

Determinação de fluxos radiativos em áreas heterogêneas no estado de São Paulo com imagens TM – Landsat 5

Bernardo Barbosa da Silva¹
Suzana Maria Gico Lima Montenegro¹
Josiclêda Domiciano Galvêncio¹
Leidjane Maria Maciel de Oliveira¹

1 - Universidade Federal de Pernambuco

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP 50741-530 Recife, PE, Brasil

E.mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com, suzanam@ufpe.br, josicleda@pq.cnpq.br,
leidjaneoliveira@hotmail.com

Abstract: Remote sensing allows changes detection that occurs on Earth resulting from natural and/or anthropic phenomenon, many of which can be diagnosed through radiation balance. In this regard, the present study aims to determine the surface radiation balance using TM-Landsat 5 images, in the Mogi-Guaçu watershed - São Paulo state (Brazil), and complementary data collected from two point of the selected area. Ten TM images were selected from 2005 year: nine were totally unclouded and one presented intense cloudiness. The results were validated with surface measurements of two micrometeorological towers installed inside the studied area. Instantaneous net radiation varied between 100 and 760 Wm^{-2} , with prevalence of values ranging from 457 to 760.0 Wm^{-2} in the months with higher solar radiation, remarkably in the most densely covered by vegetation zones (eucalyptus plantations, and primary native vegetation). Daily net radiation - R_n , 24h presented values between 28 and 98 Wm^{-2} (June) and between 83 and 264 Wm^{-2} (November). The model used to compute R_n , 24h was capable to generate values very close to the measured on surface, even in very cloudy days. The Absolute Median Error, the Relative Median Error and the Median Quadratic Error Root, associated to R_n , 24h computation were: 8.3 Wm^{-2} , 8.4 % and 10.4 Wm^{-2} , respectively, showing the importance and precision of the technique used.

Palavras-chave: radiance, net radiation, land surface temperature, radiância, saldo de radiação, temperatura da superfície.

1. Introdução

O saldo de radiação - R_n resulta no balanço entre os fluxos radiativos descendentes e ascendentes de onda curta e onda longa, que atuam à superfície terrestre. R_n depende fortemente da radiação solar global, albedo, temperatura e emissividade da superfície, apresentando variação temporal e espacial que impactam diretamente as trocas de calor e massa na camada limite planetária. A sua determinação direta pode ser feita com saldo radiômetros, instrumentos de boa precisão, mas de custo relativamente elevado. No entanto, essas medições são representativas de áreas de pequena dimensão e boa homogeneidade e, ademais, os custos de aquisição e manutenção são elevados, o que restringe sua ampla utilização (Silva et al., 2011). Portanto, a determinação do R_n em escala regional e áreas heterogêneas tem sido possível com o emprego de imagens de satélite (Silva et al., 2005, 2011; Bisth et al., 2005; Allen et al., 2007; Ryu et al., 2008). Para tanto, diferentes algoritmos têm sido formulados nas estimativas da radiação de onda curta incidente (Zillman, 1972; Hurtado e Sobrino, 2001; Allen et al., 2007; Long et al., 2010), no saldo de onda longa (Tang e Li, 2008) e em parâmetros que integram alguma componente específica, como a emissividade atmosférica (Bastiaanssen et al., 1998; Duarte et al., 2006; Santos et al., 2011) e da superfície (Van de Griend e Owe, 1992; Sobrino et al., 2002; Tasumi, 2003; Teixeira et al., 2009). Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho dos balanços de radiação instantâneo e diário, com imagens TM - Landsat 5 e dados complementares de superfície em áreas agrícolas de cana-de-açúcar e de vegetação nativa, na bacia do Mogi-Guaçu, no estado de São Paulo.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende áreas agrícolas, de floresta de crescimento rápido e vegetação primária no interior da bacia hidrográfica do Mogi-Guaçu, localizada no estado de São Paulo. O clima da região é normalmente ameno e seco no inverno e quente e úmido no verão (Rocha et al., 2002), com temperatura média anual inferior a 22 °C, pluviosidade anual acima de 1.300 mm e, durante o verão, a temperatura média mensal é superior a 22 °C (Pivello et al., 1998). Para a pesquisa foram selecionadas 10 imagens do Mapeador Temático - TM do satélite Landsat 5, relativas à órbita 222 e ponto 75, do ano de 2005, cujas datas e demais informações utilizadas no cômputo dos diferentes componentes do balanço de radiação se encontram representadas na Tabela 1. Para validação dos resultados e parametrizações das radiações de onda curta e longa foram utilizadas medições de saldo radiômetros instalados em duas áreas da bacia: plantio de cana-de-açúcar da Usina Santa Rita - UR (21°38'13''S; 47°47'25''W; 552 m) e áreas de vegetação nativa denominada Gleba Cerrado Pé-de-Gigante - RPG (21° 37' 9,26'' S; 47° 37' 56,38'' W; 710 m) (Rocha et al., 2002).

