

DETERMINAÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO EM PLANTAÇÃO DE MILHO COM IMAGENS LANDSAT-5 TM

Determination of net radiation in cornfield with Landsat-5 TM images

Rafael da Silva Palácios*
Magdiel Josias do Prado*
Marcelo Sacardi Biudes*
Soilce Beatriz de Paula Carrilho*
Ivan Tocantins*

***Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT**
Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bloco do PPG em Física Ambiental
rafael.pgfa@gmail.com
mgdi.p@hotmail.com
marcelo@fisica.ufmt.br
soilcecarrilho@gmail.com
ivan_tocantins@yahoo.com.br

RESUMO

Várias técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos sobre os efeitos das mudanças da cobertura e uso do solo nas radiações à superfície. Nesse sentido, este trabalho objetiva quantificar o Saldo de Radiação (R_n) em uma plantação de milho em uma região de Cerrado utilizando imagens Landsat-5 TM. A área de estudo se encontra no município de Campo Verde – MT. Duas imagens foram selecionadas, sendo uma carta de abril e outra de agosto de 2011. Foram gerados mapas do saldo de radiação instantâneo e diário por meio do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Os valores obtidos de R_n instantâneo sobre a área de estudo foram 418 W.m^{-2} e 328 W.m^{-2} , respectivamente para as duas cartas, enquanto que para o R_n diário foram 104 W.m^{-2} e 98 W.m^{-2} , respectivamente. A diferença dos valores dos R_n instantâneo e diário entre as duas datas foi devido à diferença de estágio da cultura, sendo que a primeira data representa a fase de desenvolvimento e a segunda a de pós-colheita da cultura do milho. Os valores de Albedo e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) foram condizentes com os valores encontrados em cultivo de milho em outros trabalhos, sendo assim, foi possível afirmar que o valor obtido para o dia 22/04/2011 representa o valor do R_n durante a fase de desenvolvimento do cultivo do milho sobre condições de Cerrado.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Landsat-5 TM. Saldo de radiação.

ABSTRACT

Several remote sensing techniques have been used in studies about the effects of changes in cover and land use in the radiation at the surface. Thus, this paper aims to quantify the Net Radiation (R_n) in a corn field in a Cerrado region using Landsat-5 TM images. The study area is located in Campo Verde - MT. Two images were selected, one in April and another one in August 2011. Maps of the instantaneous and daily R_n by the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) were generated. The instantaneous R_n values over the study area were 418 W.m^{-2} and 328 W.m^{-2} , respectively for the two maps, while for the daily R_n were 104 W.m^{-2} and 98 W.m^{-2} , respectively. The difference of the instantaneous and daily R_n between the two dates was due to the different stage of the culture, the first date is the development phase and the second the post-harvest maize. The values of albedo and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) were consistent with the values found in maize cultivation in other works, so it was possible to affirm that the value obtained for the day 22/04/2011 is the value of R_n during the development phase of the cultivation of corn on Cerrado conditions.

Keywords: Remote sensing. Landsat 5 TM. Net radiation.

1 INTRODUÇÃO

Um das formas de sintetizar e contabilizar os fluxos radiativos que interagem com a superfície é analisar o Saldo de Radiação (R_n) (SILVA et al., 2011). Por meio dessa variável são feitos estudos relacionados ao Balanço de Energia, os quais são fundamentais no monitoramento do clima, previsão do tempo, modelagem hidrológica e meteorologia agrícola (SILVA; BRAGA; BRAGA, 2011; BISHT et al., 2005).

O R_n é uma variável que depende necessariamente da natureza da superfície estudada, assim varia muito de acordo com o albedo e temperatura da superfície local. A fim de se estimar os componentes do Balanço de Energia, as medições de R_n tornam-se cada vez mais frequentes (AZEVEDO et al., 2003, 2007; SILVA et al., 2007, 2011). Tais medições são representativas de condições específicas de cada cultura, e quando há interesse na sua determinação em áreas heterogêneas, pode-se recorrer ao sensoriamento remoto (SILVA; BRAGA; BRAGA, 2011).

Técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos temporais de análise das mudanças da cobertura e uso do solo (GÓMEZ; WHITE; WULDER, 2011; FOODY, 2010; CUNHA et al., 2011). Nesse sentido diversos sensores remotos com resoluções espaciais, temporais e espectrais diferentes têm sido utilizados para a compreensão desses processos (AMIRI et al., 2009; CARREIRAS et al., 2006, CUNHA et al., 2011).

