturais e sua escassez em algumas regiões especialmente no semiárido Brasileiro o gerenciamento integrado dos recursos hídricos torna-se cada vez mais imprescindíveis (SCHMIDT et al., 2004).

Em escala regional, existem métodos que usam imagens de satélite e dados meteorológicos de superfície para calcular tanto a evapotranspiração de referência, quanto a evapotranspiração real (*ET*). Um exemplo destes métodos é o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration*) (TEIXEIRA, 2010), que tem sido utilizado em estudos como mecanismo para a obtenção da *ET* para grandes áreas especialmente aplicadas na região do semiárido.

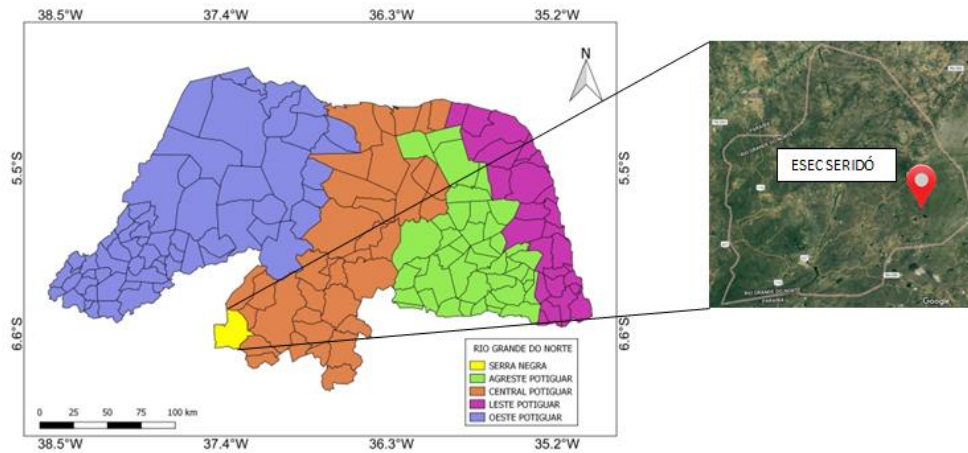
O presente trabalho teve como objetivo aplicar o algoritmo SAFER utilizando imagens Landsat 8 e dados de uma rede de estações micrometeorológicas na região da caatinga do Seridó, RN visando estimar e validar a evapotranspiração em escala local, fazendo-se uma relação da *ET* com a dinâmica da vegetação através do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) pertence à Estação Ecológica do Seridó-ESEC administrada pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (6° 34' 42.62"S e 37° 15' 04.73" W) que possui 1.128ha, situado, no sudoeste do estado do Rio Grande do Norte, no município de Serra Negra do Norte pertencente à mesorregião Seridó. A região é semiárida, com precipitação anual média em torno de 500 mm, concentrada entre janeiro e maio. A área de caatinga, apresentando vegetação secundária, caracterizada por predominância de espécies

arbustivas e arbóreas de pequeno porte, com o relevo levemente ondulado. (BENCKE et al. 2006).



**Figura 1.** Área de estudo, com destaque para a localização da Estação ecológica do Seridó.

A aquisição dos dados foi obtida para o período de 2014 nos dias 20/06/2014 e 23/08/2014 e no ano de 2015 nos dias 06/05/2015 e 27/09/2015 a partir de imagens Landsat 8, obtidas no site da USGS (<http://www.usgs.gov/>), utilizando para o processamento das imagens o software QGIS 2.14.1, e os dados para validação foram obtidos através de torres micrometeorológicas.

