

## Componentes do balanço de energia da soja estimada por meio de imagens via satélite<sup>1</sup>

*Components of soy energy balance estimated by satellite images*

André Ricardo Gomes Bezerra<sup>\*2</sup>, Marcos Antonio Vanderlei Silva<sup>3</sup>, Ricardo Escobar de Matos<sup>4</sup>,  
Aracy Camilla Tardin Pinheiro<sup>5</sup>, Éder Stolben Moscon<sup>6</sup>

**Resumo** - Existem várias formas para mensurar a evapotranspiração, desde formas diretas, com a utilização de lisímetros, a indiretas como proposto por Penman-Montheith. Esses métodos podem ser considerados limitados, porque estimam valores pontuais de evapotranspiração para um local específico e não para uma escala mais ampla. Em uma nova perspectiva de trabalho, o emprego do algoritmo denominado Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL possibilita estimar os componentes do balanço de energia e evapotranspiração, fazendo uso apenas das radiancias espectrais registradas em sensores de satélites e de um conjunto mínimo de dados meteorológicos. Objetivou-se com o presente trabalho estimar as componentes do balanço de energia numa lavoura de soja, a partir do algoritmo SEBAL, e comparar com a calculada usando o modelo de Penman-Montheith-FAO. Foram utilizadas duas imagens (órbita 220 e ponto 69), do Mapeador Temático do Satélite LANDSAT 5 (TM - LANDSAT 5), composta de sete bandas espectrais, obtidas em datas distintas do ciclo da cultura da soja: 06 de janeiro e 07 de fevereiro de 2011, em que a mesma encontrava-se nos estádios fenológicos V9 e R2, respectivamente. Avaliou-se por meio de erros estatísticos o desempenho do SEBAL em estimar a evapotranspiração (ET), e os resultados se mostraram satisfatórios, quando consideradas as condições atmosféricas estáveis, podendo auxiliar na otimização e racionalização do uso da água.

**Palavras-chave** - *Glycine max.* Landsat 5. SEBAL.

**Abstract** - There are several ways to measure the evaporation from direct ways, using lysimeters, as proposed by the indirect Penman-Montheith. These methods can be considered limited, since evapotranspiration estimates punctual values to a specific location and not to a larger scale. On a new work perspective, the use of the algorithm termed Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL enables to estimate the components of energy balance and evapotranspiration, using only the spectral radiance recorded in satellite sensors and a minimum set meteorological data. This study aimed to estimate the components of energy balance in a soybean crop, from SEBAL algorithm, and to compare it calculated using Penman-Montheith-FAO model. It used two images (path 220 e row 69), from the Thematic Mapper Satellite LANDSAT 5 (TM - LANDSAT 5), composed of seven spectral bands, obtained at different dates of the cycle of soybean: 06 January and 7 February 2011, in the V9 and R2 growth stages, respectively. It was evaluated through performance statistical errors in estimating the SEBAL evapotranspiration (ET), and the results were satisfactory when considering stable atmospheric conditions and can help in optimization and rationalization of water use.

**Key words** - *Glycine max.* Landsat 5. SEBAL.

\*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 11/04/2013 e aprovado em 11/02/2014

<sup>1</sup>Parte do trabalho de conclusão de curso do terceiro autor

<sup>2</sup>Doutorando em Fitotecnia, bolsista CNPq, Depto. de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, bezerra.agro@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Professor adjunto, Depto. de Ciências Humanas, *Campus IX*, Universidade do Estado da Bahia, Barreiras-BA, maavsilva@uneb.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, JCO bioprodutos, Barreiras-BA, ricardoescobar327@hotmail.com

<sup>5</sup>Mestranda em Fitotecnia, bolsista CNPq, Depto. de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, aracycamilla@hotmail.com

<sup>6</sup>Mestrando em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília-DF, hederstolben@hotmail.com

## Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância na economia brasileira. O Brasil ocupa uma posição de destaque na produção mundial do grão, com 66,4 milhões de toneladas na safra 2011/12 (CONAB, 2012). No Oeste da Bahia, a partir da década de 80, a implantação desta cultura deu nova dinâmica de desenvolvimento a região, inserindo-se de forma progressiva e competitiva na estrutura produtiva nacional, notabilizando-se como principal área produtora de grãos do Nordeste brasileiro (SEAGRI, 2008).

