

Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM

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

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

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

Abstract. Surface radiation balance (Rn) plays a fundamental role in methods which estimate evapotranspiration, essential component of the water balance, especially when soil surface is kept humid with irrigation. In spite of existing 427 stations in Brazil, managed by National Institute of Meteorology, equipped with pyranometers, we cannot forget its size and that the measures of solar radiation are representative of a limited area. Because of that, the use of techniques of remote sensing to complement meteorological information on a certain place becomes indispensable. In this context, this research aims to estimate radiation balance in irrigated surfaces in Triângulo Mineiro using image of Landsat 5 - TM. Rn was obtained by using Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Surface radiation balance varied from 307,46 to 649,72 W/m², with average of 529,64 W/m².

Palavras-chave: remote sensing, Triângulo Mineiro, Landsat 5 - TM, sensoriamento remoto, Triângulo Mineiro, Landsat 5 - TM.

1. Introdução

O balanço de radiação sobre superfícies vegetadas (Rn) representa a principal fonte de energia para os processos físico-químicos que ocorrem na interface superfície-atmosfera, sendo utilizado no aquecimento do ar e do solo; transferência da água, na forma de vapor, da superfície para a atmosfera através da evapotranspiração; e metabolismo das plantas, especialmente a fotossíntese. O Rn pode ser medido por meio de um saldo radiômetro, porém na falta deste equipamento é comum se estimar o balanço de radiação com o auxílio de informações obtidas por um heliógrafo ou piranômetro, que geralmente estão instalados em estações meteorológicas convencionais e automáticas, respectivamente.

No Brasil, até a data de 30 de outubro de 2008, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dispunha de 304 estações meteorológicas convencionais de superfície. Dessas, 278 medem a insolação por meio de heliógrafos. Também existem 427 estações meteorológicas automáticas, e todas estão equipadas com piranômetros (Edmundo Wallace, 2008 - comunicação pessoal)¹. A sede do INMET informou que a instalação das automáticas procurou atender, sempre que possível, a escala sinótica 100 x 100 km (1° x 1°). No Estado de Minas Gerais existem 53 estações convencionais, 41 com heliógrafos e 5 com actinôgrafos, e 53 estações meteorológicas automáticas (Marco Túlio, 2008 - comunicação pessoal)².

¹ Edmundo Wallace - Seção de Acompanhamento Operacional do Instituto Nacional de Meteorologia.

² Marco Túlio - Seção de Observação e Meteorologia Aplicada do 5º Distrito de Meteorologia do INMET.

Apesar do aumento do número de estações automáticas, ocorrido nos últimos anos, conforme Lima (2005) registra que no ano de 2005 existiam apenas 72 automáticas instaladas pelo INMET, não podemos esquecer o tamanho do Brasil (cerca de 8,5 milhões de km²) e que as medidas são representativas somente de pequenas áreas. Em função disso, Paiva (2005) cita que torna-se indispensável a utilização de técnicas alternativas para complementar informações meteorológicas sobre uma determinada localidade. As técnicas de sensoriamento remoto têm sido bastante utilizadas para obter informações de parâmetros de superfície e da atmosfera, que são importantes para o monitoramento de fluxos ou de parâmetros associados em escala regional e global, cujo nível de detalhamento é determinado pela resolução espacial dos sensores multiespectrais utilizados. Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo estimar o balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende parte dos municípios de Conceição das Alagoas e Água Comprida (região do Triângulo Mineiro), na divisa do Estado de Minas Gerais com São Paulo. A área 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 da cana-de-açúcar, soja, milho, sorgo, feijão e arroz. Devido à proximidade com o Rio Grande, a irrigação de culturas é bastante utilizada.

A Figura 1 mostra a imagem do dia 16 de agosto de 2008, resultante de uma composição RGB, do satélite Landsat 5 - TM. Esta imagem é composta de sete bandas espectrais e foi obtida gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. A resolução espacial é de 30 m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e de 120 m na banda 6 (termal).