O satélite Landsat-5 TM (série de satélite Landsat) que foi lançado em 01 de março de 1984 carrega o sensor *Thematic Mapper* (TM) e coleta informações sobre a superfície da Terra de forma contínua. Ao longo de sua história os dados coletados pelo TM têm sido utilizados em diversos trabalhos que visam à compreensão dos processos de alterações em superfície (CUNHA; LOPES; AZEVEDO, 2011).

Atualmente vários algoritmos de aplicabilidade ao sensoriamento remoto vêm sendo desenvolvidos, dentre os quais o *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL), que é um algoritmo semi-empírico que promove a parametrização do balanço de energia e fluxos da superfície baseado em alguns dados locais e medições espectrais de satélites (SILVA; LOPES; AZEVEDO, 2005a; RODRIGUES et al., 2009).

As interações entre componentes do balanço de radiação condicionam as trocas de calor e massa entre a superfície e a atmosfera e possibilitam identificar alterações naturais ou antrópicas decorrentes de mudanças no uso do solo. Tais mudanças podem promover variações climáticas locais e, portanto deve-se investigar se imagens de média resolução espacial são capazes de detectá-las (SILVA; BRAGA; BRAGA et al., 2011).

Com relação às práticas de manejo à agricultura, o R_n é um dos principais elementos que influenciam diretamente na perda de água pelos vegetais (evapotranspiração), (DORNELAS; SILVA; OLIVEIRA, 2006). A energia disponível à superfície que é utilizada nos processos de aquecimento do ar, do solo, fotossíntese e evapotranspiração é um resultado do saldo das trocas radiativas de onda curta e de onda longa. A disponibilidade de radiação solar global, e, por conseguinte, do R_n , tem aplicações em vários campos de estudo, a exemplo nas atividades agropecuárias (CARGNELUTTI FILHO et al., 2007).

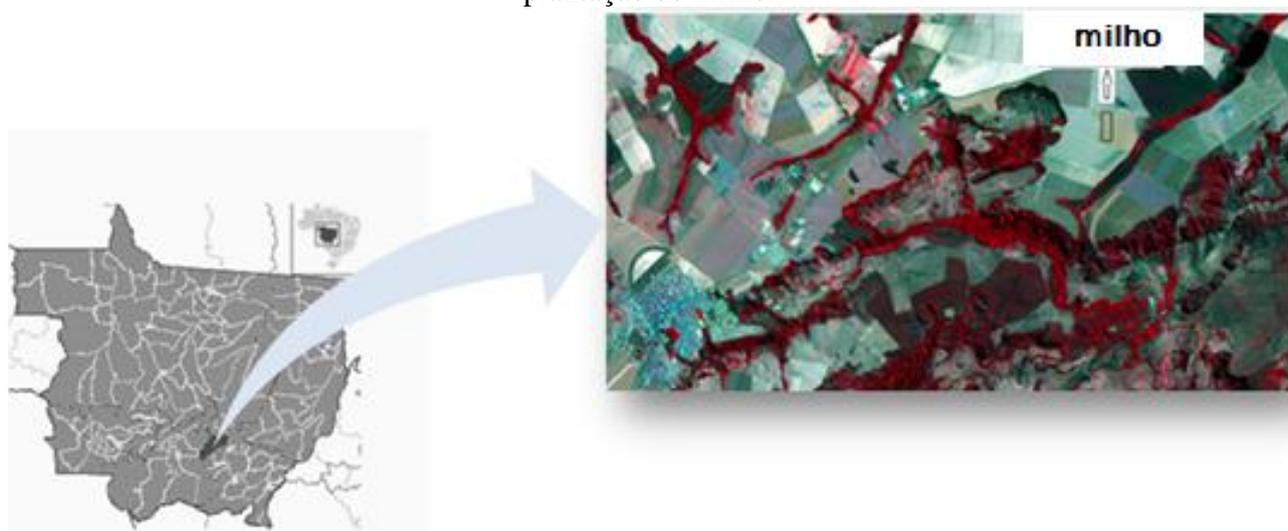
Para um cultivar agrícola, a obtenção do R_n se torna eficaz na análise do desenvolvimento da cultura em questão. Nesse contexto o objetivo desse trabalho foi determinar o Saldo de Radiação pelo algoritmo SEBAL por imagens Landsat-5 MT em uma plantação de milho em condições de Cerrado no município de Campo Verde, Estado de Mato Grosso.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo situa-se no município de Campo Verde – MT, localizado a sudeste do estado, e a leste, a aproximadamente 115 km da capital Cuiabá, cujas coordenadas variam de 15°28'20''S a 15°33'49''S e 55°11'10''W a 54°58'50''W, totalizando aproximadamente 24,32 mil

