

Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM

Evaldo de Paiva Lima ¹
Gilberto Chohaku Sedyama ¹
Ricardo Guimarães Andrade ¹
Rafael Coll Delgado ¹
Vicente Paulo Soares ²
José Marinaldo Gleriani ²

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV/DEA
Av. P. H. Rolfs, s/n - 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{evaldolima, ricardo29_mg, rcdelgado}@hotmail.com
g.sedyama@ufv.br

² Universidade Federal de Viçosa - UFV/DEF
Av. P. H. Rolfs, s/n - 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{vicente, gleriani}@ufv.br

Abstract. The quantification of the evapotranspiration (ET) is important, mainly in handling of irrigation systems, because by knowing the loss of water by the cultures is possible to determine how much to irrigate it. Nowadays it is already possible to determine evapotranspiration using techniques of remote sensing and satellite images, through estimates of the latent heat flux. In this context, that research aims to estimate ET for an area of Triângulo Mineiro on August 16, 2008, using Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Reference Evapotranspiration Calculator (REF-ET) was used to calculate the evapotranspiration reference, by FAO Penman-Monteith method (PM-FAO), to compare with the result obtained by SEBAL. ET estimated by SEBAL varied from 0,00 to 8,98 mm/day, with average of 3,25 mm/day. The result found by PM-FAO method was of 5,49 mm/day, while the estimated one for SEBAL, in the pixel where the meteorological station is, was of 4,34 mm/day.

Palavras-chave: soil heat flux, sensible heat flux, latent heat flux, Triângulo Mineiro, fluxo de calor no solo, fluxo de calor sensível, fluxo de calor latente, Triângulo Mineiro.

1. Introdução

A quantificação da evapotranspiração (ET) é importante, principalmente, no dimensionamento de projetos e no manejo de sistemas de irrigação, pois, conhecendo-se a perda de água pelas culturas, é possível determinar quanto irrigar. Além disso, o conhecimento do momento correto de irrigar é de suma importância para se propor um manejo adequado, de modo a dotar o solo de água facilmente utilizável pelas plantas, evitando-se aplicações excessivas ou deficientes de água, as quais podem acarretar doenças, lixiviação de nutrientes e perdas de solo, além do gasto adicional de energia e insumos (Lima, 2005).

A evapotranspiração 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, balanço de energia, combinados, etc. Mesmo com a precisão oferecida pelas medidas diretas ou por alguns métodos empíricos, a ET é normalmente estimada de forma pontual.

French et al. (2005) citam que a variabilidade espacial da evapotranspiração é grande, e que, até mesmo as maneiras mais avançadas de medi-la, em torres por meio de sistemas de covariância de vórtices turbulentos, não é frequentemente o mais representativo da ET numa escala regional. Conseqüentemente, é requerida a incorporação de dados de sensoriamento

remoto, devido esta ser a única maneira de se observar, simultaneamente, grandes áreas de superfície do solo (French et al., 2005).

O sensoriamento remoto oferece grandes vantagens, como a obtenção de informações que possibilitam a geração de séries temporais da região em estudo, facilitando a comparação entre elas. Ao mesmo tempo, proporciona o oferecimento de ampla cobertura espacial, favorecendo a análise de toda a região e a obtenção de informações que podem ser representadas espacialmente. A principal vantagem de aplicar procedimentos de ET baseados no sensoriamento remoto é que a água consumida pelo sistema solo-água-planta pode ser obtida diretamente sem a necessidade de quantificar complexos processos hidrológicos.