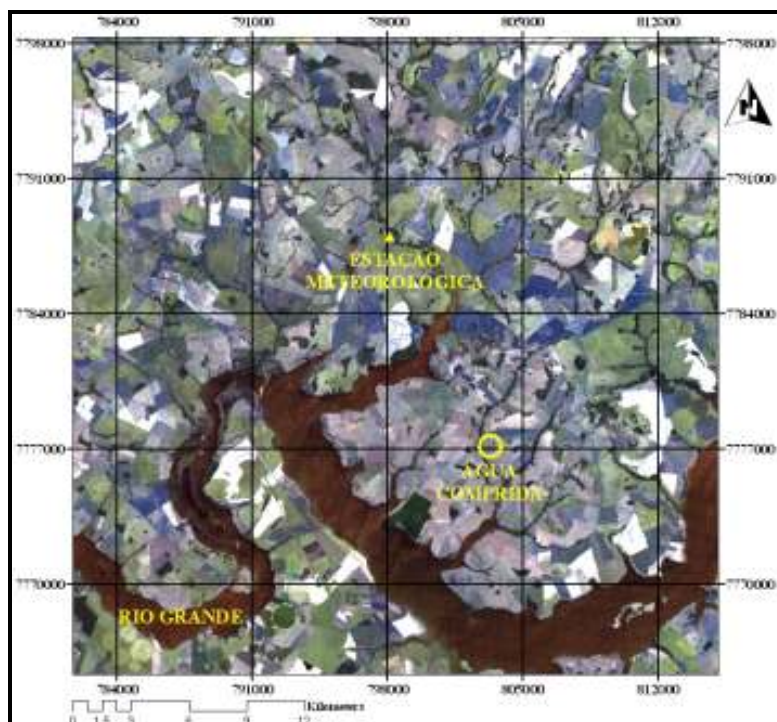


Figura 1. Imagem na composição RGB (bandas 3, 2 e 1 do Landsat 5 - TM) para o dia 16/08/2008. O triângulo amarelo indica a localização da estação meteorológica e o círculo a cidade de Água Comprida.

Para obtenção do balanço de radiação à superfície (R_n) foi utilizado o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), conforme proposto por Bastiaanssen et al. (1998). A Figura 2 apresenta as etapas utilizadas na estimativa do R_n e o processamento dessas etapas foi realizado no *Model Maker* do programa *Erdas 9.1*. O programa *ArcGis 9.2* foi utilizado adicionalmente para melhor visualização das informações do albedo da superfície, temperatura e balanço de radiação.

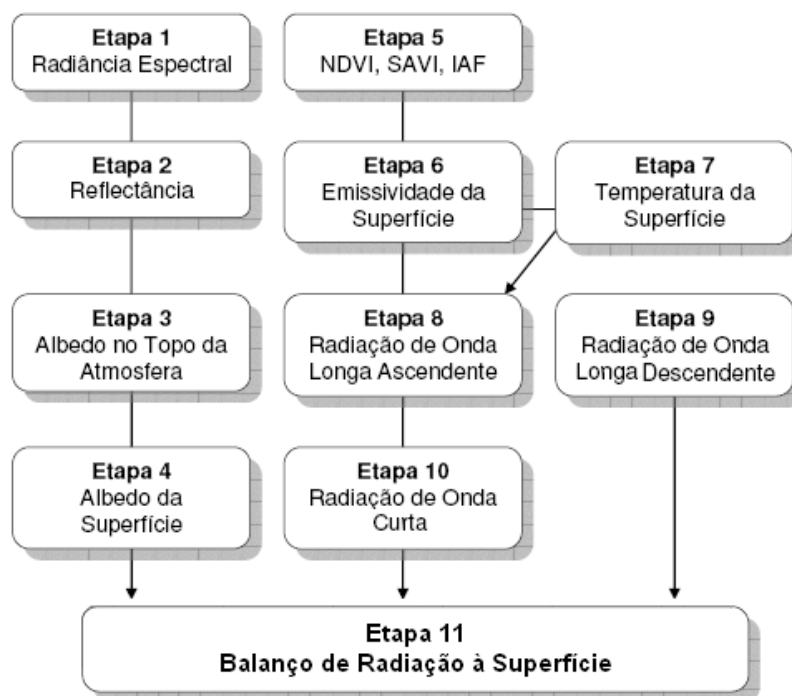


Figura 2. Fluxograma das etapas utilizadas na estimativa do balanço de radiação à superfície. Fonte: Meireles (2007).

O balanço de radiação (Equação 1) contabiliza a energia radiante disponível e é função dos componentes que chegam e saem da superfície do solo. Este termo foi obtido através da seguinte expressão (Bastiaanssen et al., 1998; Morse et al., 2000; Allen et al., 2002; Silva et al., 2005b):

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

em que, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente em cada pixel (W/m^2), α é o albedo corrigido de cada pixel (adimensional), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção do pixel (W/m^2), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel (W/m^2) e ε_o é a emissividade de cada pixel da imagem (adimensional).

A radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) foi calculada utilizando a constante solar, o ângulo zenital, a distância relativa terra-sol e a transmissividade atmosférica. Para o albedo foram necessários o albedo no topo da atmosfera (α_{toa}), a radiação solar refletida pela atmosfera (α_p) e a transmissividade. Para o cálculo da radiação de onda longa emitida pela atmosfera ($R_{L\downarrow}$) utilizou-se a emissividade atmosférica (ε_a), a constante de Stefan-Boltzmann e a temperatura do ar, obtida na estação meteorológica automática (A520) pertencente ao Instituto nacional de Meteorologia (latitude $19^\circ 59' 09''$ Sul, longitude $48^\circ 09'$

09" Oeste e 568 m de altitude), no momento da passagem do satélite. A radiação de onda longa emitida ($R_{L\uparrow}$) foi calculada utilizando a emissividade (ε_o) numa banda mais extensa (6 - 14 μm), a constante de Stefan-Boltzmann e a temperatura da superfície.

3. Resultados e Discussão

O termo albedo é definido como coeficiente de reflexão da superfície para radiação de ondas curtas e é dado pela razão entre a radiação de onda curta refletida e a incidente. A reflexão desta radiação depende do ângulo de incidência dos raios solares e das condições da superfície. Dentre as condições de superfície estão: coloração do solo, teor de umidade e tipo de cobertura (Vianello e Alves, 2000).

A Figura 3 apresenta o albedo da superfície para o dia 16 de agosto de 2008. O α variou de 1 a 42%, com um valor médio de 13,20% (correspondente a terceira tonalidade de ciano). A tonalidade de azul mais claro, encontrada principalmente sobre o Rio Grande, corresponde ao intervalo de menores valores, 1 a 7%, e a tonalidade de azul mais escuro, encontrada sobre solo exposto, corresponde ao intervalo de maiores valores (22 a 42%).

Ao analisar imagens dos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, de áreas irrigadas do Projeto Senador Nilo Coelho, Silva et al. (2005a) encontraram um α médio de 20,50% e 21%, respectivamente. Estes autores citaram que valores de menor albedo, entre 9 e 12%, corresponderam a superfícies líquidas (Lago de Sobradinho e alguns açudes), e de maior albedo corresponderam a áreas de solo exposto (de 30 a 45%). A tendência encontrada por Silva et al. (2005a), menor α sobre superfícies líquidas e maior α sobre solo exposto, concordou com a encontrada no Triângulo Mineiro.