Com o crescimento de áreas plantadas com soja no oeste baiano, visando o aumento de produção, se faz necessário a adoção de novas técnicas de cultivo, que impulsionem um maior crescimento produtivo. A irrigação entra como fator decisivo para melhorar ainda mais os índices de produção. Contudo, é necessário que se faça um manejo de irrigação que se adeque as necessidades hídricas das plantas (Bernardo *et al.*, 2008). Uma maneira de disponibilizar água na quantidade correta para a planta é estimando o quanto de água evapotranspirou do conjunto solo/planta, técnica essa, que pode ser utilizada através do sensoriamento remoto, com imagens de satélite.

Existem várias formas para mensurar a evapotranspiração, desde formas diretas, com a utilização de lisímetros, a indiretas como proposto por Penman-Monteith. Segundo Santos *et al.* (2010), esses métodos podem ser considerados limitados, porque estimam valores pontuais de evapotranspiração para um local específico e não para uma escala mais ampla. Em uma nova perspectiva de trabalho, Bastiaanssen *et al.* (1998a, b) desenvolveu um algoritmo denominado Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL, que visa estimar as componentes do balanço de energia e possibilita estimar a evapotranspiração (ET), fazendo uso apenas das radiancias espectrais registradas em sensores de satélites e de um conjunto mínimo de dados meteorológicos.

As componentes do balanço de energia (BE) determinadas com o SEBAL são calculadas a partir da quantificação da densidade de fluxo de calor latente (LE), que é obtido como resíduo da equação do BE (Bezerra *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2010; Gusmão *et al.*, 2012; Leite e Brito, 2012). O uso do SEBAL tem a grande vantagem de proporcionar o balanço de energia à superfície de maneira efetiva e econômica, possibilita uma grande cobertura espacial e, dependendo do sensor orbital que o alimenta com dados dos canais reflectivos e termiais, pode apresentar grande resolução espacial (Silva *et al.*, 2005). Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho estimar as componentes do balanço de energia via satélite, utilizando o algoritmo SEBAL, e comparar com os dados medidos em campo, usando o modelo de Penman-Monteith-FAO.

## Material e métodos

O trabalho foi realizado em condições de campo, na Fazenda Busato I situada no município de São Desidério, no estado da Bahia, geograficamente localizada na latitude 12°53'51,2"S e longitude 45°30'10,9"O, com altitude de 770 m. O solo da área experimental foi caracterizado pedologicamente como Latossolo Amarelo franco-arenoso (EMBRAPA, 1999).

O genótipo de soja utilizado foi a cultivar M-SOY 9144 RR, de ciclo tardio, sendo uma das mais cultivadas e adaptadas a região. A semeadura ocorreu em 25 de novembro de 2010, (Dia do ano – DDA 334) emergindo cinco dias depois. O espaçamento de plantio foi de 0,45 m com 12 plantas m<sup>-1</sup>, sob regime de sequeiro. A produtividade média da cultura ficou em 78 sacas ha<sup>-1</sup>.

Os elementos climáticos foram obtidos a partir de uma Estação Meteorológica Automática (EMA), da DAVIS Instruments, instalada a 1000 m da área de estudo. Os dados obtidos permitiram a caracterização climática ao longo do período experimental. Esses elementos foram registrados continuamente em um sistema *Datalogger*, que armazenou as informações geradas a cada segundo, com valores médios calculados a cada 30 minutos. A EMA é composta dos sensores de temperatura do ar (°C) instalado a 2 m da superfície, umidade relativa (%), velocidade do vento a 2 m (m s<sup>-1</sup>), chuva (mm) e radiação solar global incidente (W m<sup>-2</sup>).