É nesse contexto que entra o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), pois estima a evapotranspiração utilizando o balanço de energia à superfície, ou seja, o fluxo de calor latente (λET) é calculado para cada pixel da imagem de um satélite como um “resíduo” da equação clássica do balanço de energia. Assim, o objetivo deste trabalho é estimar a evapotranspiração diária em áreas irrigadas utilizando o SEBAL e imagem do Landsat 5 - TM.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende parte dos municípios de Conceição das Alagoas e Água Comprida, pertencentes ao Estado de Minas Gerais, e possui as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (latitude 19° 52' 52,62" Sul e longitude 48° 19' 12,01" Oeste) e canto inferior direito (latitude 20° 11' 01,12" Sul e longitude 47° 59' 03,38" Oeste). A região possui clima quente e úmido, topografia levemente inclinada a semi-plana com solos latossolos vermelhos e terra roxa estruturada de origem distrófica (http://www.aguacomprida.mg.gov.br/info_municipio.html). Nessa região há o predomínio de cultivos irrigados devido às condições favoráveis de plantio (relevo levemente inclinado, água abundante, fertilidade do solo, etc.).

Para o estudo utilizou-se uma imagem, que não possuía cobertura de nuvens, do dia 16 de agosto de 2008 do satélite Landsat 5 - TM. Esta imagem foi obtida gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Também foram utilizadas informações meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, radiação global e velocidade do vento) de uma estação automática (A520) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (latitude 19° 59' 09" Sul, longitude 48° 09' 09" Oeste e 568 m de altitude). Estas informações foram obtidas gratuitamente por meio do sítio <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>. A Figura 1 apresenta a estação utilizada no estudo.



Figura 1. Estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia.

Para obtenção dos fluxos de calor no solo, sensível e da evapotranspiração foi utilizado o SEBAL, que foi desenvolvido no programa *Erdas 9.1*. O programa *ArcGis 9.2* foi utilizado adicionalmente para melhor visualizar as informações geradas no SEBAL.

O *Reference Evapotranspiration Calculator* (REF-ET), descrito por Allen (2000), foi utilizado para calcular a evapotranspiração de referência (ET_o) diária, pelo método de Penman-Monteith FAO (1998), com os dados registrados na estação. O objetivo foi comparar o resultado da ET_o com a evapotranspiração estimada por meio do SEBAL.

2.1. Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo foi estimado a partir da equação desenvolvida por Bastiaanssen (2000).

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

em que, T_s é a temperatura da superfície (°C), α é o albedo corrigido (adimensional), NDVI é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*) e Rn é o balanço de radiação. Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos de água (NDVI < 0), considera-se G = 0,3Rn (Silva e Bezerra, 2006).

2.2. Fluxo de calor sensível

O fluxo de calor sensível (Equação 2) é a taxa de calor transferido da superfície para o ar pelos processos de convecção e condução. Este fluxo é calculado utilizando a velocidade do vento, a resistência aerodinâmica e diferenças da temperatura do ar entre a superfície e o ar próximo à mesma.

$$H = \frac{\rho c_p dT}{r_{ah}} \quad (2)$$

em que, ρ é a densidade do ar úmido (1,15 kgm⁻³), c_p é o calor específico do ar à pressão constante (1004 Jkg⁻¹K⁻¹), dT é a diferença de temperatura entre dois níveis e r_{ah} é a resistência aerodinâmica (sm⁻¹).

Para calcular o H precisa-se definir a diferença da temperatura (dT) próxima a superfície. O SEBAL calcula dT para cada pixel por meio de uma relação linear entre dT e T_s. Esta relação é dada pelos coeficientes *a* e *b* que são obtidos pelos pixels denominados “âncoras”. Estes pixels chamados de “quente” e “frio” ficaram situados na área de estudo. O pixel “frio” foi selecionado numa área de pivô central (latitude 20° 01’ 52,75” Sul e longitude 48° 12’ 07,65” Oeste). A temperatura da superfície e a temperatura do ar próxima à superfície foram consideradas iguais para esse pixel. Nesse caso assumiu-se que o fluxo de calor sensível é igual à zero, e então, pode-se determinar o fluxo de calor latente máximo. O pixel “quente” foi selecionado em um campo agrícola com solo exposto (latitude 20° 00’ 36,00” Sul e longitude 48° 09’ 16,21” Oeste), onde assumiu-se que o fluxo de calor latente é igual à zero, e então, obteve-se o fluxo de calor sensível máximo. A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas utilizadas na estimativa do fluxo de calor sensível.

