

# ESTIMATIVA DOS FLUXOS DE CALOR NO SOLO E SENSÍVEL UTILIZANDO O ALGORITMO SEBAL E IMAGEM DO SENSOR TM DO LANDSAT 5

RICARDO GUIMARÃES ANDRADE <sup>1</sup>; GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA <sup>2</sup>;  
EVALDO DE PAIVA LIMA <sup>3</sup>; RAFAEL COLL DELGADO <sup>4</sup>; SADY JÚNIOR  
MARTINS DA COSTA DE MENEZES <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, D.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, UFV/Viçosa – MG, e-mail: [rgandrade@vicosa.ufv.br](mailto:rgandrade@vicosa.ufv.br).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular Ph.D., Depto. de Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Meteorologista, D.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, UFV/Viçosa – MG.

<sup>4</sup> Meteorologista, M.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, UFV/Viçosa – MG.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de Julho de  
2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** As técnicas de sensoriamento remoto têm sido aplicadas extensivamente na obtenção de informações referentes ao manejo e gestão dos recursos naturais. O SEBAL é um algoritmo que tem como vantagem a estimativa dos fluxos de energia à superfície de forma efetiva e econômica. Ele usa imagens de sensores que coletem comprimentos de ondas na faixa do visível, infravermelho refletivo e termal. Este trabalho objetivou estimar os fluxos de calor no solo (G) e sensível (H) em áreas irrigadas que abrangem parte do Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo, utilizando imagem do sensor TM do Landsat 5. Foram encontrados valores médios de  $66 \text{ Wm}^{-2}$  e  $180 \text{ Wm}^{-2}$  para G e H, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** fluxo de calor no solo, fluxo de calor sensível, Landsat 5 - TM.

## ESTIMATE OF THE SOIL HEAT FLUX AND SENSIBLE USING THE ALGORITHM SEBAL AND IMAGE OF THE SENSOR TM OF THE LANDSAT 5

**ABSTRACT:** The techniques of remote sensing have been applied extensively for obtaining the information regarding the management of the natural resources. The SEBAL is an algorithm that has as advantage to estimate the energy fluxes from the soil surface in an effective and economical way. It uses sensor images which collect wavelengths in the visible range, reflective infrared and thermal bands. This work had as objectives to estimate the soil heat flux (G) and sensible heat flux (H) in irrigated areas that includes part of the Triângulo Mineiro region and north of the State of São Paulo, using image of the Landsat 5 TM sensor. They were found average values of  $66 \text{ Wm}^{-2}$  and  $180 \text{ Wm}^{-2}$  for G and H, respectively.

**KEYWORDS:** soil heat flux, sensible heat flux, Landsat 5 - TM.

**INTRODUÇÃO:** A evapotranspiração (ET) é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, e a precisão na sua estimativa é de importância para diversos estudos, como

balanço hidrológico, simulação de produtividade de culturas e planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. Ela pode ser obtida por meio de medidas diretas ou por métodos empíricos. As medidas diretas exigem estruturas apropriadas e normalmente são utilizadas em condições de pesquisa. Em contraste, existem vários métodos empíricos que são classificados conforme os princípios envolvidos em seu desenvolvimento: aerodinâmicos, combinados, etc. Mesmo com a precisão oferecida por alguns métodos diretos e, ou, empíricos, a ET é normalmente estimada de forma pontual. Esta limitação motivou o uso de dados obtidos por sensoriamento remoto para a determinação da mesma em grandes áreas. Bezerra (2004) cita que os dados obtidos através do sensoriamento remoto para o cálculo dos fluxos de energia que ocorrem na interface solo-vegetação-atmosfera utilizam-se de algoritmos para a obtenção desses elementos. Um desses algoritmos é o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) que foi desenvolvido por Bastiaanssen et al. (1998a e 1998b). Este algoritmo calcula o fluxo de calor latente como um “resíduo” da equação clássica do balanço de energia. Deste modo, este trabalho objetivou determinar os fluxos de calor no solo e sensível em áreas irrigadas que abrange parte do Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo, utilizando imagem do sensor TM do satélite Landsat 5.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** A Figura 1 mostra a imagem do dia 05/06/2005 (sensor TM) na composição (RGB) para a região que compreende parte do Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo.