Foram utilizadas imagens do Mapeador Temático do Satélite LANDSAT 5 (TM – LANDSAT 5), composta de sete bandas espectrais, obtidas gratuitamente no sítio: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. A passagem do satélite sobre a área estudada ocorre às 12:51h (TMG), na órbita 220 e ponto 69. Utilizaram-se duas imagens obtidas em datas distintas do ciclo da cultura da soja: 06 de janeiro e 07 de fevereiro de 2011, referentes aos 42 e 73 dias após o plantio (DAP), nos quais a soja encontrava-se nos estádios fenológicos V9 e R2 (FEHR; CAVINESS, 1977), respectivamente. A resolução espacial das imagens é de 30 m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e de 120 m na banda 6. A resolução temporal é de 16 dias.

Foi feito um recorte ampliado (Latitude 12° 33' 33" a 13° 10' 12" S e Longitude 45° 15' 21" a 45° 45' 26" W) contemplando o sítio experimental (previamente georreferenciado), e todo processamento das imagens foi realizado pelo software ERDAS® Imagine v.9.1, da Leica Geosystems. Primeiramente foi feita a reamostragem espacial da banda 6 que possui resolução espacial de 120 m, ajustada para 30 m, mesma condição das outras bandas. Depois as bandas foram empilhadas seguindo ordem crescente, formando um único arquivo de imagem. Em seguida, fez-se a calibração radiométrica, processo

de conversão do número digital (ND) de cada pixel da imagem, em radiância espectral monocromática, para a aplicação do algoritmo SEBAL, por meio do aplicativo *Model Maker*. O Balanço de radiação à superfície foi obtido através da expressão (BASTIAANSEN *et al.*, 1998b; MORSE *et al.*, 2001; ALLEN *et al.*, 2002):

$$Rn = R_{S\downarrow}(1 - r_o) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que:  $R_{S\downarrow}$  é a radiação de ondas curtas incidente em cada pixel,  $r_o$  é o albedo corrigido de cada pixel

$$r_o = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2}, R_{L\downarrow} \text{ é a radiação de onda longa emitida}$$

pela atmosfera na direção do pixel,  $R_{L\uparrow}$  é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e  $\epsilon_o$  é a emissividade de cada pixel da cena estudada.

O fluxo de calor no solo  $G$  ( $W\ m^{-2}$ ) foi obtido segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaansen (2000), que representa valores próximos ao meio-dia:

$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^2) \right] Rn \quad (2)$$

em que:  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  é o albedo da superfície (obtido pelo algoritmo SEBAL), NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada, e  $Rn$  é o saldo de radiação, computados pixel a pixel.

O fluxo de calor sensível  $H$  ( $W\ m^{-2}$ ) foi estimado com base na velocidade do vento e temperatura da superfície usando uma calibração da diferença da temperatura entre dois níveis próximos à superfície, segundo Bastiaansen (1998b):

$$H = \frac{\rho c_p dT}{r_{ah}} \quad (3)$$

em que:  $\rho$  é a densidade do ar úmido ( $\rho = 1,15\ kg\ m^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante ( $1,004\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ ),  $dT$  é a diferença de temperatura entre dois níveis próximos à superfície,  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $s\ m^{-1}$ ).

Este fluxo é obtido, no SEBAL, por meio de um processo iterativo, no qual se considera a atmosfera em condições neutra, sendo que, nas próximas iterações são feitas as correções de estabilidade atmosférica.

Devido aos efeitos turbulentos aquecerem a superfície e afetarem as condições atmosféricas e a resistência aerodinâmica, aplicou-se a teoria da similaridade de Monin-Obukhov (BASTIAANSEN *et al.*, 1998b).

O fluxo de calor latente  $\lambda ET$  ( $W\ m^{-2}$ ) foi obtido pela simples diferença entre saldo de radiação, o fluxo de calor no solo e o fluxo de calor sensível:

$$\lambda ET = Rn - G - H \quad (4)$$

em que:  $\lambda ET$  é o valor do fluxo de calor latente instantâneo, ou seja, seu valor no momento da passagem do satélite.