Tabela 1 - Variáveis utilizadas no cômputo do saldo de radiação e suas componentes: data (dia e mês), dia de ordem do ano - DOA, hora (tempo central GMT), ângulo de elevação do Sol - E (grau), inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol - dr (adimensional), cosseno do ângulo zenital solar - cos Z, temperatura do ar - Ta (°C), pressão atmosférica - Pa (kPa) e umidade relativa - UR (%), representativos do instante da passagem local do Landsat

Data	DOA	Hora	E	dr	Cos Z	Ta	Pa	UR
22-fev	053	12:56:48	53.2956	1.0202	0.802	26.1	94.0	59.0
10-mar	069	12:57:02	51.3178	1.0123	0.781	28.0	94.1	62.4
11-abr	101	12:57:14	45.7733	0.9945	0.717	26.6	94.4	60.7
13-mai	133	12:57:25	39.2289	0.9783	0.632	24.9	94.6	62.2
29-mai	149	12:57:25	36.5641	0.9723	0.596	20.2	94.9	67.3
14-jun	165	12:57:41	34.8639	0.9685	0.572	21.5	94.7	67.7
16-jul	213	12:57:53	35.4920	0.9680	0.581	21.4	94.5	57.0
01-ago	229	12:58:04	37.9903	0.9747	0.616	21.6	94.9	53.2
17-ago	293	12:58:11	41.7257	0.9770	0.666	23.7	94.6	56.6
21-nov	325	12:58:40	62.8771	1.0255	0.890	24.8	94.1	64.6

2.1 Saldo de radiação instantâneo

O saldo de radiação instantâneo à superfície - R_n ($W m^{-2}$) foi obtido por meio da seguinte equação:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s,inst} - R_{emi} + \varepsilon_0 R_{atm} \quad (1)$$

em que $R_{s,inst}$ ($W m^{-2}$) é a radiação de onda curta incidente, α (adimensional) é o albedo da superfície, R_{emi} ($W m^{-2}$) é a radiação de onda longa emitida por cada pixel, R_{atm} ($W m^{-2}$) é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera e ε_0 é a emissividade do pixel. O albedo de cada pixel com correção dos efeitos da atmosfera foi obtido segundo expressão (Bastiaanssen et al., 1998; Allen et al., 2007; Silva et al., 2011):

$$\alpha = \left(\frac{\alpha_{toa} - a}{\tau_{sw}^2} \right) \quad (2)$$

em que α_{toa} é o albedo de cada pixel sem correção atmosférica, que consiste na combinação linear da reflectância espectral de cada uma das seis bandas reflectivas do TM; a é a reflectância atmosférica, que no presente estudo foi considerada como 0,03 (Bastiaanssen, 2000; Silva et al., 2005; 2011; Allen et al., 2007); τ_{sw} é a transmissividade atmosférica para

condição de céu claro, obtida em função do ângulo zenital solar - Z , coeficiente de turbidez atmosférica - k_t , pressão atmosférica Pa (kPa) e água precipitável - W (mm), segundo Allen et al. (2007).