### **Descrição e validação do algoritmo SAFER**

Nas etapas para a modelagem dos componentes de energia e obtenção da evapotranspiração foi aplicado o procedimento metodológico adotado por Teixeira et al. (2013) que possibilitam a obtenção dos seguintes parâmetros: a reflectância monocromática de cada banda ( $\rho\lambda$ ); albedo planetário ( $\alpha_p$ ); albedo de superfície ( $\alpha_0$ ); saldo de radiação ( $R_n$ ); temperatura de brilho ( $T_{b10,11}$ ) das bandas 10 e 11; radiação solar global incidente ( $RS\downarrow$ ), radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre ( $RL\uparrow$ ); radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $RL\downarrow$ ); temperatura da superfície ( $T_0$ ) e NDVI. Para a elaboração do algoritmo SAFER os parâmetros de sensoriamento remoto foram inclusos na Equação 9 para a obtenção da evapotranspiração atual ( $ET$ ) em larga escala, conforme as equações descritas abaixo (TEIXEIRA, 2010):

A radiância espectral foi calculada a partir do número digital (DN):

$$L_b = \text{Gain} \times \text{DN} + \text{Offset} \quad (1)$$

Onde, *Gain* e *Offset* referem-se aos valores encontrados por Vanhellemont e Kevin Ruddick (2014).

O albedo planetário para cada banda do satélite Landsat ( $\alpha_{pb}$ ) será calculado como:

$$\alpha p_b = \frac{L_b \pi d^2}{R a_b \cos \varphi} \quad (2)$$

onde  $L_b$  é a radiância espectral para os comprimentos de onda da banda  $b$  ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ),  $d$  é a distância Terra-Sol relativa;  $R a_b$  é a irradiância solar médio no topo da atmosfera (ou irradiância atmosférica) para cada banda ( $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ) e  $\varphi$  o ângulo zenital solar.

Em seguida, o albedo planetário ( $\alpha_p$ ) foi calculado como a soma total de valores diferentes de cada banda  $\alpha p_b$  de acordo com os pesos de cada banda ( $W_b$ ).

$$\alpha p = \sum W_b \alpha p_b \quad (3)$$

Em que os valores de  $W_b$ , foram calculados como a razão entre a quantidade de radiação de onda curta, na parte superior da atmosfera numa banda específica e a soma para todas as bandas.

As irradiações espectrais das bandas 10 (L10) e 11 (L11) a partir das regiões térmicas L8 foram convertidas em temperaturas radiométricas aplicáveis na parte superior da atmosfera (TB) por inversão da lei da Planck na 10,6-11,19  $\mu\text{m}$  (banda 10) e 11,5-12,51  $\mu\text{m}$  (faixa 11):

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_b + 1}\right)} \quad (4)$$

onde  $K_1$  (774,89 e 480,89) e  $K_2$  (1321,08 e 1201,14) para as bandas de 10 e 11, respectivamente, são os coeficientes de conversão para o satélite L8. O valor médio  $T_b$  das duas bandas foi considerada a temperatura de brilho ( $T_{\text{bright}}$ ).

A partir de uma combinação de medições de campo com cálculos de  $\alpha_p$  por meio de medições pelo satélite Landsat 5 TM (TEIXEIRA et al., 2009) resultou na relação linear seguinte para correções das perturbações atmosféricas:

$$\alpha_0 = a\alpha_p + b \quad (5)$$

Onde  $a = 0,61$  e  $b = 0,08$  são os coeficientes de regressão para o momento da passagem do satélite encontrado nas condições semiáridas brasileiras para o período de imagens de 2001 a 2007, envolvendo diferentes condições climáticas (TEIXEIRA et al., 2009a).

A partir da temperatura de brilho ( $T_b$ ) obtemos a temperatura da superfície  $T_0$ :

$$T_0 = aT_b + b \quad (6)$$

Onde os coeficientes  $a = 1,07$  e  $b = -20,17$  foram obtidos para as condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA et al., 2009).

NDVI é um indicador relacionado com a cobertura do solo obtidas a partir de imagens de satélite como:

$$NDVI = \frac{\alpha p_{(nir)} - \alpha p_{(red)}}{\alpha p_{(nir)} + \alpha p_{(red)}} \quad (7)$$

onde  $\alpha p_{nir}$  e  $\alpha p_{red}$  representam o albedo planetário nos intervalos de comprimentos de onda do espectro solar nas regiões no infravermelho próximo (NIR) e vermelho (red), o que para o satélite L8 foram as bandas B5 e B4, respectivamente (ver Tabela 1)

$R_n$  diário pode ser calculada como:

$$R_n = (1 - \alpha_0)R_g - a_L \tau_{sw} \quad (8)$$

onde  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica e  $a_L$  é o coeficiente de regressão (TEIXEIRA, 2009).