hectares. A vegetação é característica de Cerrado do Estado de Mato Grosso. De acordo com da Silva et al., (2010), há nessa região uma grande pressão antrópica resultante da acentuada conversão de vegetação natural em agricultura ou pastagem. O clima é classificado como Aw segundo Köppen e é bem definido, (por se encontrar em uma região de clima semitropical continental) o inverno é bem caracterizado pela seca e o verão por fortes precipitações. A Figura 1 mostra a área de estudo focando a plantação de milho (aproximadamente 35 hectares).

Figura 1 – Localização da área de estudo (Brasil, Mato Grosso, Campo Verde), com detalhe, para plantação de milho.



No estudo foram utilizadas duas imagens Landsat-5 TM, (órbita 226, ponto 71) correspondendo, respectivamente, as datas de 22/04/2011 e 12/08/2011, obtidas a partir do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia. As imagens são compostas de sete bandas espectrais, cujas características estão representadas na Tabela 1.

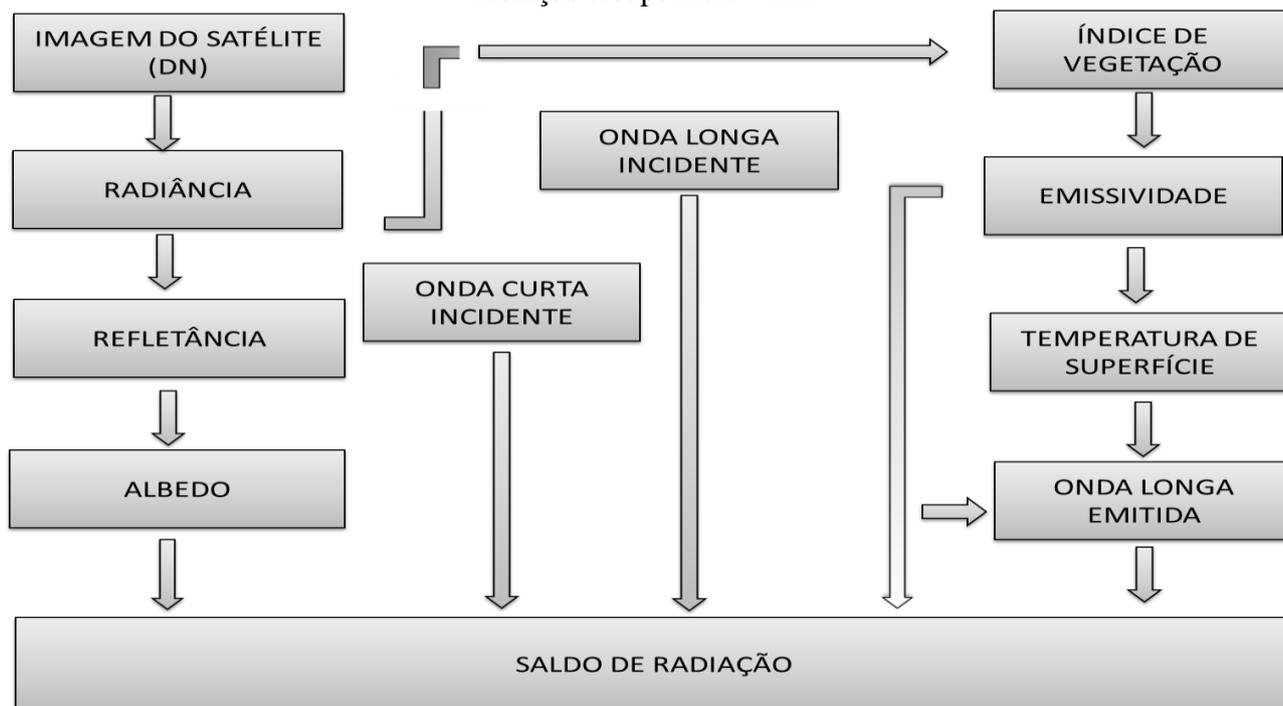
Tabela 1 – Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (Toa).