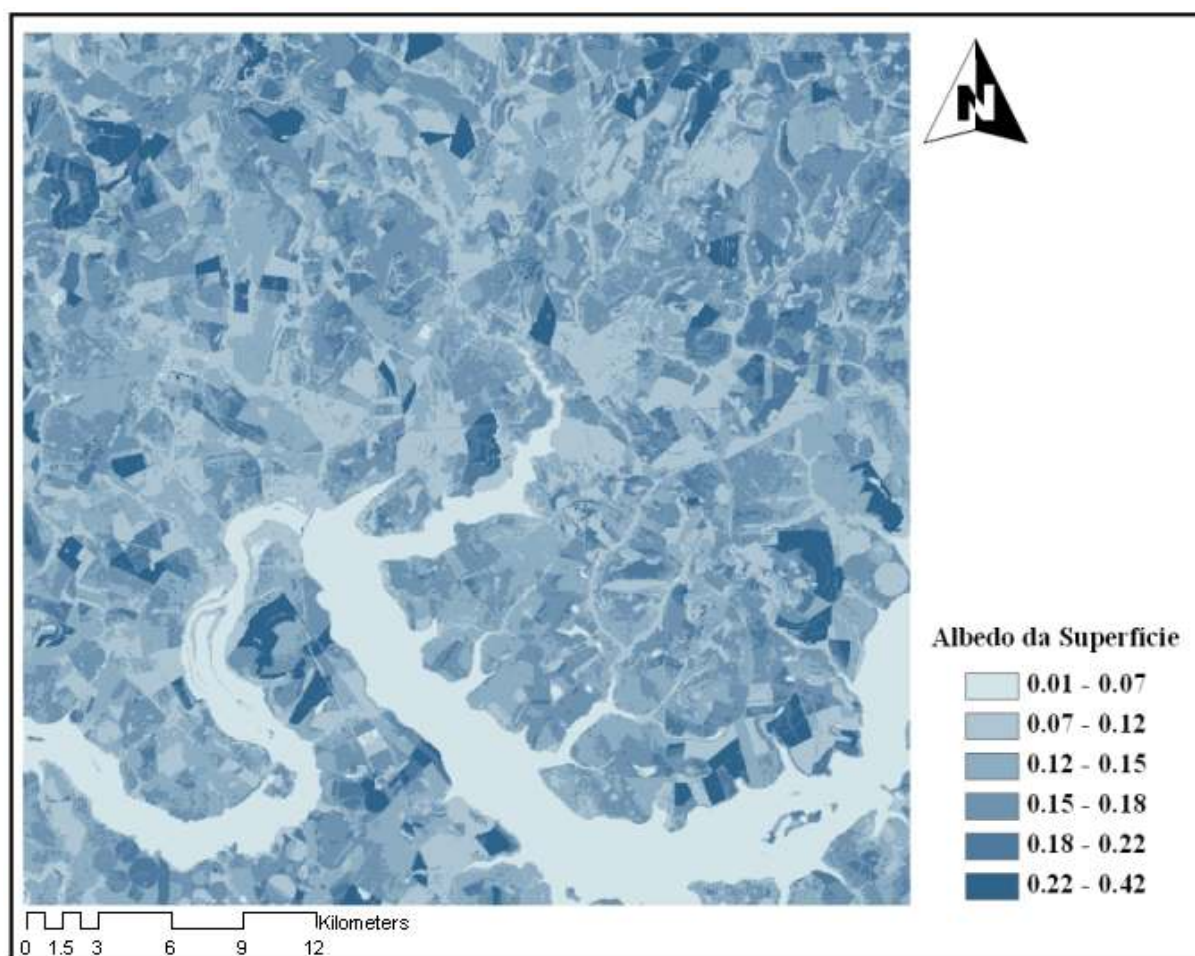


Figura 3. Albedo da superfície.

3.1. Temperatura da superfície

A obtenção da temperatura da superfície (T_s) terrestre por meio de sensoriamento remoto é importante na detecção e monitoramento de recursos hídricos, como também na estimativa da radiação de onda longa emitida por cada pixel, sendo esta indispensável no cálculo do balanço de radiação à superfície. A T_s , em sensoriamento remoto, é obtida através da radiância da banda termal, que no satélite Landsat 5 - TM é dado pela banda 6 (10,4 – 12,5 μm), porém há que se considerar os problemas resultantes dos efeitos de absorção atmosférica e da emissividade da superfície (Silva, 2004).

Na Figura 4 tem-se a temperatura instantânea da superfície, ou seja, a temperatura estimada para o local de estudo no momento da passagem do satélite (10:01 hs). Observa-se que, as menores temperaturas ocorreram sobre o Rio Grande e as maiores sobre áreas secas e de solo exposto (tonalidade vermelha). Observa-se também, que devido à resolução espacial da banda 6 (120 m) os objetos na imagem não ficaram bem delimitados. A temperatura da superfície variou na imagem de 288,68 K (15,53 °C) a 306,08 K (32,93 °C) com média em torno de 297,10 K (23,95 °C), correspondendo às tonalidades verde claro e amarela.

Em pesquisas realizadas na região de Eldorado do Sul-RS, Leivas et al. (2007) observaram que as maiores temperaturas da superfície foram em áreas urbanizadas e em solo exposto (23°C), e as mais baixas estavam localizadas sobre áreas de corpos d'água (16°C).