A radiação de onda curta incidente - $R_{s,inst}$ ($W m^{-2}$) na área de estudo em condição de céu claro foi determinada segundo esquema de parametrização desenvolvido por Zillman (1972), qual seja:

$$R_{s,inst} = \frac{S_0 \cos^2 Z}{1.085 \cos Z + e_a (2.7 + \cos Z) \times 10^{-3} + \beta} \quad (3)$$

onde Z é o ângulo zenital solar, obtido do metadado de cada imagem; S_0 é a constante solar ($1367 W m^{-2}$), e_a é a pressão parcial de vapor (hPa), considerada igual à média aritmética dos valores obtidos em cada uma das torres micrometeorológicas e β é um coeficiente de ajuste. A radiação de onda longa emitida por cada pixel - R_{em} ($W m^{-2}$) foi calculada segundo equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{em} = \varepsilon_0 \sigma T_s^4 \quad (4)$$

em que ε_0 é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$) e T_s é a temperatura da superfície (K), que foi obtida com base na radiação espectral da banda 6 - $L_{\lambda 6}$ ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) e emissividade da banda termal (ε_{NB}), por meio da Lei de Planck invertida (Markham e Barker, 1986):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1 \right)} \quad (5)$$

em que K_1 e K_2 são constantes de radiação específicas para o TM – Landsat 5, respectivamente iguais a $607,76 W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ e $1260,56 K$. As emissividades de cada pixel em todo o domínio da radiação de onda longa - ε_0 e aquela empregada no cálculo da temperatura da superfície - ε_{NB} foram obtidas com base no Índice de Área Foliar – IAF, segundo expressões parametrizadas por Tasumi (2003) e utilizadas amplamente (Allen et al., 2007; Silva et al., 2011). A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície – R_{atm} ($W m^{-2}$) foi obtida pela equação Stefan-Boltzmann, em que T_s foi substituída pela média aritmética da T_a das duas torres instaladas na cana-de-açúcar e Cerradão e a emissividade atmosférica - ε_a foi determinado por meio de modelo calibrado por Duarte et al. (2006).

2.2 Saldo de radiação diário

O saldo de radiação diário – $R_{n,24h}$ ($W m^{-2}$) foi obtido por meio de modelo (De Bruin, 1987) calibrado localmente, qual seja:

$$R_{n,24h} = (1 - \alpha) R_{s,24h} - 123 \tau_{sw24h} \quad (6)$$

em que α é o albedo, $R_{n,24h}$ ($W m^{-2}$) é a radiação solar global diária e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica média diária, obtida pela razão entre a radiação solar global diária medida localmente – $R_{s,24h}$ ($MJ m^{-2}$) e a radiação solar diária incidente no topo da atmosfera – $R_{s,toa}$ ($MJ m^{-2}$).

2.3 Parâmetros estatísticos utilizados

Para a análise dos resultados foram utilizados o Erro Médio Absoluto (EMA), o Erro Relativo Médio (ERM) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM):

$$EMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_{est} - X_{obs}| \quad (7)$$

$$ERM = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{est} - X_{obs}}{X_{obs}} \right| \quad (8)$$

$$REQM = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (X_{est} - X_{obs})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (9)$$

em que X_{est} e X_{obs} correspondem respectivamente a valores estimados e medidos das diferentes variáveis parametrizadas ($R_{s,inst}$; $R_{ol,atm}$; $R_{n,inst}$ e $R_{n,24h}$) e N ao número de pares das variáveis.