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Toa ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		a (Lmin)	b (Lmax)	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (verm.)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próx.)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-méd.)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-term.)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-méd.)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: modificado de Chander e Markham (2003, p.2676).

O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e os armazena na forma de níveis de cinza ou intensidade do pixel ou, ainda, número digital (ND), cujos valores variam de 0 a 255 (8 bits), com uma resolução espacial de 30 m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e outra de 120 m, na banda 6 (banda termal). A Figura 2 mostra um diagrama que representa as etapas de cômputo dos diferentes componentes do balanço de radiação. Esse diagrama descreve a determinação do saldo de radiação instantâneo à superfície utilizando procedimentos do algoritmo SEBAL (BASTIAANSEN; SEBAL, 1998; ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002; SILVA; LOPES; AZEVEDO, 2005a).

Figura 2 – Diagrama das etapas computacionais do preenchimento de obtenção do saldo de radiação à superfície – R_n .



Fonte: Adaptado de Silva, Braga e Braga (2011, p.147).

Analisando a Figura 2, portanto, o balanço de radiação é obtido por meio de um conjunto de etapas, na qual a primeira consiste na determinação da radiância, logo em seguida serão determinados refletância e índices de vegetação respectivamente. Com estes é possível se obter as emissividades e a temperatura de superfície.

Para o cômputo da radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}) considera-se que o número digital (ND) de cada pixel da imagem seja convertido em radiância espectral monocromática. Assim essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda (GIONG et al., 2010). Desta forma a Equação (1), proposta por Markham e Baker (1987), onde a_i e b_i são apresentados pela tabela 1, é dada por:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) \cdot ND \quad (1)$$

Na segunda etapa a refletância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente, é computada a partir da Equação (2), proposta por Allen et al. (2002).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cos(Z) dr} \quad (2)$$

A irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$) é representada por k_{λ_i} , Z é o ângulo zenital e dr representa o inverso do quadrado da distância Terra-Lua (em unidade astronômica – UA) dado por Iqbal (1983), segundo a Equação (3).

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DJ2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

Uma vez que a elevação do sol (E) pode ser obtida no cabeçalho de cada imagem é possível determinar o ângulo zenital, conforme demonstra a Equação (4).

$$\cos(Z) = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \text{sen}(E) \quad (4)$$

A terceira etapa consiste no computo do albedo planetário (α_{toa}), albedo ajustado a transmissividade atmosférica, que de acordo com Giongo et al. (2010) é obtido pela combinação linear das refletâncias monocromáticas, seguindo a Equação (5):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (5)$$

A quarta etapa consiste em se computar o albedo de superfície ou corrigido para os efeitos atmosféricos (α), para tanto é necessário primeiramente se determinar a parcela da radiação solar que foi refletida pela própria atmosfera (α_p). Esse valor varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL de Bastiaanssen, (2000) recomenda se 0,03 (GIONGO et al., 2010).

Para a obtenção do albedo de superfície também se faz necessário conhecer a transmissividade atmosférica (τ_{sw}) através da Equação (6), e obtida por Allen et al. (2007).

$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,0627 \exp\left[\frac{-0,00146P}{k_t \cos \theta_{hor}} - 0,075\left(\frac{W}{\cos \theta_{hor}}\right)^{0,4}\right] \quad (6)$$

Na Equação (7), (P) representa a pressão atmosférica medida em kPa, k_t é o coeficiente de turbidez atmosférica, sendo igual a 1 para céu claro e 0,5 para turbidez extrema, W é a água precipitável em mm , calculada através da equação proposta por Garrison e Adler (1990).

$$W = 0,14e_a P + 2,1 \quad (7)$$

Uma vez determinado o valor a parcela de radiação que foi refletida pela atmosfera e a transmitância, o albedo de superfície será dado de acordo com a Equação (8):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (8)$$

De acordo com o diagrama proposto na Figura 2, na quinta etapa se aplica a obtenção dos índices de vegetação, mostrado na Equação (9). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) é determinado a partir da razão entre a diferença das refletividades das bandas 4 e 3, pela soma das mesmas.

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (9)$$

Os valores de *NDVI* variam de -1 a +1. Para superfícies com algum tipo de vegetação varia entre 0 e 1, já para água e nuvens, geralmente é menor que zero.

