



I Workshop Internacional de Inovações  
Tecnológicas na Irrigação  
&  
I Conferência sobre Recursos  
Hídricos do Semi-Árido Brasileiro  
26 a 28 de Setembro de 2007  
Sobral - CE

## ANÁLISE DOS FLUXOS DE CALOR SENSÍVEL E LATENTE ESTIMADOS PELOS ALGORITMOS SEBAL E S-SEBI

SANTOS, C. A. C. DOS<sup>1</sup>; BEZERRA, B. G.<sup>1</sup>; SILVA, B. B. DA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Meteorologia - Universidade Federal de Campina Grande, Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB, Brasil, CEP: 58.19-970 e-mail: carlostorm@gmail.com

<sup>2</sup>Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UFCG, Campina Grande – PB.

**RESUMO:** Foram calculadas as densidades dos fluxos de calor sensível e latente sobre áreas de cultivos irrigadas utilizando os algoritmos SEBAL e S-SEBI a partir de imagens Landsat 5-TM nos dias 24/10/2005 e 23/07/2006, com o objetivo de avaliar as correlações entre os resultados, face às diferentes metodologias propostas pelos referidos algoritmos. Ainda foi avaliado impacto nos resultados devido a presença de nuvens na cena estudada presente na imagem do dia 23/07/2006. Os resultados apresentaram altos coeficientes de correlação para todos os dias. Na análise da presença de nuvens na imagem do dia 23/07/2006 foram observadas superestimativas nos resultados gerados pelo S-SEBI, para H e subestimativas para LE. Diante dos resultados conclui-se que, apesar das metodologias serem diferentes, os algoritmos apresenta resultados bastante similares.

**Palavras chaves:** Balanço de energia, albedo, temperatura da superfície.

## ANALYSIS OF THE SENSIBLE AND LATENT HEAT FLUX ESTIMATED FOR THE ALGORITHMS SEBAL AND S-SEBI

**ABSTRACT:** The densities of the sensible and latent heat flux were calculated on areas of crop irrigated using the algorithms SEBAL and S-SEBI starting from images Landsat 5-TM on 24/10/2005 and 23/07/2006, with the objective of evaluating the correlations among the results, face the different methodologies proposed by the referred algorithms. Impact was still evaluated in the results due to presence of clouds in the scene studied present in the image of the 23/07/2006. The results presented high correlation coefficients for everyday. In the analysis of the presence of clouds in the image of the 23/07/2006 overestimated were observed in the results generated by S-SEBI, for H and underestimated for LE. Before the results it is ended that, in spite of be different methodologies, the algorithms present quite similar results.

**Keywords:** Energy balance, albedo, surface temperature.



## INTRODUÇÃO

A estimativa da densidade de fluxo de calor sensível (H) constitui a etapa que oferece maior dificuldade no cômputo do balanço de energia e da evapotranspiração a partir de dados de sensoriamento remoto orbital. Dentre os algoritmos que propiciam estas estimativas com base nestes dados, está o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) (Bastiaanssen et al., 1998 a) e o S-SEBI (Simplified System Energy Balance Index) (Roerink et al., 2000).

O cálculo do H através do algoritmo SEBAL é propiciado mediante processo iterativo que leva em consideração a condição de estabilidade neutra da atmosfera baseado na teoria da similaridade de Monin–Obukhov. As precisões das estimativas dependem fundamentalmente dos referidos pixels extremos, chamados de “quente” e “frio”, que exigem do usuário critérios rigorosos, pois a escolha inadequada pode acarretar erros grosseiros nos resultados (Bastiaanssen et al., 1998a; Allen et al., 2002). A estimativa do fluxo de calor latente instantâneo (LE), pelo algoritmo SEBAL, é obtida através do método residual da equação do balanço de energia.

Em contrapartida, o S-SEBI apresenta uma metodologia para os cálculos de H e LE, bem mais simplificada. Os mesmos são propiciados a partir da fração evaporativa que é obtida em função das temperaturas dos pontos de máximos fluxos de calor latente e sensível. Estas temperaturas são encontradas através de uma regressão linear obtida a partir da dispersão do albedo da superfície com a temperatura da superfície (ver Roerink et al., 2000). A grande vantagem do S-SEBI é o fato de não necessitar de medidas de superfície, o que facilita sua aplicação em áreas que não disponham de estações meteorológicas.