3 Resultados e Discussão

Na Tabela 2 estão representados os valores da transmitância atmosférica instantânea - τ_{sw} e a correspondente radiação solar instantânea - $R_{s,inst}$ ($W m^{-2}$) estimada com base na Eq. (3), com $\beta = 0,2$. Esse valor resultou em Erro Médio Absoluto – EMA, Erro Relativo Médio – ERM e Raiz do Erro Quadrático Médio – REQM respectivamente iguais a $19,2 W m^{-2}$, $2,9 \%$ e $23,9 W m^{-2}$. Bisht et al. (2005) também obtiveram resultados da $R_{s,inst}$ próximos aos medidos ao adotarem o mesmo valor empregado neste estudo, embora o valor adotado originalmente por Zillman (1972) tenha sido $\beta = 0,1$. Ao adotar esse último valor para β no presente estudo, os valores de EAM, ERM e REQM foram respectivamente iguais a $58,8 W m^{-2}$, $9,8 \%$ e $61,8 W m^{-2}$, portanto, bem acima daqueles obtidos com $\beta = 0,2$. Observa-se na referida tabela que os valores da transmitância instantânea em geral são superiores aos da transmitância média diária. Isso ocorre principalmente em decorrência da presença de nuvens no decorrer do dia, que reduz o valor da radiação solar à superfície. Essa situação é mais evidente no dia 10 de março, que dentre todas as imagens selecionadas foi a que apresentou maior presença de nuvens após o momento de passagem do Landsat na área de estudo, conforme fica evidenciado na Figura 2. No dia 13 de maio havia grande presença de nuvens sobre a área, mas as torres foram mantidas sem presença de nuvens. Nas duas últimas colunas da Tabela 2 estão representados os valores radiação solar global diária medida - $R_{s,24h}$ ($W m^{-2}$) e radiação solar diária no topo da atmosfera - $R_{s,toa}$ ($MJ m^{-2}$), empregados no cômputo do saldo de radiação diário. Observa-se uma grande diferença da $R_{s,24h}$ entre os dias com grande presença de nuvens, caso de 10 de março, e os dias da primavera (21 de novembro) e do verão (22 de fevereiro), quando a $R_{s,24h}$ alcançou respectivamente os valores de $349,8 W m^{-2}$ e $329,1 W m^{-2}$.

Os erros EAM, ERM e REQM, associados ao cômputo da radiação de onda longa atmosférica – $R_{ol,atm}$ ($W m^{-2}$) com emissividade atmosférica obtida por Duarte et al. (2006), foram respectivamente iguais a $6,3 W m^{-2}$, $1,7\%$ e $7,4 W m^{-2}$.

Tabela 2 – Valores da transmitância atmosférica instantânea – τ_{sw} (adimensional), radiação solar global instantânea estimada - $R_{s,est}$ ($W m^{-2}$) e radiação solar global medida - $R_{s,obs}$ ($W m^{-2}$) no instante da passagem local do Landsat; transmitância atmosférica média diária – $\tau_{sw,24h}$ (adimensional), radiação solar global diária medida - $R_{s,24h}$ ($W m^{-2}$) e radiação solar diária no topo da atmosfera - $R_{s,toa}$ ($MJ m^{-2}$) nos dias selecionados.

Data	DOA	trans_ins	Rs,ins	Rs,obs	trans,24h	Rs,24h	Rs,toa
22-fev	053	0,737	770,5	802,7	0,72	329,1	39,27
10-mar	069	0,726	737,2	730,5	0,46	196,9	37,07
11-abr	101	0,720	668,2	684,6	0,70	255,8	31,44
13-mai	133	0,708	574,3	599,0	0,69	208,5	26,02
29-mai	149	0,709	539,5	554,2	0,68	190,7	24,17
14-jun	165	0,700	509,0	475,9	0,64	172,8	23,21
16-jul	213	0,710	524,8	529,4	0,71	197,9	24,23
01-ago	229	0,719	566,8	579,1	0,74	222,0	26,09
17-ago	293	0,722	618,9	618,8	0,62	206,3	28,60
21-nov	325	0,748	874,0	921,6	0,72	349,8	41,74