Para se obter o Índice de Vegetação Ajustado para Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI), utiliza-se a expressão proposta por Huete, (1988), da Equação 10, em que *L* é uma função do tipo de solo. Neste trabalho foi utilizado *L* = 1 (HUETE; WARRICK, 1990).

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad (10)$$

O Índice de Área Foliar (IAF), razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada pela vegetação, pode ser computada pela Equação (11) empírica obtida por Allen et al. (2002).

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (11)$$

A sexta etapa compreende na determinação das emissividades e temperatura de superfície. Cada pixel não emite radiação como um corpo negro, desta forma, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ε_{NB} , (10,4 – 12,5 μm), pela Equação (12). No entanto tem que se considerar também a emissividade no domínio da onda longa ε_0 , (5 – 100 μm), pela Equação (13). Desta forma, de acordo com Allen et al. (2002).

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033.IAF \quad (12)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01.IAF \quad (13)$$

Para obtenção da temperatura de superfície (T_s), são necessárias a radiância espectral da banda termal ($L_{\lambda 6}$) e a emissividade (ε_{NB}). Desta forma determina-se a temperatura na superfície (*K*) mostrada na Equação (14).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)} \quad (14)$$

Na Equação (14), $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 607,76 \text{ K}$, são constantes de calibração

da banda termal do Landsat-5 TM. (SILVA et al., 2005a).

Na sétima etapa determinam-se as radiações de onda longa emitida e ondas curta e longa incidentes.

Na Tabela 2, ε_0 representa a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), T_{sup} é a temperatura da superfície (K), S é a constante solar (1367 Wm^{-2}), ε_a é a emissividade da atmosfera e T_a é a temperatura do ar.

Tabela 1 – Representação e determinação das radiações de onda longa emitida, onda curta e longa incidentes.

Radiação de onda longa emitida	$R_{ol,emi}$	$\varepsilon_0 \sigma T_{\text{sup}}^4$	Stefan-Boltzmann
Radiação de onda curta incidente	$R_{sol,inc}$	$S \cos(Z) dr \tau_{sw}$	Allen et al. (2002)
Radiação de onda longa incidente	$R_{ol,inc}$	$\varepsilon_a \sigma T_a^4$	Stefan-boltzmann

Na oitava e última etapa tem-se o saldo de Radiação à superfície Rn (Wm^{-2}) que é computado utilizando a Equação (15) para o balanço de radiação à superfície.

$$Rn = R_{sol,inc} (1 - \alpha_{\text{sup}}) - R_{ol,emi} + R_{ol,atm} - (1 - \varepsilon_0) R_{ol,atm} \quad (15)$$

Na Equação (15), α_{sup} representa o albedo corrigido para cada pixel, assim como ε_0 representa a emissividade também para cada pixel. Através da quantificação da radiação que chega e sai da superfície determina-se o líquido que ficou livre ao meio.

Para se determinar o saldo de radiação diário Rn_{24h} (Wm^{-2}) utilizou-se o modelo proposto por Bruin (1987), apresentado na Equação (16).

$$Rn_{24h} = R_{sol,inc 24h} (1 - \alpha_{\text{sup}}) - 110 \tau_{sw 24h} \quad (16)$$