O primeiro passo para se obter a evapotranspiração é calcular a fração evaporativa, que foi obtida em função da energia disponível para se evaporar a água.

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad (5)$$

em que,  $\Lambda$  é a fração evaporativa (adimensional).

Posteriormente, foi obtida a estimativa do balanço de ondas longas e do saldo de radiação diários. Para o cálculo desses termos utilizou-se informações da radiação solar global diária ( $Rg_{diária}$ ) da EMA e a fração evaporativa, da umidade e temperatura do ar da estação meteorológica.

A evapotranspiração atual diária nos pixels do dossel foi dada pela equação (AYENNEW, 2003):

$$ET = \frac{\Lambda Rn_{diária}}{28} \quad (6)$$

em que:  $Rn_{diária}$  é o saldo de radiação integrado para 24 horas, o denominador 28 é requerido para a conversão da unidade  $W\ m^{-2}$  para  $mm\ dia^{-1}$ , e  $\Lambda$  é a fração evaporativa.

A evapotranspiração de referência foi calculada utilizando o método de *Penman-Monteith-FAO*. A  $ET_c$  (evapotranspiração da cultura) foi determinada pela seguinte expressão:

$$ET_c = ET_o * Kc \quad (7)$$

em que:  $Kc$  = coeficiente de cultivo (preconizado pela FAO).

A comparação entre a  $ET$  calculada via método *Penman-Monteith-FAO* e a estimada pelo SEBAL foi feita mediante o cálculo dos erros absoluto e relativo.