De acordo com a Figura 1, observa-se que os valores do saldo de radiação instantâneo - $R_{n,inst}$ ($W m^{-2}$) obtidos sobre todo o recorte estudado variaram de 100 a 760 $W m^{-2}$. Pode-se perceber que nas áreas próximas às torres da cana-de-açúcar e Cerradão os padrões são bem diferentes, constatando-se maior R_n no Cerradão. Há grande variabilidade nos valores do R_n , resultantes do tipo de uso do solo. Bastiaanssen et al. (1998) registraram valores próximos a 500 $W m^{-2}$ em oásis e em deserto $R_{n,inst}$ em torno de 400 $W m^{-2}$. No Lago de Sobradinho no estado da Bahia, Silva et al. (2005) obtiveram 751,3 $W m^{-2}$, enquanto Chavez et al. (2007) obtiveram para corpos d'água $R_{n,inst}$ entre 690 e 750 $W m^{-2}$. Silva et al. (2005), para Juazeiro-BA e Petrolina-PE, obtiveram em solo exposto valor de 421,8 $W m^{-2}$, e naquela mesma área Di Pace et al. (2008) obtiveram para solo exposto nos anos de 2000 e 2001 valores de 431,4 e 312,6 $W m^{-2}$, respectivamente. Registre-se que esses valores dependem de outros fatores, como propriedades físicas e químicas do solo, estoque de umidade do solo, sazonalidade da radiação solar e interferência das chuvas locais. Comparando visualmente as dez imagens estudadas, podem-se diferenciar claramente áreas de corpos d'água, vegetação nativa e áreas antropizadas.

Com base nos valores estimados e medidos localmente os erros EAM, ERM e REQM associados aos valores instantâneos – $R_{n,ins}$ na área da USR foram respectivamente iguais a: 20,9 $W m^{-2}$, 4,6 % e 25,6 $W m^{-2}$. Já na reserva PDG, os valores do EAM, ERM e REQM relativos ao saldo instantâneo - $R_{n,ins}$ foram iguais a: 29,8 $W m^{-2}$, 6,5 % e 33,0 $W m^{-2}$, respectivamente. Destaque-se que o saldo radiômetro possui um erro instrumental de 2,5% e, dependendo da altura em que esteja instalado em relação à superfície de estudo, tem cobertura de círculo com raio que varia de 5 a 15 m, o que seria equivalente a um pixel do TM. Em vários estudos com imagens TM, o Erro Relativo Médio é inferior a 5% e considerando-se uma imagem TM completa, com cerca de 38 milhões de pixels, se constata a grande importância da obtenção e precisão do R_n com imagens TM.

Saldo de radiação diário

Na Figura 2 está representado o mapa temático do $R_{n,24h}$ ($W m^{-2}$) para o dia 21 de novembro de 2005. Verifica-se que os padrões obtidos no Cerradão e plantios de eucalipto são semelhantes aos obtidos para o $R_{n,int}$. No entanto, os valores diferem substancialmente, como pode ser conferido nas escalas temporais usadas em cada imagem, com valores de $R_{n,24h}$ que situam-se entre 83 e 264 $W m^{-2}$.