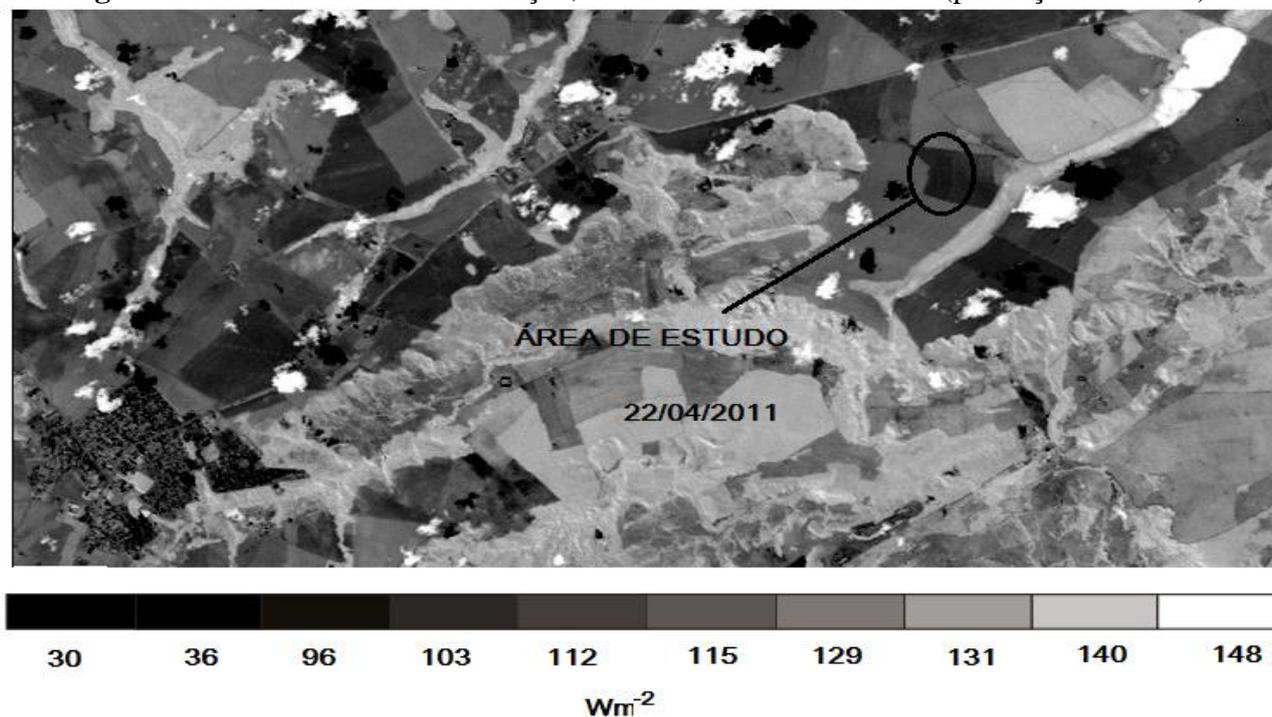
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do saldo de radiação instantâneo Rn (Wm^{-2}) obtidos sobre todo o recorte estudado (cultivo de milho) foram de 418 Wm^{-2} para o dia 22/04/2011 e de 328 Wm^{-2} no dia 12/08/2011. De acordo com Cruz et al. (2010) a grande concentração do plantio de milho safrinha no estado de Mato Grosso ocorre no mês de fevereiro (desse montante, boa parte na segunda quinzena do mês) e permanecem em campo por 6 meses até a colheita, sendo assim os resultados citados acima foram obtidos em fases diferentes do desenvolvimento da cultura, desta forma além da análise do Rn o presente estudo também se preocupou em abordar as variáveis de albedo, temperatura de superfície e NDVI, estimadas também através do SEBAL. A Figura 3 mostra o recorte com a área de estudo para o dia 22/04/2011, Rn diário.

Para o dia 22/04/2011 (primeira carta) o albedo sobre a cultura foi de 24%, enquanto que para o dia 12/08/2011 (segunda carta) foi de 26%. Giongo et al. (2010) obteve médias que variaram de 13 a 18% para o cultivo de cana de açúcar, já Silva; Lopes; Azevedo (2005b) chegou a uma variação da média entre 20,5 e 21,0%. A média obtida na segunda carta se aproximou do limite inferido a solo exposto, acima de 27%, conforme Silva; Lopes; Azevedo, (2005b). Entretanto, há de se investigar o desenvolvimento da cultura, uma vez que para segunda carta a data da mesma se aproxima muito da época de colheita. Com relação ao NDVI os valores médios encontrados foram de 0,8 e 0,2 para primeira e segunda carta respectivamente, bom indicativo da formação completa da cultura para a primeira carta e vegetação amplamente rala ou solo exposto para a segunda. Cruz

et al. (2010) encontrou 0,75 para a fase fenológica de floração da cultura, 0,2 para vegetação rala e 0,5 para pivôs cultivados, já Bezerra et al. (2006) obteve média de 0,7 em cultura de algodão irrigado.

Figura 3 – Carta de Saldo de Radiação, no detalhe a área de estudo (plantação de milho).