Os valores instantâneos da relação  $ET / ET_0$  serão modelados e multiplicado pelos valores de  $ET_0$  das estações micrometeorológicas (TEIXEIRA et al., 2014) para a estimativa da ET em grande escala diária e, em seguida, transformados em unidades de energia para obter  $\lambda E$  :

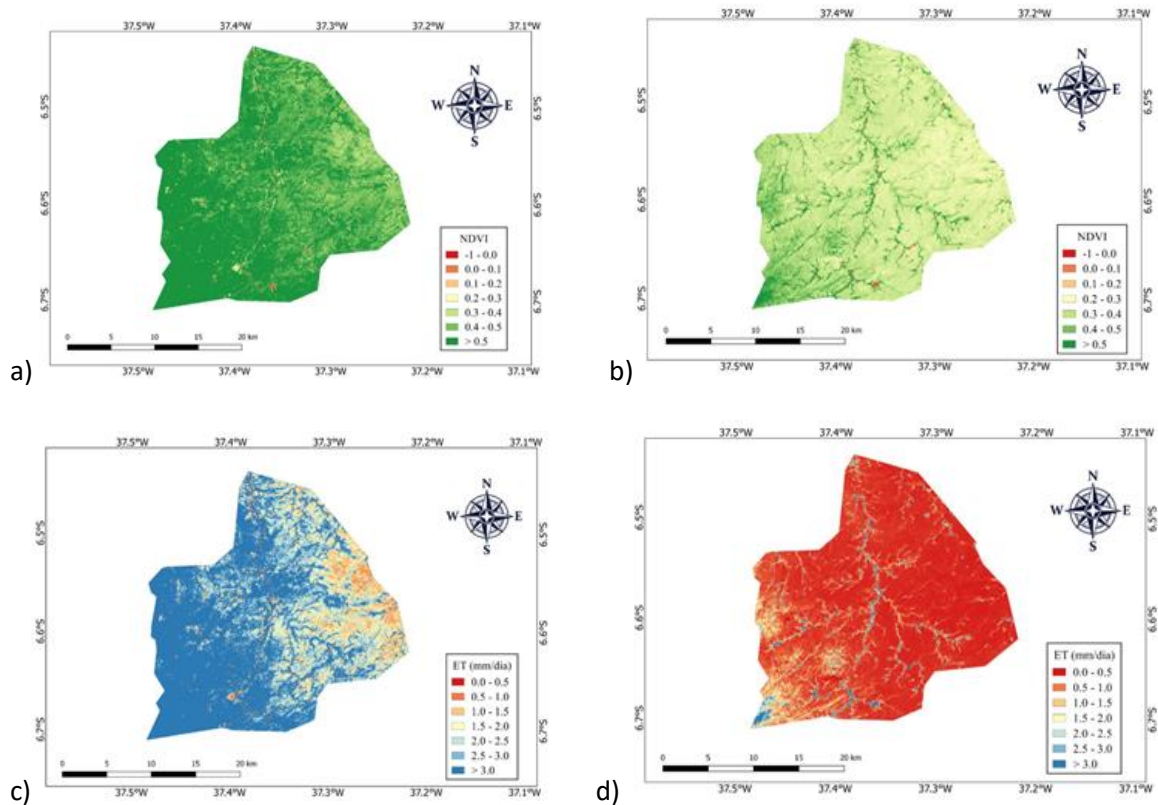
$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a_s + b_s \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (9)$$

em que,  $a_s$  e  $b_s$  são coeficientes de regressão, os quais foram 1,8 e -0,008 respectivamente, para condições semiáridas do Brasil e  $ET_0$  é obtido através da equação de Penman- Montheit.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