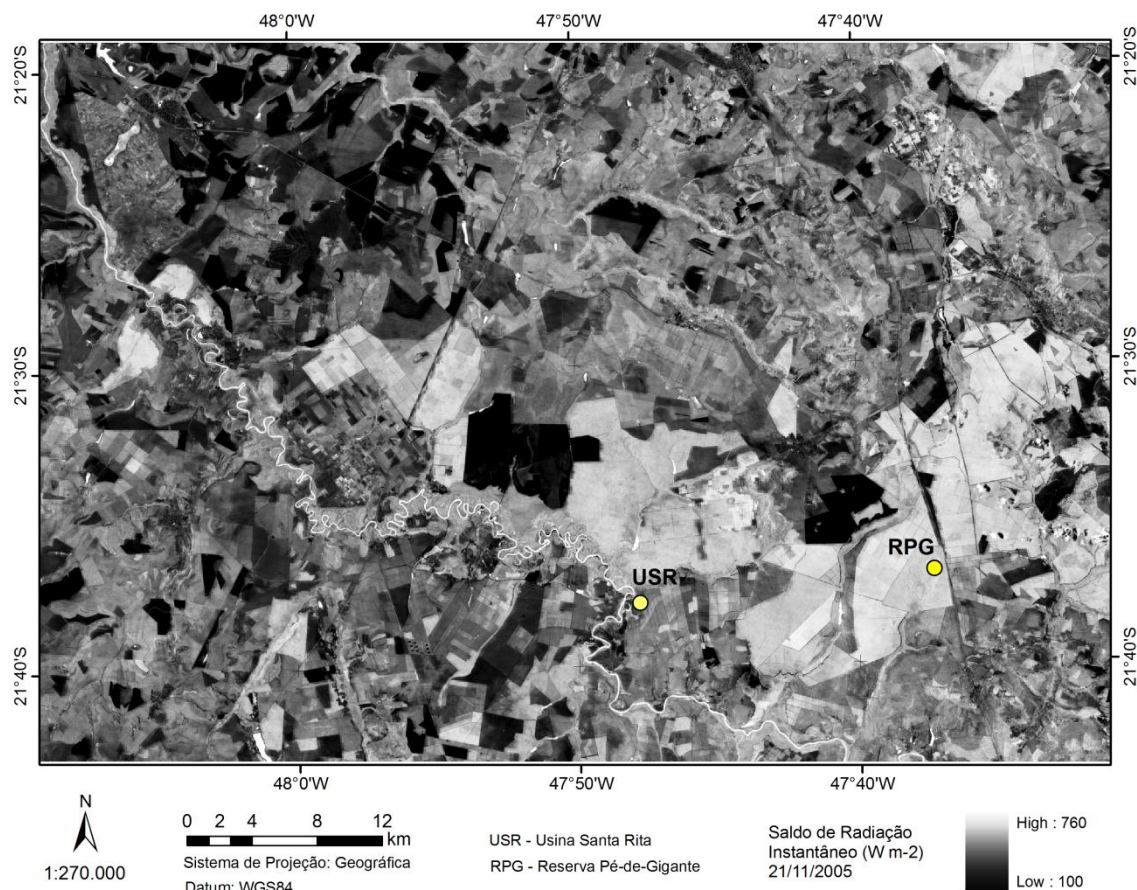


Figura 1 – Saldo de radiação instantâneo – $R_{n,inst}$ ($W m^{-2}$) no dia 21 de novembro de 2005, com destaque para as áreas das torres da Usina Santa Rita – USR e Reserva Pé-de-Gigante – RPG

Com base nos resultados obtidos foram computados os erros EAM, ERM e REQM associados aos valores do saldo diário – $R_{n,24h}$ ($W m^{-2}$) obtidos com as imagens em comparação com as medições realizadas nas duas torres. Na área de cana-de-açúcar tais erros foram respectivamente iguais a: $8,3 W m^{-2}$, $8,4 \%$ e $10,4 W m^{-2}$. Já na reserva PDG, os valores do EAM, ERM e REQM foram respectivamente iguais a: $6,6 W m^{-2}$, $6,5 \%$ e $8,7 W m^{-2}$. Bisht et al. (2005) obtiveram em sua pesquisa com $R_{n,24h}$, REQM de $50 W m^{-2}$ e Bisht & Bras (2010) registraram REQM igual a $38 W m^{-2}$, em estudos com imagens MODIS. Esses resultados da REQM dos autores mencionados foram bem superiores aos encontrados no presente estudo, muito provavelmente devido ao pressuposto de R_n nulo em todo o período noturno. Silva et al. (2011) encontraram valores de $R_{n,24h}$ entre $146,8$ a $164,0 W m^{-2}$ e $95,6$ a $109,7 W m^{-2}$ em pomar de coqueiros irrigados e solo exposto em perímetro irrigado no estado da Paraíba, respectivamente.

