

Estimativa da evapotranspiração da soja via sensoriamento remoto no leste do Pará: uma avaliação quantitativa

Pedro Pereira Ferreira Junior¹
Adriano Marlison Leão de Sousa²
Maria Isabel Vitorino¹
Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza²

¹ Universidade Federal do Pará – UFPA/FAMET/PPGCA
Caixa Postal 479 – 66.075-110 - Belém - PA, Brasil
ferreirajunior_pp@yahoo.com.br; vitorino@ufpa.br

² Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA/ISARH
CEP – 66.077-530 - Belém - PA, Brasil
adriano.souza@ufra.edu.br

Abstract. In this work, the estimated daily evapotranspiration using remote sensing data and observed daily evapotranspiration. For this purpose, we used data of the micrometeorological tower over the area of the Igarapé 54 watershed, tributary of the Uraim River (Paragominas - PA); It also used two images of Landsat Thematic Mapper 5 (TM Landsat-5) and applied the Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL). The dates for analysis are referring to the days May 30, 2006 and June 15, 2006. The results showed that the estimated daily evapotranspiration for soybean by SEBAL showed a good agreement with the values of measured ET in the tower. The percentage error between values estimated by image and values measured in the field was only 10% on average for May 30, 2006. While for June 15, 2006, the percentage error between the estimated and measured values was only 4%. This is within the accuracy of the model SEBAL because the percentage error of less than 10% in estimates of ET modeled with the aid of the TM / Landsat 5, when compared to measurements obtained by sensors installed on micrometeorological towers, is acceptable. This shows the importance of using methods that enable large-scale spatial analysis, such as those made possible by remote sensing and that despite being a distinct techniques of conventional methods showed good accuracy in estimating evapotranspiration.

Keywords: remote sensing, SEBAL, evapotranspiration, soybean, Pará.

1. Introdução

Nos últimos anos, o sensoriamento remoto tem se posicionado com grande importância no monitoramento ambiental, tornando-se ferramenta indispensável para obtenção de informações necessárias ao gerenciamento e gestão de recursos naturais (Mendes, 1996). A evapotranspiração (ET) abrange todos os processos que envolvem a mudança da fase líquida ou sólida para vapor d'água; e o conhecimento da ET da superfície terrestre para a atmosfera é importante para a resolução de inúmeras questões relacionadas aos recursos hídricos (Giacomoni, 2005).

Para quantificar as perdas de água de superfícies cultivadas da superfície para a atmosfera são utilizados vários métodos, como razão de Bowen, método das correlações turbulentas e outros, destinados à estimativa da ET na pequena escala. No entanto, nos últimos anos têm-se estimado a ET em escala regional, usando, assim, algoritmos, imagens orbitais e várias outras técnicas de sensoriamento remoto, como mostrado por Giacomoni (2005), Silva e Bezerra (2006) e Sousa (2007).

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitam obter de forma eficiente e econômica a representação espacial da ET porque consideram características inerentes como cobertura vegetal, tipo de solo, relevo etc.; ao contrário dos métodos convencionais que necessitam de uma série de informações climatológicas, fornecem informações de um ponto específico e apresentam grandes incertezas quando o interesse é o comportamento espacial. Com esta finalidade, a avaliação da evapotranspiração real na escala regional tem sido estudada extensamente nos últimos anos combinando medidas de torres micrometeorológicas convencionais com dados remotamente detectados (Folhes, 2007).

Muitos algoritmos têm sido aplicados em diversos ecossistemas do globo, possibilitando cálculos do fluxo de calor latente, temperatura da superfície, reflectância hemisférica da superfície, índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) e de alguns outros. Deste modo, este trabalho se propõe a determinar a evapotranspiração para uma área de cultivo de soja via sensoriamento remoto e, assim, fazer uma avaliação quantitativa da técnica utilizada.

2. Material e Métodos

2.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica Igarapé 54, tributário do rio Uraim, no município de Paragominas, cuja sede localiza-se a 320 quilômetros da cidade de Belém, capital do Estado do Pará. A bacia ocupa uma área de 132 km² na região nordeste do Estado, entre as latitudes 02°54'20" e 03°04'30" S e longitudes 47°22'00" e 47°31'53" W (Figura 1). A bacia de estudo encontra-se bastante antropizada, tendo a sua ocupação ocorrida, sobretudo a partir do início da década de 70, para formação de pastagens em áreas de floresta ombrófila densa. Devido à baixa estabilidade dos sistemas de produção até então empregados, as pastagens sofreram um agudo processo de degradação, que, por sua vez, permitiu a formação de áreas de vegetação secundária ("juquira"), em vários estágios de sucessão. O principal uso da terra, ainda hoje, é baseado em atividades pecuárias, porém nos últimos anos têm crescido o cultivo de soja.