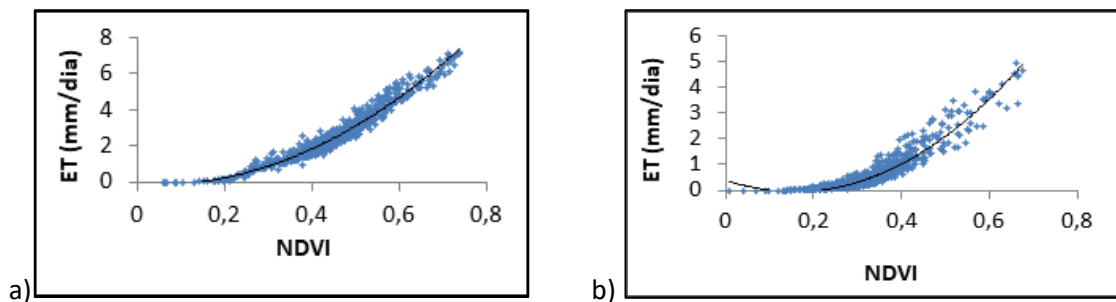
Analisando-se os resultados obtidos na Figura 2, onde o NDVI é um índice que reflete a intensidade do estresse hídrico. Os mapas de NDVI obtidos a partir das imagens LANDSAT 8 para os dias 20 de junho de 2014 e 23 de agosto de 2014, pode-se observar que as respostas obtidas pelo índice de vegetação estão bem distintos para as duas datas, havendo uma diminuição no NDVI (Figuras 2a e 2b), o mesmo ocorre com a  $ET$  (Figuras 2c e 2d). Na imagem de 20 de junho de 2014 (Figura 2a) a maior parte apresenta NDVI maior que 0,5 indicando presença de vegetação sem estresse hídrico, sendo que a região nordeste da mesma é a que apresenta os valores mais baixos ( $0,2 < NDVI < 0,4$ ), região onde se encontra as torres micrometeorológicas, enquanto os valores mais altos ( $NDVI > 0,5$ ) encontram-se nas regiões ao sudoeste, principalmente nas áreas mais elevadas. Por outro lado, na imagem de 23 de agosto de 2014 (Figura 2b), a maioria dos valores obtidos para o NDVI estão no intervalo de 0,2 a 0,4

em quase toda região central do mapa, exceto nas margens de corpos d'água e regiões situadas a sudoeste da imagem.



**Figura 2.** Distribuição espacial do NDVI (a e b) e da *ET* (mm/dia) (c e d) referentes aos dias 20/06/2014 (DJ 171) e 23/08/2014 (DJ 235).

Fazendo-se uma relação dos valores da *ET* com o NDVI (Figuras 3a e 3b) observa-se que no período de janeiro a junho (período chuvoso) e julho a dezembro (período seco) à medida que a *ET* aumenta (diminui) o NDVI também cresce (decrece), sugerindo que há uma correlação positiva entre as variáveis, evidenciando a existência de uma relação causa-efeito entre o estágio de desenvolvimento da vegetação como também o regime de chuvas.