Os valores médios de temperatura estimados foram de 34°C e 39°C para respectivas cartas, valores aceitáveis, dentro da faixa encontrado por Borges et al. (2010) que foi de 30°C a 40°C para o desenvolvimento da cultura. Garcia et al. (2013) obteve variação de 22°C a 29°C para o mês de outubro. Brunini et al. (2001) afirma que as restrições climáticas sobre a cultura do milho variam muito devido aos sistemas de cultivo (épocas de semeadura), visto que teoricamente o milho pode ser plantado em qualquer época do ano. Ainda segundo Brunini et al. (2001) a cultura do milho é influenciada diretamente pelas condições térmicas do ambiente desde a semeadura até a maturação, sendo que os processos fisiológicos ocorrem em sua maioria no intervalo de 0°C a 40°C.

Tendo em vista os valores citados acima, percebe-se que a variação do Rn instantâneo tem uma relação direta tanto com o desenvolvimento da cultura assim como com a declividade solar, uma vez que as datas das cartas utilizadas abordam épocas diferentes de incidência de radiação solar. Gusmão et al. (2012) encontraram 534,4 Wm^{-2} para região de Ilha do Bananal na Região central do Brasília, Borges et al., (2002) obtiveram médias que variaram de 407 a 417 Wm^{-2} para o mês de maio em cultivo de algodão irrigado e 470 Wm^{-2} para regiões não semeadas. Silva, Lopes, Azevedo, (2005b) obtiveram 495 Wm^{-2} para solo exposto, 458 Wm^{-2} para frutíferas irrigadas, 550 Wm^{-2} para leito de rio em julho e 809 Wm^{-2} em Janeiro, e 430 Wm^{-2} para pivôs cultivados em maio e 700 Wm^{-2} em março.

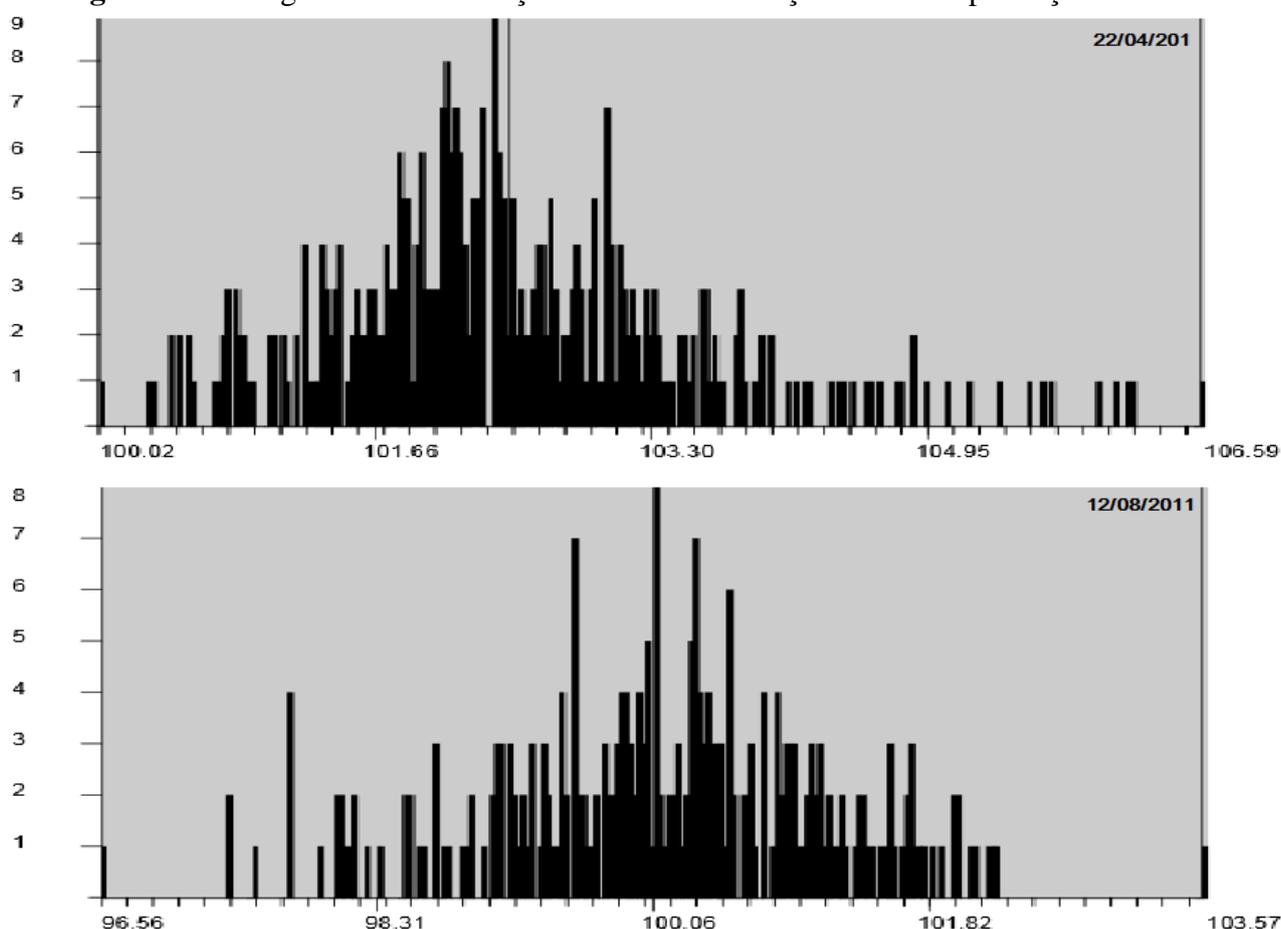
Chavez et al. (2007) encontraram médias de 600 a 650 Wm^{-2} para regiões com biomassa sem déficit hídrico. Bezerra et al. (2006) obtiveram valores médios de 650 a 700 Wm^{-2} em área de boa cobertura vegetal (incluindo áreas com culturas irrigadas), já Borges (2002) com medidas locais de sensor, encontrou média de 600 Wm^{-2} para cultura em desenvolvimento e 700 Wm^{-2} para cultura já desenvolvida. No caso do resultado apresentado nesse trabalho a segunda carta não apresenta valores condizentes com a literatura, pois os valores obtidos de albedo e NDVI indicam uma vegetação rala ou mesmo solo exposto. No entanto, apresenta um baixo valor para o Saldo de Radiação, indicando uma baixa quantidade de energia disponível, assim devem-se investigar mais