2.3. Evapotranspiração

A evapotranspiração diária, em mm/dia, foi obtida a partir da metodologia utilizada por Ayenew (2003).

$$ET_{diária} = \frac{\Lambda \cdot Rn_{diário}}{28} \quad (3)$$

em que, Λ é a fração evaporativa (adimensional), Rn_{diário} é o balanço de radiação integrado para um período de 24 horas e o escalar no denominador (28) é o fator de conversão de W/m² para mm/dia.

A fração evaporativa é definida como a fração de calor latente para o máximo saldo de energia disponível (Chemin et al., 2004). Estudos micrometeorológicos indicam que esse termo pode ser considerado constante durante o período diurno, sendo que é neste período que acontece o processo de evapotranspiração (Crago, 1996; Ayenew, 2003).

Para a estimativa do $Rn_{diário}$ utilizou-se os dados de temperatura do ar, umidade relativa e radiação global coletados na estação meteorológica do INMET.

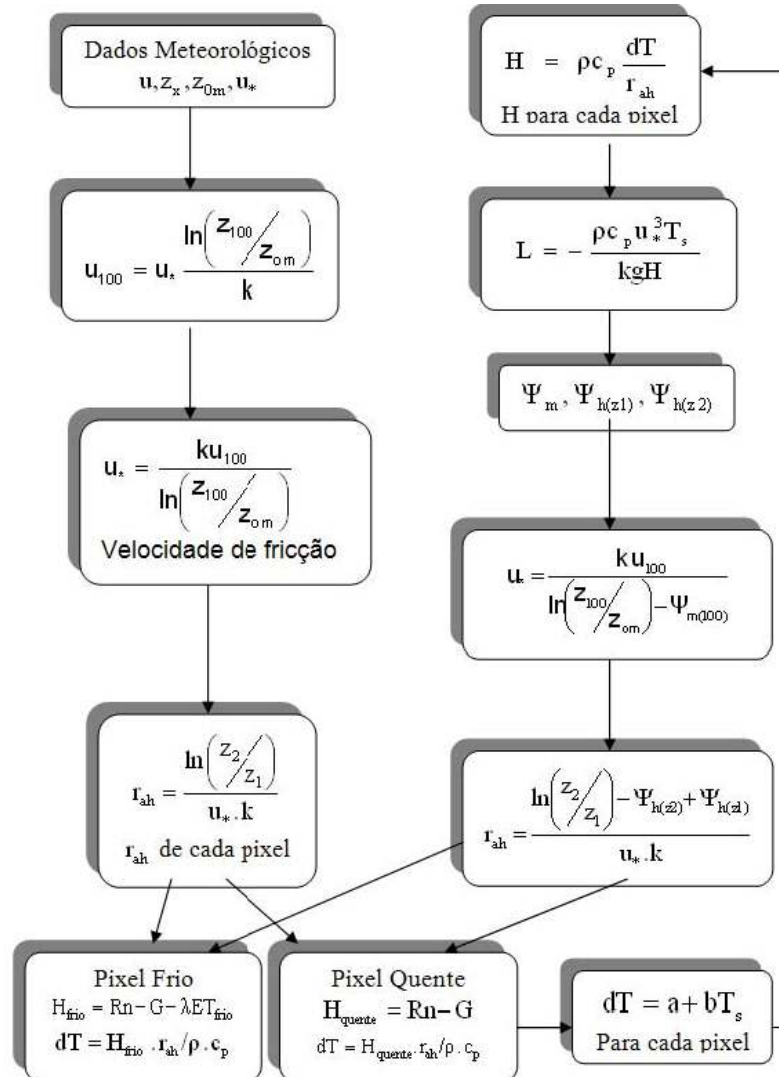


Figura 2. Fluxograma das etapas utilizadas na estimativa do fluxo de calor sensível. Fonte: Bezerra (2004).