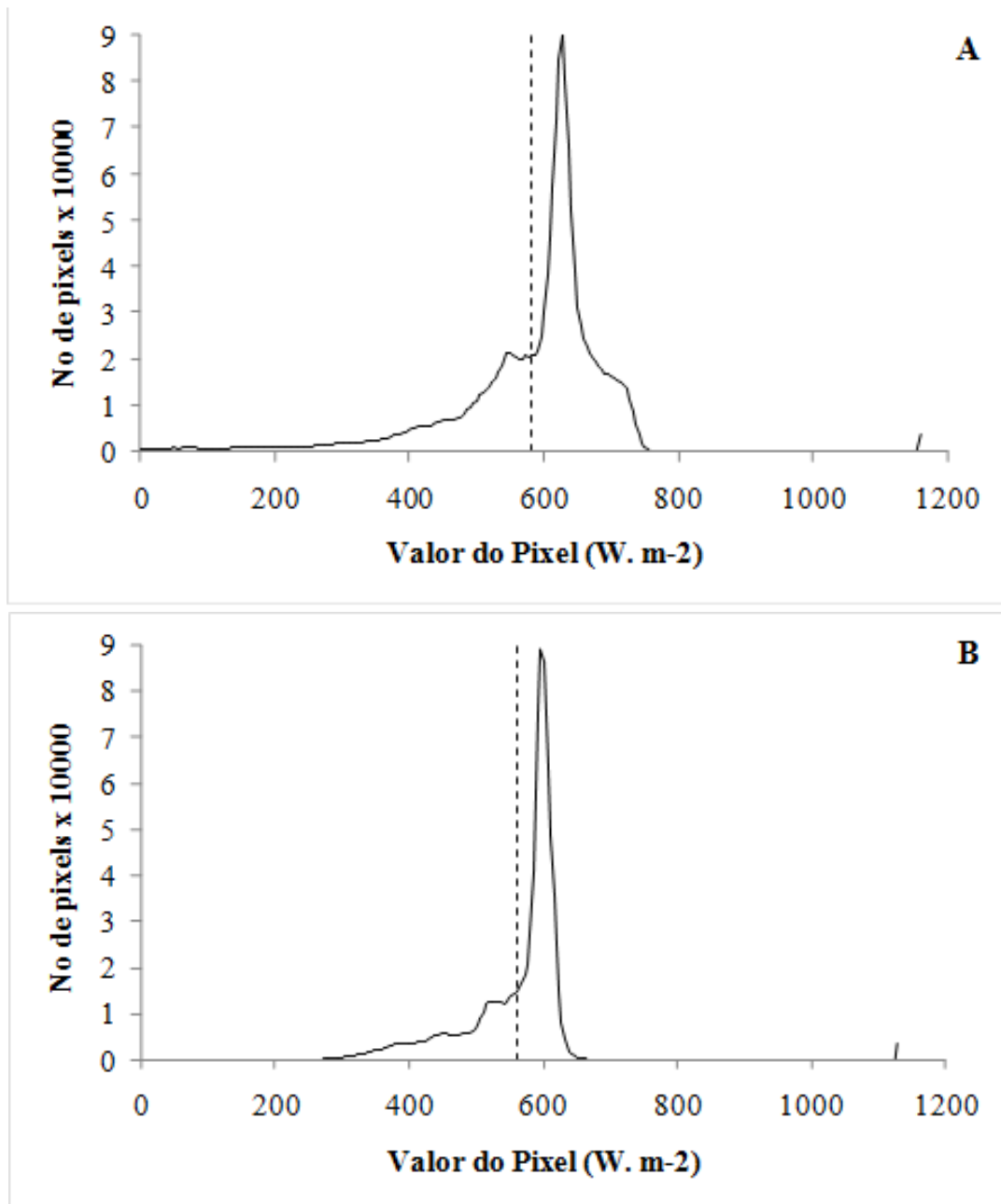
## Resultados e discussão

Ao longo do ciclo da cultura foi registrada uma precipitação total de 931,2 mm e uma radiação média diária de 191,16  $W\ m^{-2}$ . Os histogramas de frequência do saldo de radiação ( $Rn$ ) (Figura 1) mostram que, os valores mínimos para 42 e 73 dias após o plantio (DAP) da soja, são da ordem de 0 a 137,4  $W\ m^{-2}$ , respectivamente. Os

saldos de radiação instantâneos obtidos na bordadura do pivô com a cultura da soja utilizando o algoritmo SEBAL variaram de 507,8 (42 DAP) a 523,6 W m<sup>-2</sup> (73 DAP).

As frequências de fluxo de calor no solo (G) do recorte variaram de -265 W m<sup>-2</sup> a 231,15 em 42 DAP e entre -258,19 e 218,67 W m<sup>-2</sup> em 73 DAP. O G na área de soja apresentou pouca variação, de 30,5 (42 DAP) a 32,5 W m<sup>-2</sup> (73 DAP).

A evapotranspiração diária do recorte originada pelo SEBAL, para os dois dias estudados, variou com mínima de 0 e máxima 6 mm dia<sup>-1</sup>. A média da evapotranspiração se apresentou quase constante ficando em torno de 4,9 mm dia<sup>-1</sup> aos 42 DAP a 5,03 mm dia<sup>-1</sup> em 73 DAP. Os valores encontrados através de imagens de satélite na bordadura do pivô na Fazenda Busato I, para a evapotranspiração, variaram de 5,6 (42 DAP) a 5,2 (73 DAP).



**Figura 1** - Histograma de frequência de saldo de radiação da superfície total do recorte, gerado a partir de dados do software ERDAS® Imagine v.9.1, da Leica Geosystems. A: 42 DAP; B: 73 DAP.

Os valores mínimos de frequência de  $R_n$ , da ordem de 0 a  $137,4 \text{ W m}^{-2}$ , correspondem a áreas de solo exposto, com pouca ou nenhum tipo de vegetação, pois a radiação neste tipo de ambiente é quase toda refletida. A moda média do recorte variou de  $625,3$  a  $596,27 \text{ W m}^{-2}$ , ficando acima dos valores da média de  $574,1$  a  $562,3 \text{ W m}^{-2}$  para as duas datas estudadas.