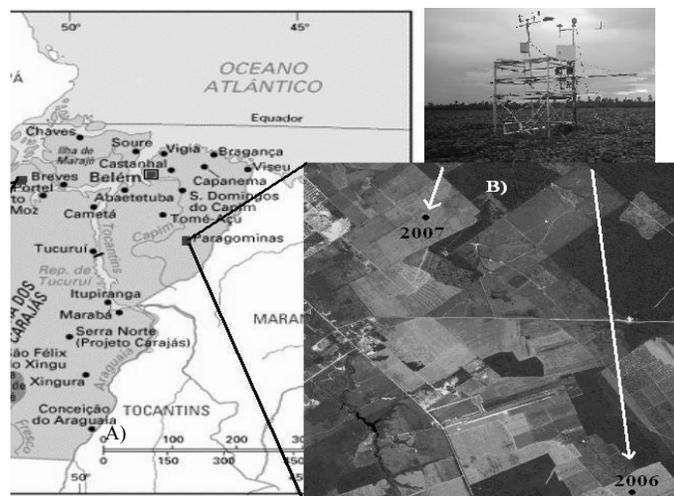


Figura 1 – Localização da área plantada de soja (A, B).

2.2 Dados Utilizados

Duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5 (LANDSAT TM-5), adquiridas junto ao INPE, foram utilizadas. Estas imagens são compostas de sete bandas espectrais e a passagem do Landsat 5 – TM sobre a área estudada ocorreu às 10h00min (tempo solar) nos dias 30 de maio de 2006 e 15 de junho de 2006 (Dias Julianos 150 e 166, respectivamente). O uso do software ERDAS Imagine 9.2 fez-se necessário para visualização e realização de operações matemáticas intra e inter bandas, além de realces, recortes e outras tarefas.

2.3 Metodologia

O balanço de energia determinado pelo algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) necessita de poucas informações da superfície para estimar as componentes do balanço de energia através do sensoriamento remoto. A evapotranspiração, obtida pela divisão do fluxo de calor latente pelo calor latente de vaporização da água, foi estimada como o resíduo da equação do balanço de energia, contabilizando-se a diferença entre a radiação líquida, o fluxo de calor para o solo e o fluxo de calor. A equação 1 apresenta o balanço de energia do modelo SEBAL (Bastiaanssen *et al.* 1998).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

Onde: λET é o fluxo de calor latente (W/m^2), R_n é o saldo de radiação na superfície (W/m^2), G é o fluxo de calor no solo (W/m^2) e H é o fluxo de calor sensível (W/m^2).

O saldo de radiação na superfície (R_n) é computado considerando-se a radiação de onda curta incidente na superfície, a radiação da atmosfera que incide sobre a superfície e a radiação emitida pela superfície (equação 2).

$$R_n = R_{S\downarrow} (1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_{sup}) R_{L\downarrow} \quad (2)$$

Onde: $R_{S\downarrow}$ é a radiação de ondas curtas incidentes (W/m^2), α é o albedo de superfície (adimensional), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de ondas longas incidentes (W/m^2), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de ondas longas emitidas (W/m^2), e o ϵ_{sup} é a emissividade térmica da superfície (adimensional).

O fluxo de calor no solo é a taxa de armazenamento de calor no solo e na vegetação devido à condução térmica. O modelo SEBAL computa primeiramente a relação G/R_n usando a equação empírica (3) desenvolvida por Bastiaanssen (2000) para o meio-dia:

$$G/R_n = T_{sup} / \alpha (0.0038 \alpha + 0.0074 \alpha^2) \times (1 - 0.98 \times NDVI^4) \quad (3)$$

Onde: G é calculado multiplicando o valor de R_n e é expresso em (W/m^2).

O fluxo de calor sensível é a taxa de perda de calor pela convecção e/ou condução, devido a um gradiente de temperatura. É computado usando a equação 4 para o transporte de calor:

$$H = (\rho_a \times c_p \times dT) / R_{ah} \quad (4)$$

Onde: ρ_a densidade do ar (kg/m^3); c_p é o calor específico do ar (onde o produto entre os dois é $1155 \text{ J}/\text{m}^3/\text{K}$); dT é a diferença de temperatura entre duas alturas (z_1 e z_2) e o R_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (s/m).

Após o cômputo da imagem de evapotranspiração, foi realizada análise comparativa (quantitativa) para cada dia descrito anteriormente na escala de $1^\circ \times 1^\circ$ no leste do Pará. Vale ressaltar que a descrição dos algoritmos e da metodologia aplicada encontra-se descrito em Sousa et al. (2007).