3. Resultados e Discussão

O fluxo de calor no solo (G) pode ser medido através de sensores instalados no solo. Porém, este termo foi estimado empiricamente por meio da equação de Bastiaanssen (2000).

A Figura 3 apresenta os valores de G para o dia 16 de agosto de 2008. O fluxo de calor no solo variou de $1,03 \text{ W/m}^2$ a $194,91 \text{ W/m}^2$, com um valor médio de $75,88 \text{ W/m}^2$ (tonalidade mais clara de verde). A tonalidade de verde escuro corresponde ao intervalo de menores valores, $1,03$ a $48,17 \text{ W/m}^2$, e a tonalidade de vermelho, encontrada principalmente sobre o Rio Grande, corresponde ao intervalo de maiores valores ($187,31$ a $194,91 \text{ W/m}^2$).

Silva e Bezerra (2006) utilizando duas imagens do satélite Landsat 5 - TM obtidas em 04/12/2000 e 04/10/2001, que envolviam áreas irrigadas do Projeto Senador Nilo Coelho, parte do Lago de Sobradinho, áreas de vegetação nativa e parte da área urbana dos municípios

de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, também encontraram os maiores valores de G sobre uma superfície líquida (Lago de Sobradinho), $211,80 \text{ W/m}^2$ e $214,50 \text{ W/m}^2$, respectivamente. Silva e Bezerra (2006) ainda citam que os valores médios do fluxo de calor no solo foram $94,50 \text{ W/m}^2$ e $112,30 \text{ W/m}^2$ para as datas de 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente.