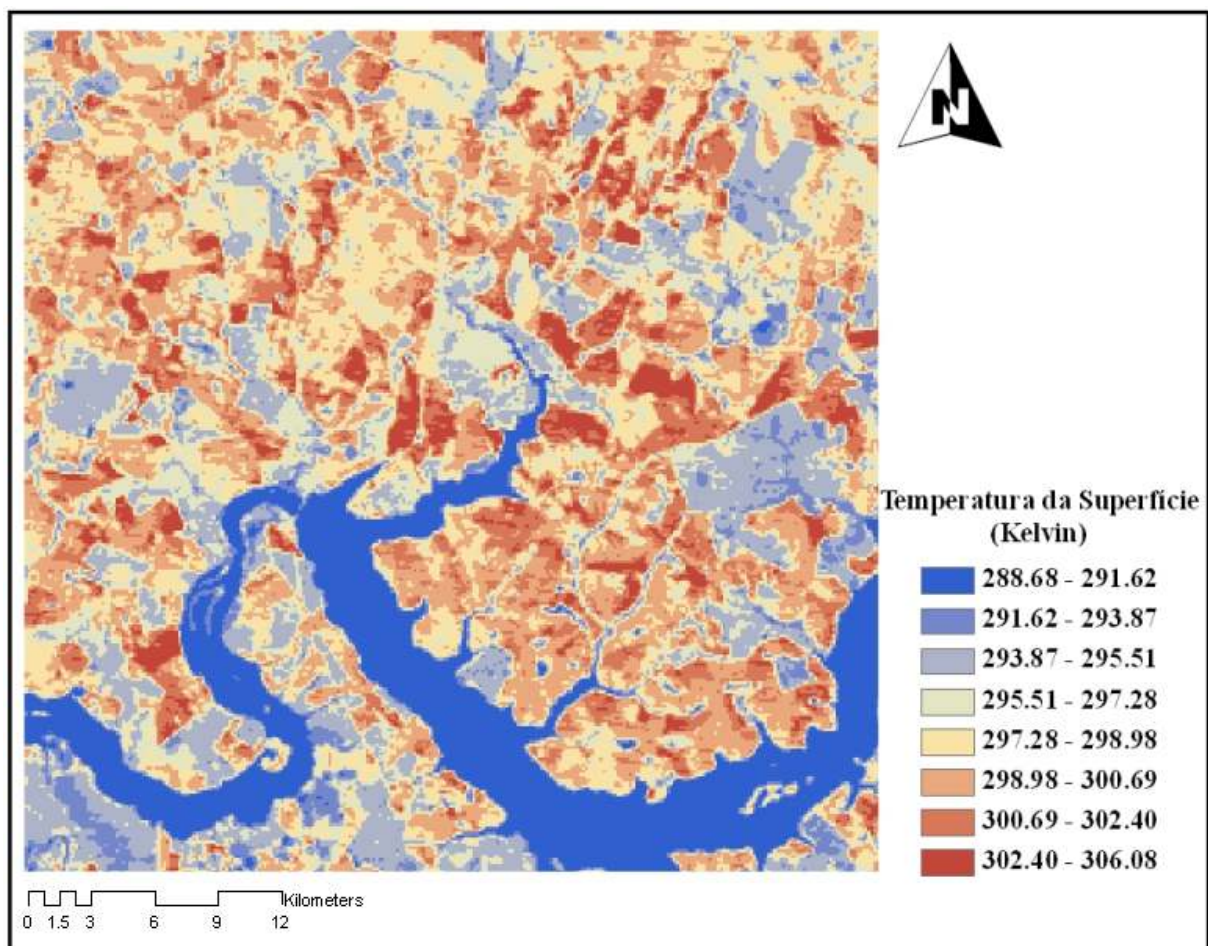


Figura 4. Temperatura da superfície.

A temperatura do ar fornecida, para o horário de 10 horas e nível de 2 metros, pela estação automática (A520) foi de 27,8 °C. Assim, observa-se uma diferença entre o valor médio da imagem e o encontrado na estação. Isso é devido a imagem apresentar um valor

médio instantâneo da T_s para uma região com diferentes tipos de ocupações (áreas de solo exposto, áreas com diferentes culturas, área urbana, superfícies líquidas, etc.). Sem falar que, a estação meteorológica forneceu um valor médio horário, correspondente às 10 horas, para as condições locais da estação, que nesse caso inclui a vegetação presente na superfície (grama).

3.2. Balanço de radiação à superfície

O balanço de radiação à superfície exerce um papel fundamental nos métodos que estimam a evapotranspiração, componente essencial do balanço hídrico, principalmente quando a superfície do solo é mantida úmida com irrigação, que devido às condições favoráveis de plantio (relevo levemente inclinado, água abundante, fertilidade do solo, etc.) é o caso de muitas áreas no Triângulo Mineiro.