3. Resultados e Discussão

As taxas diárias de evapotranspiração para a soja sobre a área de estudo correspondente à bacia hidrográfica Igarapé 54 foram estimadas usando as imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5 (LANDSAT TM-5).

A Figura 2 é referente ao dia 30 de maio de 2006 (Dia Juliano 150), a qual apresentou uma taxa de $ET_{r24\text{horas}}$ de 3,62 mm/dia. Em contrapartida, a $ET_{r24\text{horas}}$ medida na torre para este mesmo dia apresentou uma taxa de 3,24 mm/dia, portanto entre os valores estimados via imagem e medidos em campo, o erro foi de apenas 10% em média neste dia.

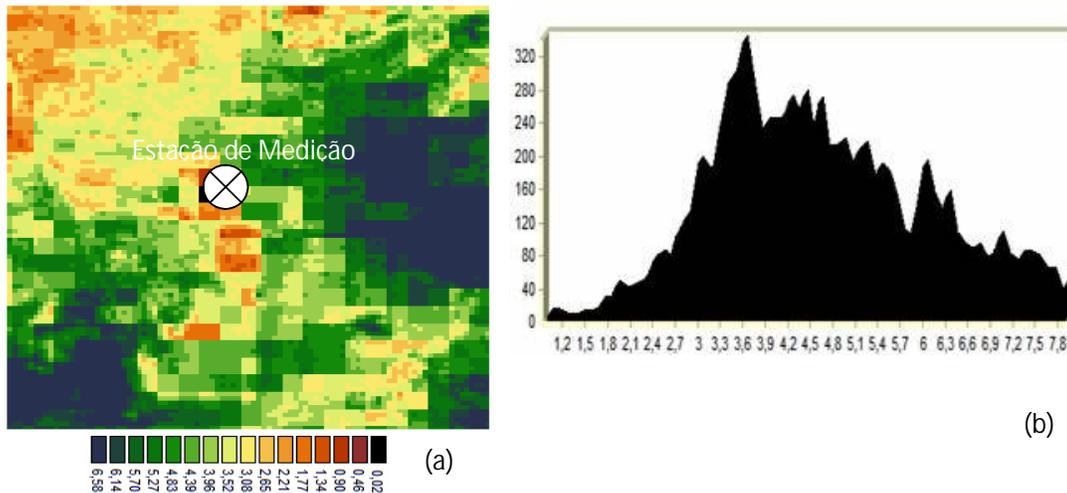


Figura 2. (a) Estimativa de evapotranspiração em mm/dia para o dia 30 de maio (DJ 150) e (b) histograma de frequência (eixo x – evapotranspiração mm/dia e eixo y – frequência de ocorrência dos pixel).

Observando-se a Figura 3, correspondente ao dia 15 de junho de 2006 (Dia Juliano 166), evidenciou-se que a taxa diária da $ET_{r24\text{horas}}$ foi de 2,87 mm/dia. Enquanto isso, a taxa medida diretamente na torre foi de 2,96 mm/dia, resultando em um erro médio de apenas 4%. Isto revela que há uma grande semelhança entre os dois valores obtidos, apesar de usadas técnicas distintas.

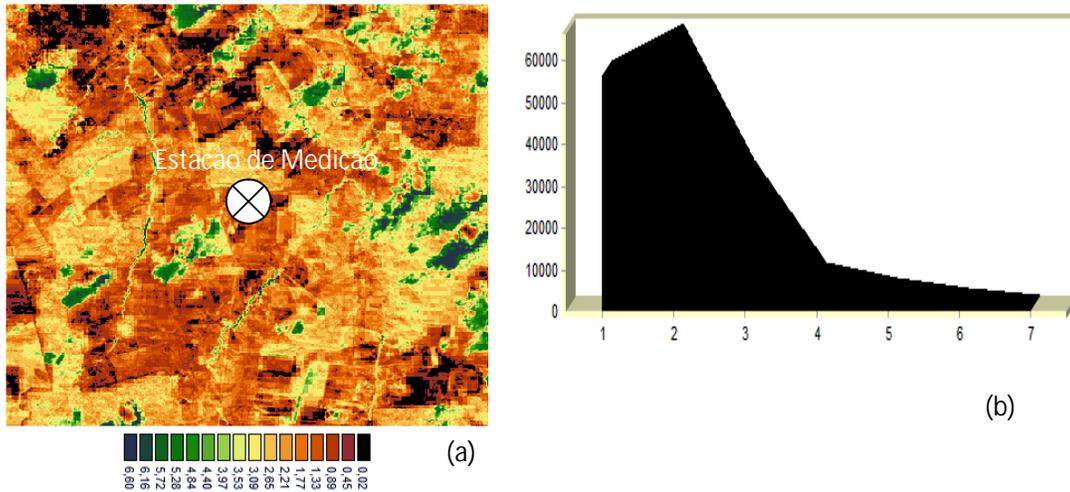


Figura 3. (a) Estimativa de evapotranspiração em mm/dia para o dia 15 de junho (DJ 166) e (b) histograma de frequência (eixo x – evapotranspiração mm/dia e eixo y – frequência de ocorrência dos pixel).