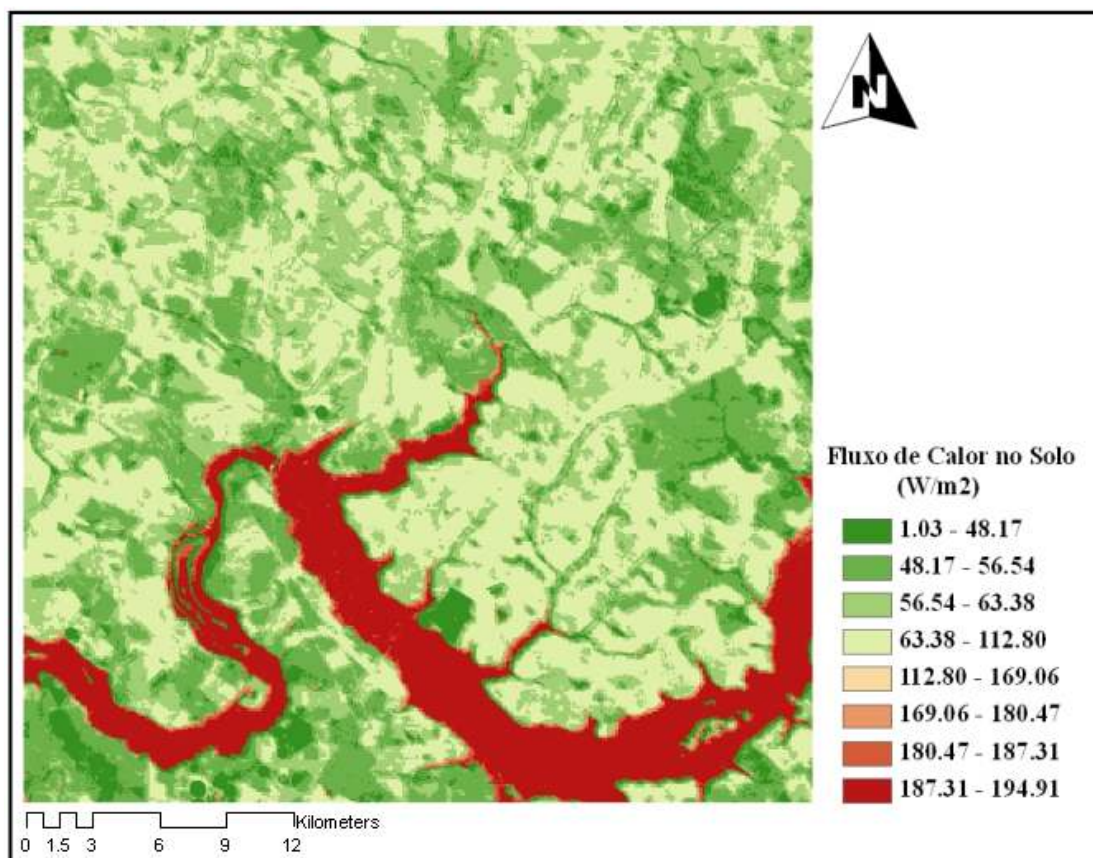


Figura 3. Fluxo de calor no solo.

3.1. Fluxo de calor sensível

A determinação do fluxo de calor sensível (H) é a parte central do SEBAL. Este fluxo é obtido por meio de um processo iterativo, no qual se considera a atmosfera em condição neutra, sendo que, nas próximas iterações são feitas as correções de estabilidade atmosférica.

Na Figura 4 tem-se o fluxo instantâneo de calor sensível, ou seja, o H estimado para o local de estudo no momento da passagem do satélite (10:01 hs). Observa-se que, os menores fluxos ocorreram sobre o Rio Grande, e os maiores sobre áreas com nenhuma umidade na superfície do solo (tonalidade vermelha). O fluxo de calor sensível variou no dia 16 de agosto de 2008 de $-133,61 \text{ W/m}^2$ a $1123,98 \text{ W/m}^2$ com média em torno $254,50 \text{ W/m}^2$ (correspondente ao verde da terceira classe). O H é elevado sobre uma superfície com nenhuma umidade porque a maior parte da energia disponível (R_n) é utilizada para aquecer o ar e o restante aquece o solo, conforme Sellers (1969)¹, citado por Silva e Bezerra (2006), comenta que os percentuais do R_n utilizados para aquecer o solo estão na faixa de 5 a 12%.

Silva e Bezerra (2006) obtiveram valores médios do fluxo de calor sensível da ordem de $130,20 \text{ W/m}^2$ e $158,30 \text{ W/m}^2$ para imagens dos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente. Estes autores mostraram que os menores valores do H foram encontrados em superfícies líquidas, concordando com a tendência observada no Triângulo Mineiro.

¹ Sellers, W. D. **Physical Climatology**. Chicago: University Chicago Press, 3 ed., 1969. 271 p.

Em áreas de plantios de eucaliptos pertencentes à Celulose Nipo-Brasileira S/A (CENIBRA), no entorno do município de Santa Bárbara-MG, Menezes (2006) obteve H de 76,67 W/m² a 223,18 W/m², 180,72 W/m² a 216,86 W/m², -32,62 W/m² a 188,41 W/m² para imagens dos dias 20/06/2003, 24/09/2003 e 22/06/2004, respectivamente.