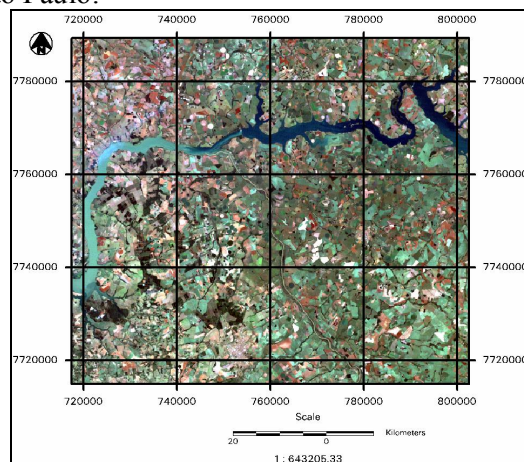


Figura 1 - Imagem na composição RGB (bandas 3,2,1 do sensor TM – Landsat 5) para a região que abrange parte do Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo.

O fluxo de calor no solo, pixel a pixel, foi calculado pela equação:

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

em que, G é o fluxo de calor no solo ( $Wm^{-2}$ ),  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  é o albedo corrigido (adimensional), NDVI é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada,  $Rn$  é o saldo de radiação ( $Wm^{-2}$ ) estimado para cada pixel da imagem, de acordo com a formulação proposta por Bastiaanssen et al. (1998a). Obteve-se o fluxo de calor sensível por meio de um processo iterativo, no qual considerou neutra a condição da atmosfera, sendo que, nas próximas iterações foram feitas as correções de estabilidade atmosférica.

$$H = \frac{\rho c_p dT}{r_{ah}} \quad \text{Eq. 2}$$

em que, H é o fluxo de calor sensível ( $\text{Wm}^{-2}$ ),  $\rho$  é a densidade do ar úmido ( $1,15 \text{ kgm}^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante ( $1004 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ),  $dT$  é a diferença de temperatura entre dois níveis próximos a superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ( $\text{sm}^{-1}$ ). Inicialmente, obteve-se o parâmetro de rugosidade em função da altura média da vegetação, conforme equação proposta por BRUTSAERT (1982):

$$Z_{0m} = 0,12h \quad \text{Eq. 3}$$

em que, h é a altura média da vegetação (m). Estimou-se a velocidade de fricção utilizando o perfil logarítmico do vento para a condição de estabilidade neutra:

$$u_* = \frac{ku_x}{\ln\left(\frac{z_x}{z_{0m}}\right)} \quad \text{Eq.4}$$

em que,  $u_*$  é a velocidade de fricção ( $\text{ms}^{-1}$ ), k é a constante de von Karman (0,41),  $u_x$  é a velocidade do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ) na altura  $z_x$ . Em seguida, considerando-se a atmosfera ainda em condição neutra, estimou-se a velocidade do vento (Eq.5) para o nível de 100 metros de altura (*blending height*).

$$u_{100} = u_* \frac{\ln\left(\frac{100}{z_{0m}}\right)}{k} \quad \text{Eq. 5}$$

Admitindo-se que  $u_{100}$  é constante para todos os pixels da imagem em estudo, uma vez que nesse nível os efeitos da superfície no escoamento do ar podem ser desprezíveis, a velocidade de fricção para cada pixel foi obtida pela equação:

$$u_* = \frac{k u_{100}}{\ln\left(\frac{100}{z_{0m}}\right)} \quad \text{Eq. 6}$$

em que,  $z_{0m}$  (metros) foi obtido em função do SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), segundo equação desenvolvida por BASTIAANSEN (2000). A resistência aerodinâmica, pixel a pixel, foi calculada admitindo-se a atmosfera em condição de estabilidade neutra:

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{u_* k} \quad \text{Eq. 7}$$

em que,  $z_1$  e  $z_2$  são alturas acima da superfície (m). Allen et al. (2002) apresenta os seguintes valores para estas alturas:  $z_1 = 0,1 \text{ m}$  e  $z_2 = 2,0 \text{ m}$ . A diferença de temperatura próxima à superfície para cada pixel foi calculada por meio da relação linear entre  $dT$  e  $T_s$ :

$$dT = a + bT_s \quad \text{Eq. 8}$$

em que, a e b são parâmetros da equação obtidos pelos pixels “âncoras”. Realizou-se a seleção do pixel “frio” em uma área que apresentava uma cultura bem irrigada (pivô central), em que se considera nulo o fluxo de calor sensível. Assim, o fluxo de calor latente foi calculado da seguinte forma:

$$\lambda ET_{\text{frio}} = Rn - G \quad \text{Eq. 9}$$

Por outro lado, realizou-se a seleção do pixel “quente” em um campo agrícola “seco”, sendo considerado nulo o fluxo de calor latente, podendo-se então obter o fluxo de calor sensível máximo:

$$H_{\text{quente}} = R_n - G = \frac{\rho c_p (a + b T_s)}{r_{\text{ah}}} \quad \text{Eq. 10}$$

Os valores de  $R_n$ ,  $G$ ,  $T_s$  e  $r_{\text{ah}}$  são obtidos no pixel quente da imagem. Com base nesses valores, obtém-se  $a + b T_s = r_{\text{ah}} (R_n - G) / \rho c_p$ . Como no pixel “frio”  $dT = 0$ , ou seja,  $a + b T_s = 0$ , tem-se um sistema com duas equações e duas incógnitas, o que possibilita o cálculo de  $a$  e  $b$ . Em seqüência, estimou-se o fluxo de calor sensível com a aplicação da Equação 2. O comprimento de Monin-Obukhov foi utilizado na identificação da condição de estabilidade atmosférica de cada pixel. Posteriormente, fizeram-se as correções de estabilidade para o transporte de *momentum* ( $\psi_m$ ) e de calor ( $\psi_h$ ), que uma vez determinados possibilitaram corrigir a velocidade de fricção:

$$u_* = \frac{k u_{100}}{\ln\left(\frac{100}{z_{0m}}\right) - \psi_{m(100m)}} \quad \text{Eq. 11}$$

em que,  $\psi_{m(100\text{ m})}$  é a correção de estabilidade para o transporte de momentum a 100 metros de altura. Com a velocidade de fricção corrigida, obteve-se o valor corrigido da resistência aerodinâmica por meio da seguinte equação (Allen et al., 2002):

$$r_{\text{ah}} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right) - \psi_{h(z_2)} + \psi_{h(z_1)}}{u_* k} \quad \text{Eq. 12}$$

em que,  $\psi_{h(z_2)}$  e  $\psi_{h(z_1)}$  são as correções de estabilidade para o transporte de calor a 2,0 m e 0,1m, respectivamente.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** As Figuras 2a e 2b apresentam os fluxos de calor no solo e sensível, respectivamente, para o dia 05/06/2005 de uma região que compreende parte do Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo.