Neste sentido o presente estudo tem por objetivo estimar as densidades de H e LE através dos algoritmos SEBAL e S-SEBI a partir de imagens orbitais sobre uma área do semi-árido brasileiro composta por cultivos irrigados. Assim como, comparar os resultados e analisar as correlações entre os métodos, avaliando a sensibilidade de cada método devido à presença de nuvens na cena de estudo. A escolha dos citados métodos foi condicionada pelos fatos da grande aplicabilidade e a precisão alcançada pelo SEBAL em diversas partes do mundo e a aparente praticidade apresentada pelo S-SEBI.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é a fazenda Frutacor, situada a 5°08'44" S e 38°05'53" W, altitude de 147,22m na Chapada do Apodi, município de Quixeré – CE, com área de aproximadamente 250 ha de cultivo de bananeiras (*Musa* sp.). Utilizaram-se neste trabalho, imagens do sensor

Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat-5, dos dias 24/10/2005 (sem nuvem) e 23/06/2006 (com nuvem).

As densidades de fluxo de calor sensível e latente foram calculadas a partir das imagens Landsat 5-TM através de dos métodos SEBAL e S-SEBI que são detalhados a seguir:

A estimativa do fluxo de calor latente instantâneo (LE), pelo algoritmo SEBAL, foi obtida através do método residual da equação do balanço de energia. Esse método possibilita assim, a obtenção do fluxo vertical de calor latente com imagens orbitais, através da diferença dos fluxos, também verticais, de calor no solo (G), calor sensível (H) e o saldo de radiação ( $R_n$ ), conforme mostrado a seguir:

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

Os componentes  $R_n$  e G ( $W m^{-2}$ ), utilizados nos algoritmos SEBAL e S-SEBI, foram obtidos através das equações 2 e 3, apresentadas a seguir:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038.\alpha + 0,0074.\alpha^2) (1 - 0,98.IVDN^4) \right] . R_n \quad (3)$$

em que  $\alpha$  é albedo da superfície,  $R_{L\uparrow}$  é a radiação de onda longa (termal) emitida pela superfície,  $\varepsilon_0$  é a emissividade da superfície,  $R_{s\downarrow}$  é a radiação de onda curta incidente e  $R_{L\downarrow}$  é a radiação de onda longa incidente,  $T_s$  é a temperatura da superfície e IVDN é o índice de vegetação da diferença normalizada (Trezza, 2002).

A principal diferença entre os algoritmos SEBAL e S-SEBI se encontra na obtenção dos parâmetros H e LE ( $W m^{-2}$ ), uma vez que, a obtenção de H ( $W m^{-2}$ ) pelo SEBAL foi feita a partir da velocidade do vento e da temperatura da superfície, através de um processo iterativo baseado na teoria da similaridade de Monin-Obukhov (L), como descrita por Bastiaanssen *et al.* (1998a) e Tasumi *et al.* (2007).

$$H = \frac{\rho_{ar} c_p (a + bT_s)}{r_{ah}} \quad (4)$$

em que  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar úmido ( $Kg m^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante ( $J Kg^{-1} K^{-1}$ ),  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $s m^{-1}$ ) e “a” e “b” são coeficientes de calibração empíricos obtidos para cada imagem.

No algoritmo S-SEBI os fluxos não foram calculados como parâmetros separados, mas como a *fração evaporativa* (A) (ver equação 5), conforme metodologia de Roerink *et al.* (2000). Na Figura 1 é possível reconhecer o limite inferior, onde o fluxo de calor latente máximo

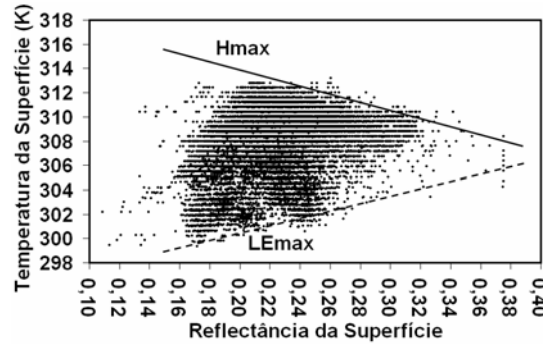


Figura 1: Representação esquemática da relação entre a temperatura da superfície e a reflectância da superfície junto com princípios básicos do S-SEBI.