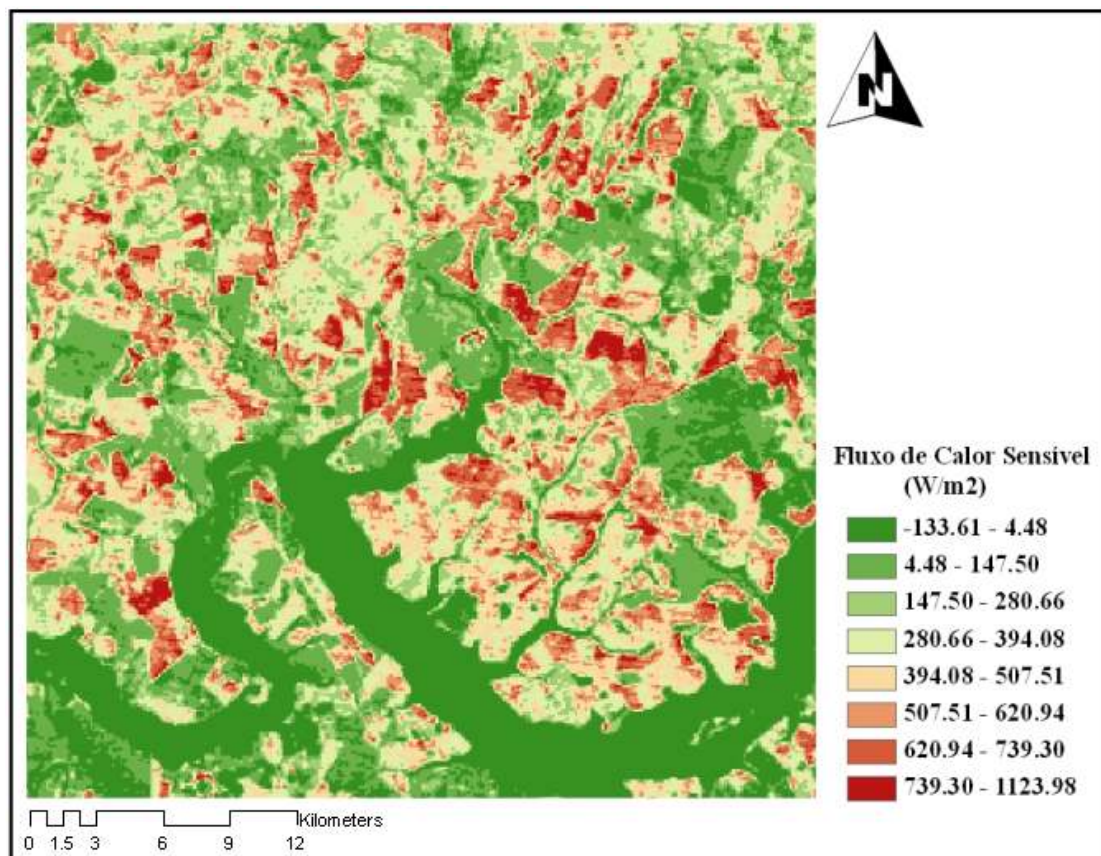


Figura 4. Fluxo de calor sensível.

3.2. Evapotranspiração diária

O SEBAL estima o fluxo de calor latente instantâneo como um “resíduo” da equação clássica do balanço de energia. Porém, para o dimensionamento de projetos e no manejo de sistemas de irrigação valores horários e diários são mais necessários do que valores instantâneos, por isso será apresentada a evapotranspiração diária ($ET_{diária}$).

A Figura 5 apresenta a evapotranspiração diária para parte dos municípios de Conceição das Alagoas e Água Comprida (região do Triângulo Mineiro) no dia 16 de agosto de 2008. Vale destacar que a evapotranspiração estimada é a real, e Bezerra (2006) cita que esta é inerente aos efeitos de salinidade, irrigação deficitária, doenças e pragas da cultura. A tonalidade vermelha corresponde ao intervalo de menores valores da $ET_{diária}$, 0,00 a 0,63 mm/dia, e se localizou sobre áreas com nenhuma ou baixa umidade na superfície do solo. O maior intervalo de valores da $ET_{diária}$, 7,75 a 8,98 mm/dia, correspondem à tonalidade azul escura e se localizou principalmente sobre o Rio Grande, que fica na divisa entre Minas Gerais e São Paulo. As demais tonalidades representam os valores intermediários da evapotranspiração diária, sendo que o valor médio foi de 3,25 mm/dia (tonalidade verde clara). A $ET_{diária}$, ou melhor dizendo evaporação, foi elevada sobre o Rio Grande devido a disponibilidade de energia (R_n) ser maior sobre superfícies líquidas. Isso concorda com o que Lima (2005) relatou, ou seja, que o processo de evapotranspiração é determinado pela quantidade de energia disponível para vaporizar a água.