4. Conclusões

O método proposto para estimar o saldo de radiação instantâneo à superfície se mostrou bastante eficaz, pois foi capaz de estimar o saldo de radiação instantâneo à superfície com pequenos erros relativos e absolutos. Já o saldo de radiação diário resultou em erros ainda menores que os observados em $R_{n,inst}$, demonstrando a consistência e importância da técnica empregada. Foi possível identificar espacialmente as mudanças ocorridas no saldo de radiação em função das diferentes paisagens. Em áreas que não possuem informações

micrometeorológicas é possível se efetuar o monitoramento espacial e temporal do saldo de radiação e consequentemente da temperatura do ar com imagens de satélite

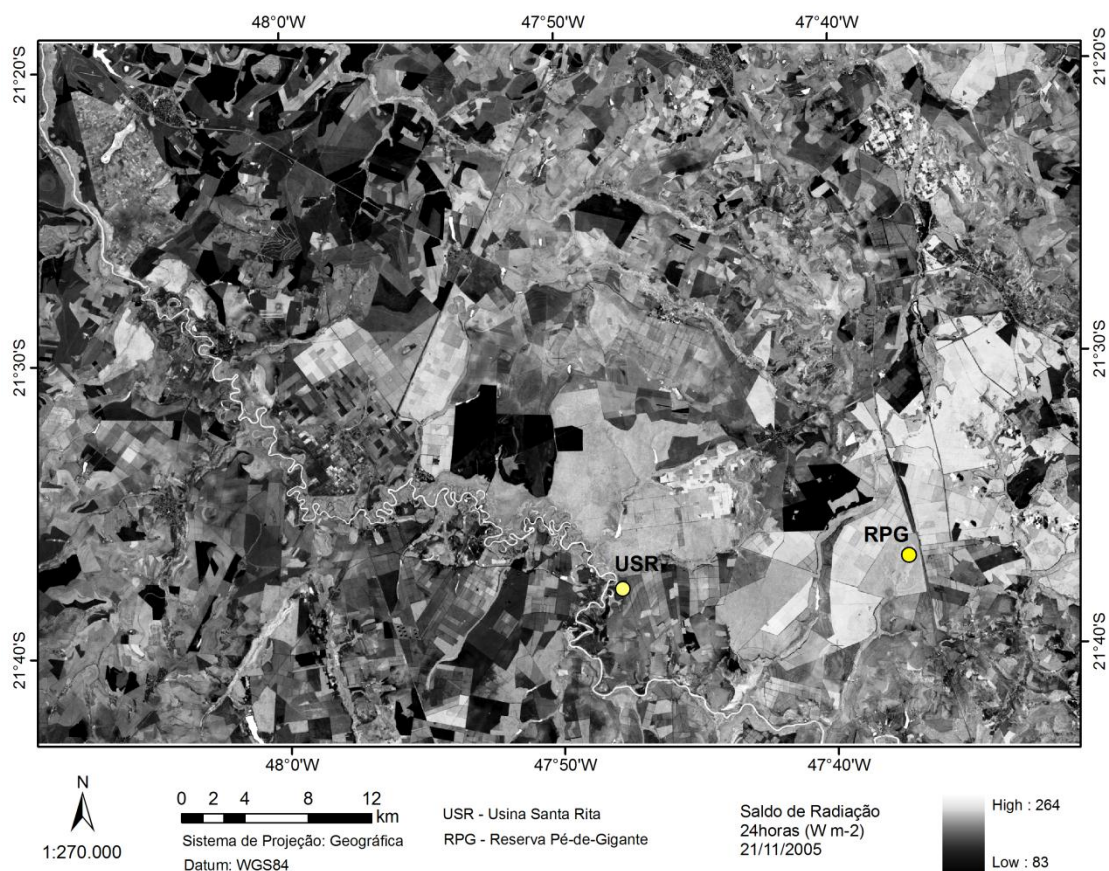


Figura 2 - Saldo de radiação diário – $R_n,24h$ ($W m^{-2}$) no dia 21 de novembro de 2005