$LE_{\max}(\alpha)$  é assumido ( $T_H = a_H + b_H \alpha$ ) e, o limite superior, onde o fluxo de calor sensível máximo  $H_{\max}(\alpha)$  é assumido ( $T_{LE} = a_{LE} + b_{LE} \alpha$ ) (Sobrino *et al.*, 2007).

$$\Lambda = \frac{T_H - T_s}{T_H - T_{LE}} \quad (5)$$

Substituindo  $T_H$  e  $T_{LE}$  na equação 5, a fração evaporativa pode ser escrita como:

$$\Lambda = \frac{a_H + b_H \alpha - T_s}{a_H - a_{LE} + (b_H - b_{LE}) \alpha} \quad (8)$$

Daí calculou-se os fluxos  $H$  e  $LE$ , pelas equações seguintes:

$$H = (1 - \Lambda)(R_n - G) \quad (9)$$

$$LE = \Lambda(R_n - G) \quad (10)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2a, que apresenta as correlações dos valores das densidades de fluxos de calor sensível e latente, pode ser observada a nítida concordância entre os dois algoritmos na estimativa de  $H$ , representado também, pelo coeficiente de correlação  $r = 0,96$ . No entanto, observa-se uma tendência de subestimativa dos valores, pelo S-SEBI, principalmente próximo aos valores inferiores. Na Figura 2b, observa-se maior concordância entre os valores estimados pelos dois algoritmos, representado pelo  $r = 0,98$ , entretanto, evidencia-se uma leve tendência de superestimativa pelo S-SEBI. Baseado nessas observações identifica-se a aplicabilidade do algoritmo S-SEBI na obtenção dos fluxos  $H$  e  $LE$ .

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto nas atividades agrícolas, sobretudo para monitoramento de práticas de irrigação está fundamentalmente limitada por dois fatores; a não disponibilidade de imagens de alta resolução (Landsat, Aster, por exemplo) numa frequência temporal adequada e a ausência total de nuvens na cena de interesse, principalmente

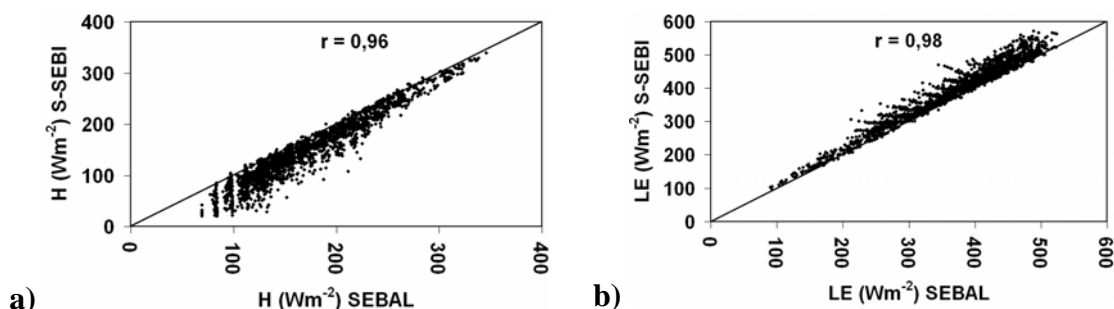


Figura 2: Correlações entre as densidades de fluxo de calor sensível (H) e latente (LE), estimados pelos algoritmos SEBAL (a) e S-SEBI (b), para o dia 24/10/2005.

sobre os alvos desejados (áreas irrigadas, no caso particular). No entanto, aqui foram propiciadas as estimativas de H e LE a partir da imagem do dia 23/07/2006, para a mesma área, porém com a presença de nuvens ralas e de baixa densidade (tipo cirrus), para observar a sensibilidade dos algoritmos na presença de nuvens.