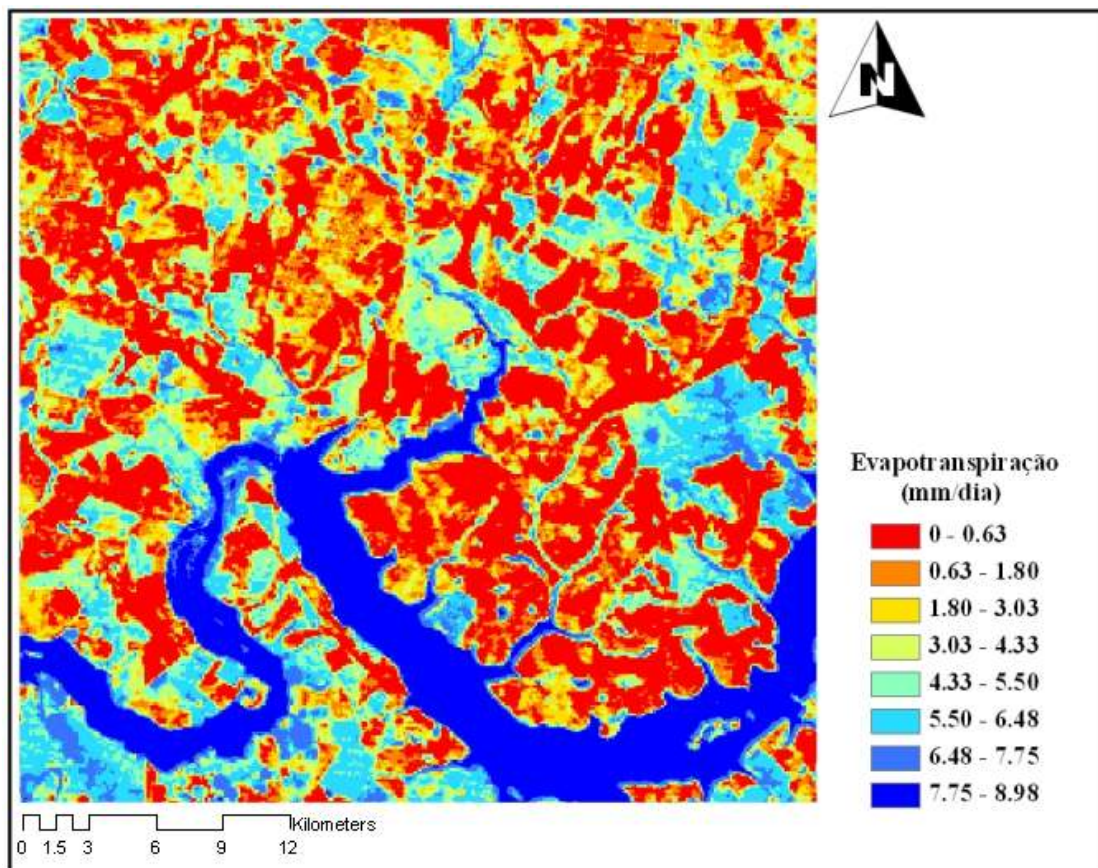


Figura 5. Evapotranspiração diária.