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a esta pesquisa, e por bolsa de Produtividade e Pesquisa concedida ao primeiro e segundo autores.

4. Citações e Referências

Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, 2007.

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.

Bisht, G.; Venturini, V.; Islam, S.; Jiang, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear-sky days. **Remote Sensing of Environment**, v.97, n.1, p.52–67, 2005.

Bisht, G.; Bras, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.1522-1534, 2010.

Chavez, J. L.; Gowda, P. H.; Marek, T. H.; New, L. L. Evapotranspiration mapping using METRIC™ for region with highly advective conditions. In: ASABE Annual International Meeting, **Anais...** Minneapolis: ASABE, 2007.

- De Bruin, H. A. R. From Penman to Makkink. In: Hooghart, J. C. (Ed.), Proceedings and information: TNO Committee on Hydrological. Gravenhage, The Netherlands, v.39, p.5-31, 1987.
- Di Pace, F. T.; Silva, B. B. da; Silva, V. P. R.; Silva, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.385-392, 2008.
- Duarte, H. F., Dias, N. L., Maggiotto, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 139, p. 171–181, 2006.
- Hurtado, E., Sobrino, J. A. Daily net radiation estimated from air temperature and NOAA-AVHRR data: a case study for the Iberian Peninsula. **International Journal of Remote Sensing**, n.22, v.8, p. 1521-1533, 2001.
- Long, D.; Gao, Y.; Singh, V.P. Estimation of daily average net radiation from MODIS data and DEM over the Baiyangdian watershed in North China for clear sky days. **Journal of Hydrology**, v.388, n.3-4, p.217-233, 2010.
- Markham, B. L.; Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at satellite temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes 1:3-8, Earth Observation Satellite Company, Lanham, Md, 1986.
- Rocha, H. R; Freitas, H. C.; Rosolem, R.; Negrón-Juárez, R. I.; Tannus, R.; Ligoma, Cabral O. M.; Dias, M. A. F. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado sensu stricto) in southeast Brazil. **Biota Neotropica**, v.2, n.1, p.1-11, 2002.
- Ryu, Y.; Kang, S.; Moon, S. K.; Kim, J. Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p.1538-1552, 2008.
- Santos, C. A. C., Silva, B. B. da; Rao, T. V. R.; Satyamurti, P.; Manzi, A. O. Downward longwave radiation estimates for clear-sky conditions over Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, p.443 – 450, 2011.
- Silva, B. B. da; 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, 2005.
- Silva, B. B. da; Braga, A. C.; Braga, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.145-152, 2011.
- Sobrino, J.A.; Li, Z.L.; Soria, G.; Jiménez-Muñoz, J.C. Land surface temperature and emissivity retrieval from remote sensing data. **Recent Research Developments in Geophysics**, v.4, p.21-44, 2002.
- Tang, B.; Li, Z. L. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3482-3492, 2008.
- Teixeira, A.H.C.; Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmad, M.D., Bos, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil - Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 462-476, 2009.
- Van de Griend, A. A.; Owe, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, p. 11190-1131, 1992.
- Wang, W.; Liang, S. Estimation of high-spatial resolution clear-sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.745–754, 2009.
- Zillman, J.W. (1972). A study of some aspects of the radiation and heat budgets of the southern hemisphere oceans. Bureau of Meteorology, Meteorological study no. 26, Australian Govt. Pub. Service, Canberra.