A Figura 5 apresenta o balanço de radiação para parte dos municípios de Conceição das Alagoas e Água Comprida (região do Triângulo Mineiro) no dia 16 de agosto de 2008. A tonalidade verde escura corresponde ao intervalo de menores valores do R_n , 307,46 a 434,97 W/m^2 , e se localizou sobre áreas de solo exposto. O maior intervalo de valores do R_n , 600,06 a 649,72 W/m^2 , correspondem à tonalidade vermelha 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 do balanço de radiação, sendo que o valor médio foi de 529,64 W/m^2 (tonalidade de laranja claro).

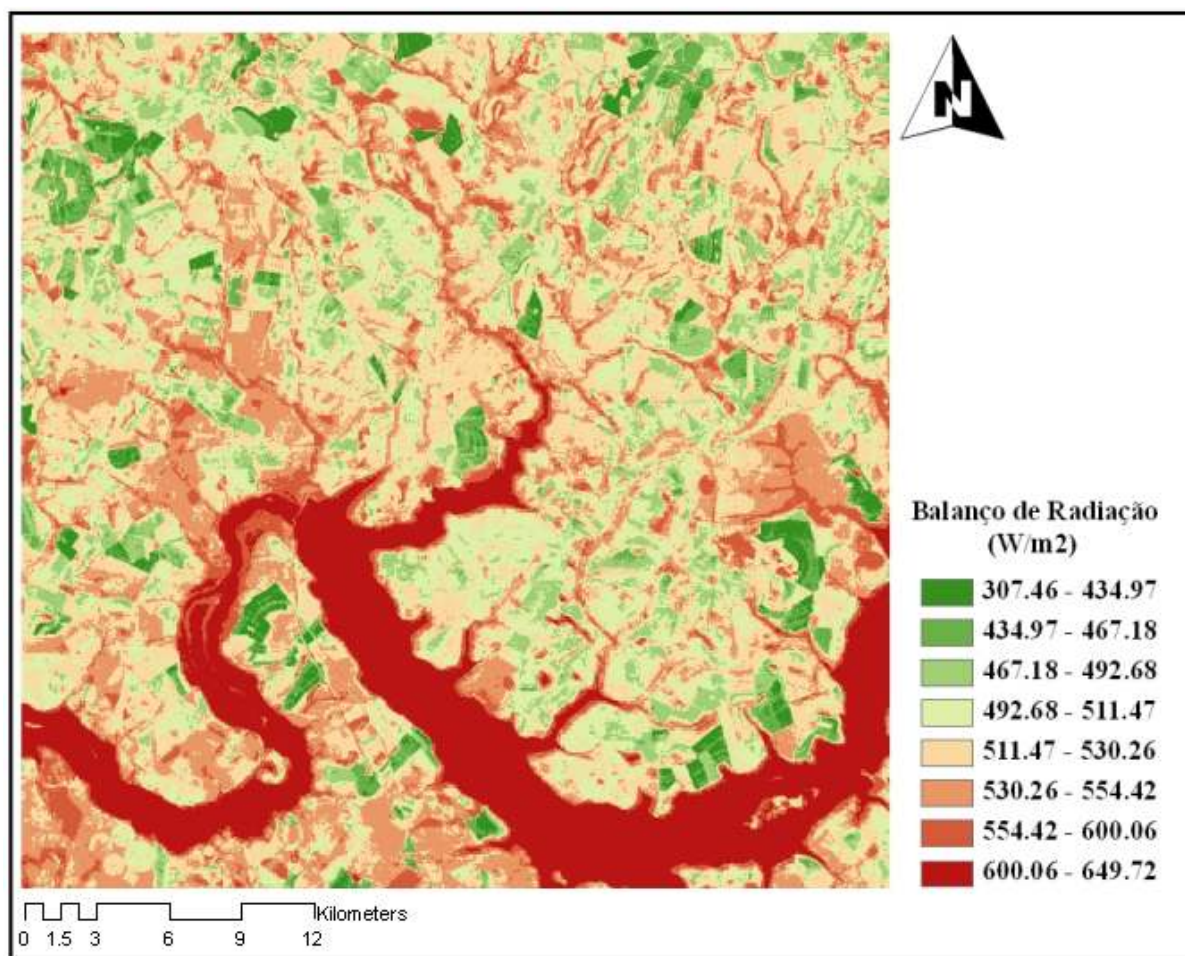


Figura 5. Balanço de radiação à superfície.