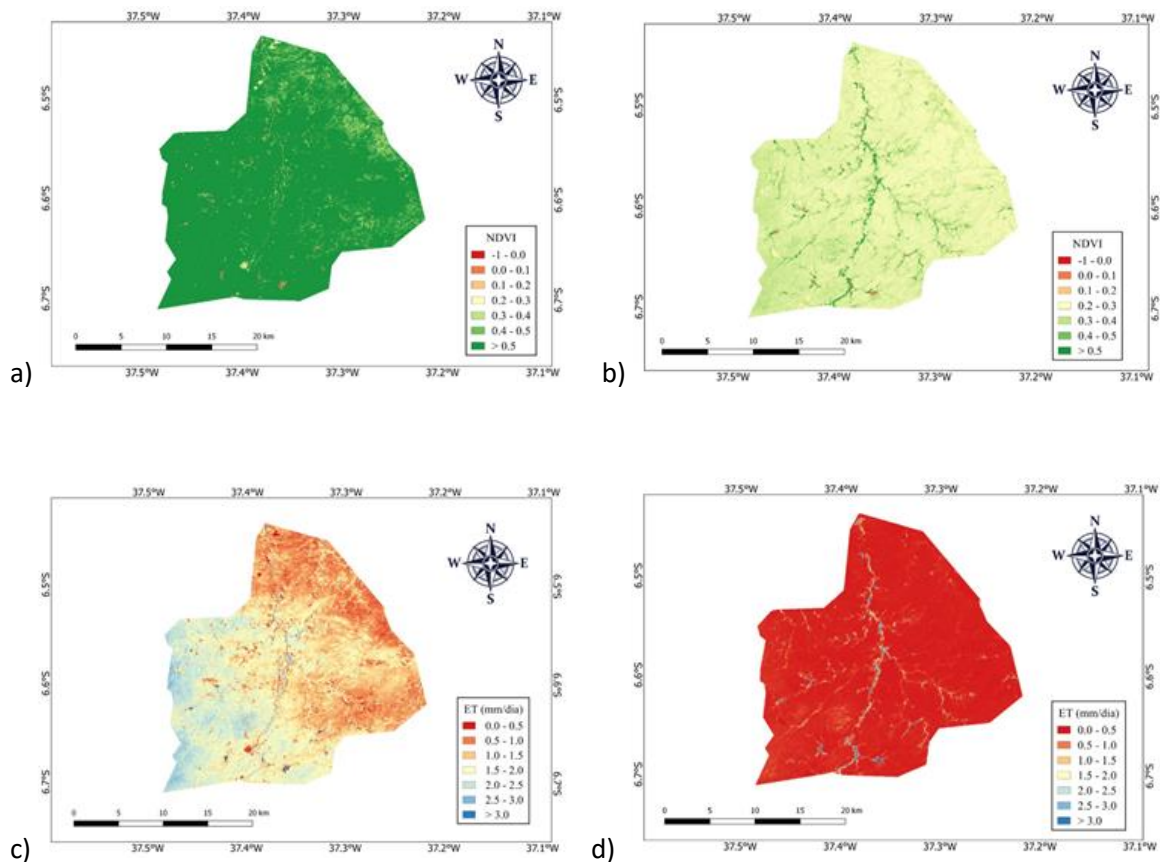


**Figura 3.** Dispersão entre as variáveis *ET* e NDVI estimado pelo SAFER, referentes aos dias 20/06/2014 (DJ 171) e 23/08/2014 (DJ 235).

Na Tabela 1 constam os valores do coeficiente de correlação entre a *ET* (evapotranspiração) e o NDVI, a equação de regressão polinomial do segundo grau foi a que melhor representou a relação existente entre essas duas variáveis, onde se obteve o menor coeficiente de correlação polinomial igual a 0,89 o que implica num coeficiente de determinação  $r^2 = 0,806$ . O modelo polinomial explica, portanto, 80,6% da variância total dos dados do NDVI em relação a *ET*. Também constam os valores observados empiricamente de *ET*, *Rn* e NDVI, o quais obteve-se erro percentual médio de 33,8%.