Em relação à exatidão do modelo SEBAL, Ma et al. (2004) relatam erro percentual de menos de 10% nas estimativas de ET modeladas com auxílio das imagens TM/Landsat 5, quando comparadas a medidas obtidas por sensores instalados em torres micrometeorológicas.

Avaliando a estimada da evapotranspiração real diária da cultura da banana através do METRIC (Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration), que representa uma variação do modelo SEBAL, com auxílio de imagens do sensor TM/Landsat 5 e de elementos meteorológicos disponíveis em estações meteorológicas, Folhes et al., (2007) mostrou que a $ET_{r24horas}$ estimada pelo METRIC mostra uma razoável concordância com os resultados obtidos a partir das medições realizadas com o método das correlações turbulentas, com erro absoluto de 0,4 mm/dia e erro relativo de 12%.

Lima et al. (2009) estimaram a ET para uma área do Triângulo Mineiro em 16 de agosto de 2008, usando o SEBAL. A ET de referencia (ET_{ref}) foi usada para calculada por FAO e Penman-Monteith (PM) e comparada com os resultados obtidos pelo SEBAL. A ET estimada pelo SEBAL variou de 0,00 mm/dia a 8,98 mm/dia (com média de 3,25 mm/dia). O resultado encontrado pelos métodos PM e FAO foi de 5,49 mm/dia, enquanto o estimado pelo SEBAL, no pixel onde estava a torre meteorológica, foi de 4,34 mm/dia.

Ademais, estimando a evapotranspiração real diária ($ET_{r24horas}$) via imagens TM/Landsat 5, com dados complementares da estação meteorológica e aplicando o SEBAL para uma área localizada no Cariri cearense, Bezerra et al., (2008) observaram que quando comparados com medidas efetuadas nos campos irrigados de algodão e mamona os valores da $ET_{r24horas}$ estimados pelo SEBAL apresentaram diferenças inferiores a 1,0 mm/dia.

Enquanto isso, Santos et al., (2010) avaliando a eficiência da aplicação do modelo SEBAL em estimar os fluxos de energia em superfície e evapotranspiração diária, numa extensa área de cultivo de arroz irrigado, em Paraíso do Sul - RS, auxiliados com parâmetros do sensor ASTER, observaram que as estimativas mais precisas foram as de fluxo de calor sensível e de evapotranspiração diária.

Concluindo, assim, que a metodologia empregada foi capaz de reproduzir os fluxos de energia em superfície de maneira satisfatória para estudos agrometeorológicos e de rendimento de culturas.

4. Conclusões

Os resultados de uma maneira geral mostram que as taxas de ET estimadas foram muito semelhantes às observadas. Isto revela a importância de se utilizar métodos que viabilizam análises em larga escala espacial, como as possibilitadas pelo sensoriamento remoto, já que a utilização destas técnicas quando aplicadas em conjunto com dados medidos em estações meteorológicas de superfície auxiliam em uma maior acurácia.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro na forma de bolsa de estudos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará pela oportunidade única de aprendizado e direcionamento profissional.

5. Referências Bibliográficas

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. M. 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, n. 1-4, pp. 198-212.

Bastiaanssen, 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, B. G. et al. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, 305-317, 2008.

Folhes, M. T. Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos. 2007. 186 f. Tese (Doutorado) - São José dos Campos: INPE, 2007.

Giacomoni, M. H. Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 2005. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - UFRG, Rio Grande do Sul. 2005.

Lima, E. P et al. Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 – TM. In: **Anais...XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 247-254. 2009

Ma, Y.M.; Menenti, M.; Tsukamoto, O.; Ishikawa, H.; Wang, J.M.; Gao, Q. Remote sensing parameterization of regional land surface heat fluxes over arid area in northwestern China. **Journal of Arid Environments**, v.57, p.257-273, 2004.

Mendes, C. A. B. Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas: Fundamentos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 1(1): 49-64. 1996.

Santos, T. V et al. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.5, p.488-496, maio 2010.

Silva, B. B; 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. 174-183, 2006.

Sousa, A. M. L. et al. Estimativa da evapotranspiração real derivada do sensor MODIS: aplicação no leste da Amazônia. In: **Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste, 2.**, 2007.