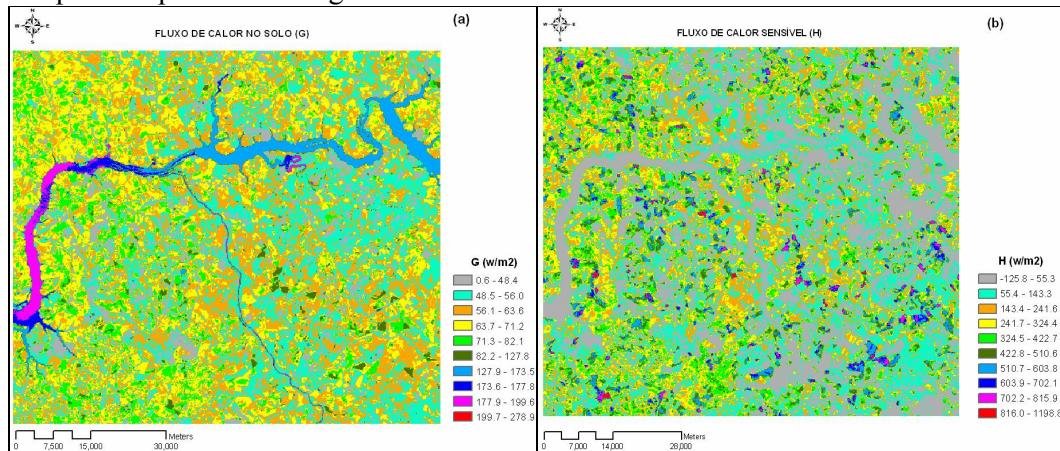


Figura 2 - Fluxos de calor no solo (a) e sensível (b) do dia 05/06/2005 (Imagem do sensor TM do Landsat 5).

Na Figura 2a, verifica-se que o fluxo de calor no solo ( $G$ ) variou de  $0,6 \text{ Wm}^{-2}$  a  $278,9 \text{ Wm}^{-2}$ , sendo que, a tonalidade em cinza representa a classe com valores mínimos da cena ( $0,6 \text{ Wm}^{-2}$  a  $48,4 \text{ Wm}^{-2}$ ). As tonalidades em azul e magenta encontram-se sobre o lago do Rio Grande e representa as classes de valores mais altos de  $G$ . Além disso, a

classe de tonalidade amarela contém o valor médio de G que foi de  $66 \text{ Wm}^{-2}$ . Silva e Bezerra (2006) ao estudar uma região que abrange o Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, encontraram valor médio de G da ordem de  $94,5 \text{ Wm}^{-2}$  e valores mínimos e máximos de  $29,7$  e  $222,1 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente, para cena de 04/12/2000. Entretanto, para cena de 04/10/2001 encontraram valor médio de G da ordem de  $112,3 \text{ Wm}^{-2}$  e valores mínimos e máximos de  $54,5 \text{ Wm}^{-2}$  e  $224,1 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente. Já na Figura 2b tem-se o fluxo de calor sensível (H), no qual variou na cena de  $-125,8 \text{ Wm}^{-2}$  a  $1198,8 \text{ Wm}^{-2}$ , sendo que, as tonalidades em cinza e vermelha representam as classes com valores de H mínimos e máximos, respectivamente. Neste estudo, o valor médio de H foi de  $180 \text{ Wm}^{-2}$ , contudo, Silva e Bezerra (2006) obtiveram valores médios de H da ordem de  $130,2 \text{ Wm}^{-2}$  e  $158,3 \text{ Wm}^{-2}$  para cenas do dia 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente. Ao analisar a Figura 1 que apresenta a composição RGB das bandas 3,2,1, juntamente com as Figuras 2a e 2b, observa-se que G foi mais elevado em áreas sobre o Rio Grande e afluentes, e mais baixo sobre áreas irrigadas e de vegetação nativa (Figura 2a), mostrando que G é dependente das condições da superfície (seca ou úmida e nua ou vegetada). Com relação a H (Figura 2b), verificam-se valores altos em áreas com solo exposto e valores baixos em áreas com vegetação e corpos de água (Rio Grande e afluentes), sendo também H dependente das condições da superfície. Observações semelhantes também foram feitas por Silva e Bezerra (2006), afirmando ainda que valores de H negativo correspondem aos pixels cuja temperatura da superfície é inferior a temperatura do pixel frio, ocorrendo geralmente sobre áreas que correspondem a corpos de água.

**CONCLUSÕES:** As estimativas dos fluxos de calor no solo e sensível por meio do algoritmo SEBAL para a região localizada entre o Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo apresentaram valores médios na cena de  $66 \text{ Wm}^{-2}$  e  $180 \text{ Wm}^{-2}$  para os fluxos de calor no solo e sensível, respectivamente.

#### **REFERÊNCIAS:**

- ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual, version 1.0, 98p, 2002.
- 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. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BEZERRA, M. V. C. Balanço de energia em áreas irrigadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Campina Grande, PB: UFCG, 2004. 108f. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- BRUTSAERT, W. H. Evaporation into the Atmosphere. Reidel, Boston, Massachusetts, 212p, 1982.
- SILVA, B. B. da., BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 14, n.2, p. 174-186, 2006.