Silva et al. (2005b) 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, encontraram os maiores valores do R_n sobre o Lago de Sobradinho ($751,30 \text{ W/m}^2$ e $750,7 \text{ W/m}^2$, respectivamente) e os menores sobre área de solo exposto ($426,90 \text{ W/m}^2$ e $421,8 \text{ W/m}^2$, respectivamente). Silva et al. (2005b) ainda citam que os valores médios do balanço de radiação foram $615,05 \text{ W/m}^2$ e $583,96 \text{ W/m}^2$ para as datas de 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente. A tendência de maiores valores do R_n sobre superfícies líquidas e menores sobre os demais tipos de superfícies, encontrada por Silva et al. (2005b) para o Nordeste Brasileiro, coincide com os resultados encontrados para o dia 16 de agosto de 2008 no Triângulo Mineiro. Esse comportamento pode ser explicado pelo efeito combinado do albedo e da T_s , pois o primeiro termo influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas. Um menor albedo, caso observado sobre o Rio Grande, favorece uma menor reflexão da $R_{s\downarrow}$ e isso contribui para que o balanço de ondas curtas seja maior, quando comparado com uma superfície de maior reflexão (maior albedo). Enquanto que, uma menor T_s , caso do Rio Grande, favorecerá para que o balanço de ondas longas seja menor (em termos de valor) quando comparado a superfícies com maiores temperaturas. Assim, um menor valor do α e da T_s favorecem para que o R_n seja maior sobre superfícies líquidas.

Folhes et al. (2007) obtiveram em áreas sobre o curso do Rio São Francisco, próximo à cidade de Petrolina-PE, R_n entre 360 W/m^2 a 810 W/m^2 para uma imagem do dia 12 de outubro de 2004. No entanto, para a área do projeto de irrigação Jaguaribe-Apodí, situado nas proximidades do limite entre os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, Folhes (2007) encontrou R_n médio de 629 W/m^2 , 586 W/m^2 , 551 W/m^2 e 561 W/m^2 para imagens dos dias 24/10/2005, 28/01/2006, 23/07/2006 e 08/08/2006, respectivamente.

Leivas et al. (2007) obtiveram, para imagem do sensor ASTER na região de Eldorado do Sul-RS em 2 de outubro de 2002, R_n médio da ordem de 662 W/m^2 , 585 W/m^2 , 606 W/m^2 e 604 W/m^2 para água, solo exposto, vegetação e área urbana, respectivamente.

4. Conclusões

Utilizou-se o recorte de uma imagem do satélite Landsat 5 - TM para estimar o balanço de radiação, no dia 16 de agosto de 2008, nos municípios de Conceição das Alagoas e Água Comprida (região do Triângulo Mineiro). Diante dos resultados, conclui-se que:

- O albedo variou de 1 a 42%, com um valor médio de 13,20%;
- A temperatura da superfície variou de 288,68 K (15,53 °C) a 306,08 K (32,93 °C) com média de 297,10 K (23,95 °C);
- O balanço de radiação variou de 307,46 a 649,72 W/m^2 , sendo que o valor médio foi de 529,64 W/m^2 ;
- A tendência de maiores valores do R_n sobre superfícies líquidas e menores sobre os demais tipos de superfícies é explicado pelo efeito combinado do albedo e da T_s , pois o primeiro termo influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas.

Referências Bibliográficas

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

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R.; Waters, R.; Bastiaanssen, W. **Surface energy balance algorithms for land**. Idaho Department of Water Resources, 2002. 97 p.

Bastiaanssen, 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, 1998.

Folhes, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. 2007. 186 p. (INPE-14804-TDI/1256). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.

Folhes, M. T.; Soares, J. V.; Rennó, C. D.; Correia, A. H. Estimativa de fluxos de energia por meio do modelo METRIC em região semi-árida. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 3349-3356. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.11.33/doc/3349-3356.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2008.

Leivas, J.; Gusso, A.; Fontana, D. C.; Berlato, M. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 255-262. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.31/doc/255-262.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2008.

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.

Meiros, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5 - TM na bacia do Acaraú – CE**. 2007. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2007.

Morse, A.; Tasumi, M.; Allen, R. G.; Kramber, W. J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing**. Idaho Department of Water Resources, 2000. 107 p.

Paiva, C. M. **Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR**. 2005. 218 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

Silva, B. B. Balanço de radiação com dados AVHRR/NOAA-14. In: Ferreira, N. J. (Org.). **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e Tiros-N**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2004. cap. 7, p. 143-164.

Silva, B. B.; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005a.

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, p. 243-252, 2005b.

Vianello, R. L.; Alves, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2000. 449 p.