Aynew (2003) aplicou o SEBAL na estimativa da evaporação de lagos e da evapotranspiração diária de superfícies vegetadas, utilizando dados do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), na Etiópia. O autor cita que a evaporação diária dos lagos é altamente variável, variando de 4,9 a 5,9 mm/dia. Na superfície vegetada, a evapotranspiração aumentou com a altitude seguindo a tendência de disponibilidade de umidade no solo ao invés do gradiente de temperatura. Na média a $ET_{diária}$ variou de 0,2 mm, em solos lacustres e onde se tinha lago com água salgada por perto, a 4,5 mm nos picos de montanhas cobertas com vegetação *afro-alpine*, sendo esta vegetação caracterizada por árvores acácia e decíduas, árvores de folhas verdes o ano inteiro e arbusto semi-perene. Este autor ainda cita que as diferenças espaciais dos resultados do SEBAL na superfície ficaram de acordo com as estimativas de métodos de evapotranspiração convencional (Penman 1948 e radiação).

Trezza (2006) obteve valores de $ET_{diária}$ na Venezuela, para o dia 14 de março de 2001, que oscilaram entre 0,01 mm e 8,20 mm em áreas agrícolas que abrangem o reservatório do Rio Guárico, localizado no Estado de Guarico, sendo que, em áreas irrigadas, onde o arroz é o principal cultivo, a $ET_{diária}$ média foi de 4,43 mm.

Comparou-se o resultado da ET_o , estimada pelo método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO), com a evapotranspiração estimada por meio do SEBAL, no *pixel* em que se encontra a estação meteorológica (latitude 19° 59' 09" Sul e longitude 48° 09' 09" Oeste). O resultado encontrado pelo método de PM-FAO foi de 5,49 mm/dia, enquanto que o estimado por meio do SEBAL foi de 4,34 mm/dia. A diferença foi de 1,15 mm/dia (20,95%). Um dos fatores que pode ter influenciado nessa diferença é a resolução espacial do Landsat 5 - TM, visto que a área do *pixel* desse satélite (900 m² nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e 14400 m² na

banda 6) é bem maior que a área gramada da estação, fazendo assim, que a $ET_{diária}$ estimada pelo SEBAL, para o *pixel* da estação, sofresse influência de áreas adjacentes.

4. Conclusões

A evapotranspiração estimada pelo SEBAL variou de 0,00 a 8,98 mm/dia, com média de 3,25 mm/dia no dia 16 de agosto de 2008.

A diferença entre o resultado encontrado pelo método de PM-FAO e o estimado pelo SEBAL, no *pixel* em que se encontra a estação meteorológica, foi de 1,15 mm/dia (20,95%). Essa diferença pode ter sido influenciada pela resolução espacial do Landsat 5 - TM.

Referências Bibliográficas

Água Comprida/MG. Disponível em: <http://www.aguacomprida.mg.gov.br/info_municipio.html>. Acesso em: 22.out.2008.

Allen, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator**. Kimberly: University of Idaho Research and Extension Center, version 2.0, 2000. 76 p.

Aynew, 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. 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. **Balço de energia em áreas irrigadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2004.

Bezerra, B. G. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL**. 2006. 127 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2006.

Chemin, Y.; Platonov, A.; Ul-Hassan, M.; Abdullaev, I. Using remote sensing data for water depletion assessment at administrative and irrigation-system levels: case study of the Ferghana Province of Uzbekistan. **Agricultural Water Management**, v. 64, p. 183-196, 2004.

Crago, R. D. Conservation and variability of the evaporative fraction during the daytime. **Journal of Hidrology**, v. 180, p. 173-194, 1996.

French, A. N.; Jacob, F.; Anderson, M. C.; Kustas, W. P.; Timmermans, W.; Gieske, A.; Su, Z.; Su, H.; McCabe, M. F.; Prueger, J.; Brunsell, N. Surface energy fluxes with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 55-65, 2005.

Lima, E. P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperaturas máxima e mínima de Minas Gerais**. 2005. 67 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

Menezes, S. J. M. C. **Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo montanhoso**. 2006. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

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. 174-186, 2006.

Trezza, R. Evapotranspiration from a remote sensing model for water management in an irrigation system in Venezuela. **Interciencia**, v. 31, n. 6, p. 417-423, 2006.