Observa-se na Figuras 3a e 3b, que as correlações de H e LE entre os dois algoritmos, foram seriamente comprometidas com nítida tendência de superestimativa nos resultados gerados pelo S-SEBI para os valores de H, e com forte tendência de subestimativa para o LE. Aparentemente os impactos nos resultados do algoritmo SEBAL foram atenuados, possivelmente pelo fato do mesmo propiciar a estimativa do H e LE tomando por base dados pontuais de superfície (pixels quente e frio), desde que a escolha dos mesmos não recaia sobre a própria nuvem ou em área sombreada pela mesma. Já os resultados do S-SEBI estão ligados ao fato do mesmo fundamentar sua metodologia no albedo e na temperatura da superfície. As nuvens apresentam albedos normalmente mais elevados que superfícies ocupadas ou não por vegetação e consequentemente temperaturas menores. Observa-se ainda das Figuras 3a e 3b, que os coeficientes de correlação novamente foram altos, 0,96 e 0,97, respectivamente, mostrando a forte correlação que existe entre os algoritmos.

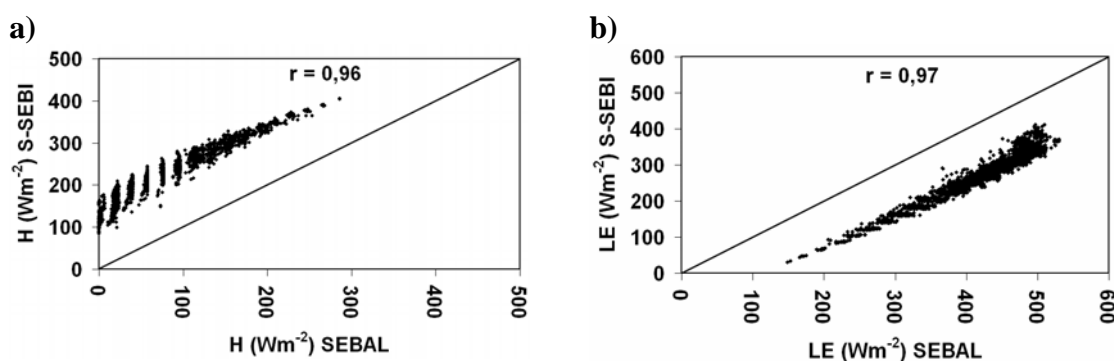


Figura 3: Correlações entre as densidades de fluxo de calor sensível (H) e latente (LE), estimados pelos algoritmos SEBAL (a) e S-SEBI (b), para o dia 23/07/2006.



## CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados conclui-se que de uma forma geral os métodos se mostraram eficientes na obtenção das densidades dos fluxos de calor sensível e latente, face às fortes correlações verificadas na presente pesquisa. Concluiu-se ainda que o algoritmo S-SEBI, ao contrário do SEBAL, mostrou-se altamente sensível à presença de nuvens, mesmo que sejam ralas e de baixa densidade. Nesta condição, foram verificadas superestimativas nos resultados em todos os pontos da cena estudada, para H, e subestimativas em todos os pontos de LE. No entanto, se observou que o algoritmo S-SEBI se apresenta como uma ferramenta promissora, uma vez que o fato de não necessitar de informações da superfície, pode ser aplicado para qualquer área mesmo que a mesma não disponha de uma estação meteorológica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a direção da Fazenda Frutacor por ter gentilmente cedido a sua área para instalação da estação meteorológica, bem como as suas dependências para apoio logístico. Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa e a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Campina Grande, por permitir o uso de sua infra-estrutura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0**, 2002, 98 p.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSAG, 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.
- ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, M. A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimates the Surface Energy Balance. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**. n. 25, p. 147-157, 2000.
- SOBRINO, J. A.; GÓMEZ, M.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; OLIO, A. Application of a simple algorithm to estimate daily evapotranspiration from NOAA-AVHRR images for the Iberian Peninsula. **Remote Sensing of Environment**, 2007. doi:10.1016/j.rse.2007.02.017.
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G. Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development. **Agricultural Water Management**, v. 88, 54-62 p., 2007.
- TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized ground control**. 2002, 247 p., Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002.