Houve variação dos saldos de radiação instantâneos obtidos na bordadura do pivô com a cultura da soja utilizando o algoritmo SEBAL, de  $507,8$  (42 DAP) a  $523,6 \text{ W m}^{-2}$  (73 DAP), e representou um aumento da radiação líquida na superfície em torno de 3% entre dois estádios fenológicos. O saldo de radiação tende a aumentar com o decréscimo do albedo da superfície, pois a medida que a cultura vai se desenvolvendo, maior é a cobertura vegetal, e menor é a emissão de radiação de ondas longas disponibilizando mais saldo de radiação a superfície.

Os resultados obtidos para saldo de radiação estão de acordo com os reportados na literatura, Menezes *et al.* (2011), trabalhando com eucalipto, na aplicação do algoritmo SEBAL com imagem do sensor TM do satélite Landsat 5, encontraram valores de  $R_n$  variando de  $381 \text{ W m}^{-2}$  a  $532 \text{ W m}^{-2}$ , empregando o mesmo sensor e o SEBAL. Gomes *et al.* (2009) estudando parte da bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, que inclui áreas dos municípios de Santa Rita do Passa Quatro, Luís Antonio e São Simão-SP, com área de Cerrado, cana-de-açúcar, eucalipto e Lago do Cortado, encontraram valores variando de  $207,9 \text{ W m}^{-2}$  a  $711,8 \text{ W m}^{-2}$ . Bezerra *et al.* (2008) estimando a evapotranspiração com o SEBAL na mesorregião do Cariri, sul do Ceará, nos meses de setembro a novembro de 2005, em campos irrigados de mamona e algodão, obtiveram resultados para  $R_n$  de  $700 \text{ W m}^{-2}$ , assim como Santos *et al.* (2010), que utilizando o SEBAL com imagens do sensor ASTER, encontraram valores de  $R_n$  variando de  $678$  a  $703 \text{ W m}^{-2}$  em áreas com vegetação nativa e utilizadas na prática de agricultura irrigada, e valores acima de  $703 \text{ W m}^{-2}$  em áreas correspondentes às culturas de arroz e soja, em região orizicultora, no município de Paraíso do Sul, porção central do Rio Grande do Sul, em março de 2004.

O acompanhamento do impacto causado pelas atividades da agricultura irrigada intensiva sob as condições ambientais, em escala regional, é uma tarefa de difícil execução e o algoritmo SEBAL constitui uma importante alternativa nesse tipo de estudo. Entretanto, estudos com algumas culturas importantes no Brasil, nesse caso a soja, são escassos, limitando a comparação entre resultados obtidos em diferentes regiões. Num primeiro instante o passo mais adequado é a validação dessa ferramenta sob as condições ambientais brasileiras, já que a mesma foi desenvolvida inicialmente para monitorar os componentes do balanço de energia em regiões áridas (BASTIAANSEN, 1995).

O fluxo de calor no solo ( $G$ ) representa a fração do balanço de energia transferida por processos de condução ou difusão térmica. O  $G$  é resultado do albedo, temperatura da superfície e da cobertura vegetal, indicando que seus valores são maiores quando se tem pouca área vegetada, a medida que a vegetação se desenvolve, o  $G$  vai decrescendo (Tabela 1). Neste trabalho não se observou esse comportamento crescente, ficando os valores quase constantes nas duas datas. Este fato, deve ter ocorrido em virtude do pequeno intervalo de tempo de coleta das duas imagens, não havendo variação detectável na cobertura vegetal, o que confirma esta afirmativa são valores quase constantes encontrados do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que é uma variável que indica a quantidade e condição dessa vegetação.