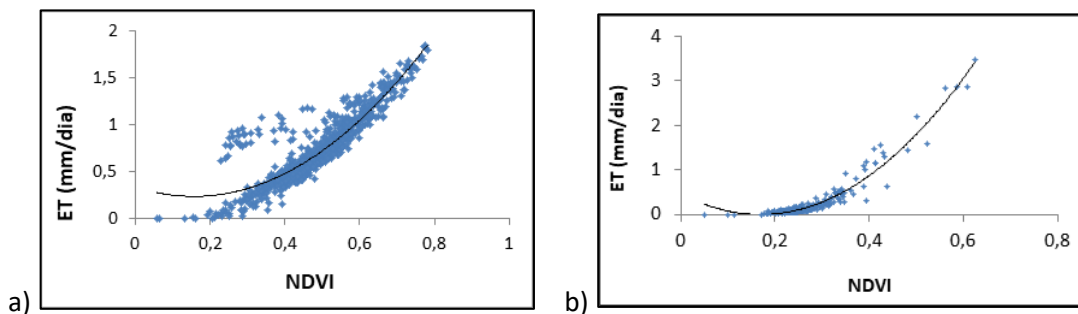
**Tabela 1.** Evapotranspiração observado (*ET*<sub>Obs</sub>) (mm/dia), Evapotranspiração estimado (*ET* SAFER) (mm/dia), Saldo de radiação *Rn*(W/m<sup>2</sup>), NDVI e coeficiente de determinação, para alguns dias de estudo referentes aos anos de 2014 e 2015.

DJ	ET(obs)	ETr(SAFER)	Rn (W/m <sup>2</sup> )	NDVI	R <sup>2</sup> (ETxNDVI)	r (ETxNDVI)
171/2014	3,1	1,7	267	0,24	0,9604	0,98
235/2014	7,3	5,1	216	0,43	0,9105	0,95
126/2015	1,8	1,2	287	0,23	0,8067	0,89
270/2015	7,0	5,0	179	0,60	0,9451	0,97



**Figura 4.** Distribuição espacial do NDVI e da *ET* (mm/dia) referentes aos dias 06/05/2015 (DJ 126) e 27/09/2015 (DJ 270).

Analisando-se a Figura 4 observa-se o mesmo comportamento dos resultados anteriores, onde os valores de NDVI para o dia 6 de maio de 2015 teve a maioria dos valores entre 0,4 e 0,8 e a *ET* para o mesmo dia entre 0 a 3 mm/dia, já no dia 27 de setembro de 2015 houve uma redução no NDVI e na *ET* obtendo-se valores 0,2 a 0,4 e 0 e 0 a 1 mm/dia respectivamente, valores esses correspondentes com o período seco da região a 1 mm/dia, respectivamente, valores esses correspondentes com o período seco da região.



**Figura 5.** Dispersão entre as variáveis *ET* e NDVI estimado pelo SAFER, referentes aos dias 06/05/2015 (DJ 126) e 27/09/2015 (DJ 270).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que as estimativas da *ET* obtidas a partir do modelo SAFER variaram conforme o regime pluviométrico da região, onde foi observado também uma subestimação através de uma validação realizada com os dados medidos e os estimados pelo método, onde obteve-se um erro percentual médio de 33,8% para a *ET* em um ponto específico. No entanto observou-se uma excelente correlação existente entre a *ET* e NDVI com os dados estimados para toda área do município, superiores a 0,9 o que mostra que o método é válido especialmente em áreas de grandes proporções e especialmente homogêneas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do Projeto de Pesquisa sob número 446172/2015-4 e da Bolsa de Produtividade em Pesquisa, assim como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do Projeto de Pesquisa sob nº. 88887.091737/2014-01.



## REFERÊNCIAS

- BENCKE, G. A., G. N. MAURÍCIO, P. F. DEVELEY & J. M. GOERCK (orgs.). 2006. Áreas Importantes para a Conservação das Aves no Brasil. Parte I – Estados do Domínio da Mata Atlântica. São Paulo: SAVE Brasil, p. 139.
- SCHMIDT, W; COELHO, R.D.; JACOMAZZI, M.A. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - Região Sudeste. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2004, v.8, n. 2-3, p.330-333, 2004.
- 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**, 226p, 2009.
- TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v.2, p.1287–1319, 2010.
- 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, 2014.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; Scherer-Warren, M.; Hernandez, F.B.T.; Andrade, R.G.; Leivas, J.F. Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study. **Remote Sensing**, v. 5, p. 5783-5804, 2013.
- VANHELLEMONT, Q.; KEVIN RUDDICK, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 105-115, 2014.