**Tabela 1** - Fluxo de calor no solo ( $G$ ), Albedo da superfície ( $\alpha$ ), Temperatura da superfície ( $T_s$ ) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) obtidos por meio do SEBAL na área de soja

DAP	$G \text{ (W m}^{-2}\text{)}$	$\alpha$	NDVI	$T_s \text{ (}^\circ\text{C)}$
42	30,5	0,34	0,835	18,2
73	32,5	0,27	0,841	21,0

As frequências de fluxo de calor no solo mínimas, encontradas na Fazenda Busato I, representam áreas da mata nativa do cerrado, que apresentam boa cobertura do solo. A média variou de  $50,8 \text{ W m}^{-2}$  em 42 DAP a  $63,8 \text{ W m}^{-2}$  em 73 DAP, concordando com os valores encontrados por Bezerra *et al.* (2008), que encontraram fluxo de calor no solo com magnitude de  $60 \text{ W m}^{-2}$ , e Menezes *et al.* (2011), que encontraram valores oscilando de  $34 \text{ W m}^{-2}$  (eucalipto adensado) a  $140 \text{ W m}^{-2}$  (corpos d'água).

A média da evapotranspiração estimada pelo SEBAL se apresentou quase constante, ficando em torno de  $4,9 \text{ mm dia}^{-1}$  em 42 DAP a  $5,03 \text{ mm dia}^{-1}$  em 73 DAP. Os valores mínimos de evapotranspiração encontrados correspondem às áreas dos pivôs em pousio, e os valores máximos correspondem à mata ciliar ao longo da extensão do rio.

Foi escolhido um alvo de 36 ha com a cultura da soja, na cena estudada no espaço físico entre dois pivôs, para uma análise mais detalhada da ET estimada pelo SEBAL e sua acuidade técnica. Os valores encontrados por meio de imagens de satélite nas áreas entre os pivôs da Fazenda Busato I, para a evapotranspiração, variaram de  $5,6 \text{ mm dia}^{-1}$  (42 DAP) a  $5,2 \text{ mm dia}^{-1}$  (73 DAP), conforme Tabela 2. Em condição de avançado desenvolvimento vegetativo a planta tende a evapotranspirar mais, diferentemente dos valores encontrados neste trabalho,



**Tabela 2** – Evapotranspiração (ET) diária instantânea utilizando SEBAL e evapotranspiração da cultura (ETc) por meio da estação meteorológica da Fazenda Busato I, e os módulos dos erros absolutos e relativos

DAP	ET (SEBAL) (mm d <sup>-1</sup> )	ETc (Penman- Monteith) (mm d <sup>-1</sup> )	Erro absoluto (mm d <sup>-1</sup> )	Erro Relativo (%)
42	5,6	5,2	0,4	7,1
73	5,2	3,4	1,8	34,0

onde a evapotranspiração diminuiu em torno de 7%. Presume-se que aos 73 DAP, por haver uma variação da umidade no ar, em função da precipitação ocorrida no início da manhã (11,4 mm), período anterior a passagem do satélite, causou essa atipicidade, mesmo com pouca cobertura de nuvens no momento da passagem do satélite, o que permitiu a coleta do dado orbital em condições de céu limpo.

A resposta dessa entrada de umidade no ar, para a estimativa da ETc pelo método de *Penman-Monteith-FAO*, teve diferença maior entre as duas datas, chegando a 34,6%. Tal fato se deve à natureza dos elementos de entrada para o cálculo da equação do modelo que foram sensíveis às variações atmosféricas. De qualquer forma, valores na magnitude, obtidas por ambas as técnicas comparadas acima, foram encontrados por Silva *et al.* (2010), utilizando imagens TM – Landsat 5, na Bacia do Mogi-Guaçu, com variação na ET de 3,7 a 6 mm dia<sup>-1</sup>, por Santos *et al.* (2010), com evapotranspiração diária da ordem de 5,81 a 7,81 mm dia<sup>-1</sup>, e por Silva *et al.* (2012), em pomares de coqueiro irrigados, a ET variou de 4,4 a 5,6 mm dia<sup>-1</sup>.

A título de discussão dos parâmetros de erros, observou-se na comparação da ETc aos 73 DAP uma disparidade maior entre os dados de erros relativos (34%), em virtude da pluviosidade ocorrida nesta data. Esse comportamento não ocorreu aos 42 DAP, que apresentou erro relativo de 7,1%, conferindo uma confiabilidade à técnica de estimativa via satélite (Tabela 2), quando as condições atmosféricas se apresentarem estáveis. Santos (2011) observou que os valores estimados pelo algoritmo baseado em técnicas de sensoriamento remoto se mantiveram muito próximos dos valores medidos na torre micrometeorológica através do método da razão de Bowen. Assim, esse mesmo autor e Andrade *et al.* (2012) afirmam que os resultados obtidos com o SEBAL confirmam seu potencial, como ferramenta para auxílio na implementação de modelos e algoritmos, voltados para a compreensão da complexa dinâmica dos processos biofísicos no âmbito da interação solo-planta-atmosfera.

## Conclusão

Os resultados demonstraram que a metodologia empregada para estimativa de evapotranspiração, utilizando imagens orbitais, quando comparado ao modelo padrão estabelecido pela *Penman-Monteith-FAO*, foi satisfatória, do ponto de vista de adequação metodológica, para condições atmosféricas estáveis, podendo auxiliar na otimização e racionalização do uso da água.

## Literatura científica citada

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and Users Manual**. Idaho, 2002. 98p.
- ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; FACCO, A. G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Impressa), v.47, p. 1227-1234, 2012.
- AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. **Journal of Hydrology**, v. 279, p. 83-93, 2003.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate**. PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272 p., 1995.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998a.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 213-229, 1998b.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, v. 46, p. 137-155, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**, 8ª edição, Editora UFV, 2008. 625 p.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da Evapotranspiração Real Diária Utilizando-se Imagens Digitais TM – LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, p. 305-317, 2008.
- CONAB COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2011/2012, décimo primeiro levantamento, acompanhamento 2012**. Brasília: Conab, agosto 2012. 34p.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 1999. xxvi, 412p.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages on soybean development**. Ames: Iowa State University/Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).
- GOMES, H. B.; SILVA, B. B.; CAVALCANTI, E. P.; ROCHA, H. R. Balanço de Radiação em Diferentes Biomas no Estado de São Paulo Mediante Imagens Landsat 5. **Geociências**, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.
- GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNCIO, J. D. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1107-1114, 2012.
- LEITE, R. L.; BRITO, J. L. S. Sensoriamento remoto aplicado à análise temporal da relação uso da terra/temperatura e albedo de superfície na bacia do Rio Vieira no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.10, p. 98-120, 2012.
- MENEZES, S. J. M. C.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; ANDRADE, R. G. Estimativa dos Componentes do Balanço de Energia e da Evapotranspiração em Plantios de Eucalipto Utilizando o Algoritmo SEBAL e Imagem Landsat 5 – TM. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p.649-657, 2011.
- MOREIRA, L. C. J.; DURAND, B. J.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1148-1159, 2010.
- MORSE, A., ALLEN, R. G., TASUMI, M., KRAMBER, W. J., TREZZA, R. ; WRIGHT, J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Evapotranspiration and Consumptive Use of Water Through Remote Sensing**. Final Report, 220 p, 2001.
- SANTOS, C. A. C. Análise das necessidades hídricas da vegetação Tamarisk através da razão de Bowen e do modelo SEBAL. **Revista brasileira de meteorologia [online]**, v.26, n.1, p. 85-94, 2011.
- SANTOS, T. V.; FONTANA, D. C.; ALVES, R. C. M. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.5, p.488-496, 2010.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1218-1226, 2012.
- 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, 243-252, 2005.
- SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Alterações Climáticas Decorrentes de Mudanças no Uso da Terra Mediante Sensoriamento Remoto. **Mercator**, v. 9, número especial 1, p. 91-106, 2010.
- SEAGRI - Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. **Região Oeste da Bahia** (Nota Técnica). 2008. Disponível em: <[http://www.seagri.ba.gov.br/nota\\_tecnica\\_regiao\\_oeste.pdf](http://www.seagri.ba.gov.br/nota_tecnica_regiao_oeste.pdf)>. Acesso em 01 de dezembro de 2008.