profundamente as características locais da área de estudo. Já a primeira carta (22/04/2011) apresenta evidências claras do desenvolvimento da cultura apresentando resultados satisfatórios em todos os aspectos.

Com relação ao saldo de radiação diário (Rn_{24h}) as médias encontradas foram de 104 Wm^{-2} e 98 Wm^{-2} respectivamente. A Figura 4 mostra a distribuição do Rn diário na área de estudo.

A Figura 4 representa um histograma da distribuição do Saldo de Radiação diário somente para a área com o cultivo de milho, ou seja, todo procedimento apresentado na metodologia foi realizado também sobre o recorte no detalhe da Figura 1. Observa-se uma distribuição normal para os resultados apresentados na primeira carta, evidenciando uma boa estimativa para o estágio de desenvolvimento da cultura do milho. Já a segunda carta apresenta uma distribuição com várias flutuações, não sendo representativa para quantificar de forma satisfatória o Saldo de Radiação para essa data.

Figura 4 – Histograma da distribuição do saldo de radiação diário em plantação de milho.



No trabalho desenvolvido por Silva, Braga e Braga (2011) no Perímetro irrigado de São Gonçalo o valor máximo do Rn diário foi obtido para região com corpos de água (195 Wm^{-2}) em mês de dezembro e mínimo de (95 Wm^{-2}) em setembro para regiões de solo exposto. Os maiores valores de média (150 a 185 Wm^{-2}) foram obtidos sobre regiões irrigadas e corpos de água, já os valores mínimos (81 a 127 Wm^{-2}) foram obtidos em áreas urbanas, com grandes exposições de solo nu.

Tendo em vista todos os resultados mencionados acima, acredita-se que o valor obtido para a carta do dia 22/04/2011 representa de forma satisfatória a quantificação do Rn diário para o desenvolvimento da cultura do milho na área de estudo. Já a carta do dia 12/08/2011 representa um cenário de pós-colheita, pois a mesma apresentou baixo valor de NDVI e acréscimo no valor de

temperatura do ar. Na segunda carta o Rn diminuiu, uma vez que a mudança na cobertura do solo influenciou diretamente a demanda de água para a atmosfera aumentando energia na forma de calor sensível, o que aumentou a temperatura do ar. O valor obtido de albedo na segunda carta (26%), também indica a presença de um solo praticamente exposto, evidenciando a queda do Rn para essa data.

4 CONSIDERAÇÕES

O Saldo de Radiação instantâneo para o dia 22/04/2011 apresentou grande concordância com os valores obtidos para albedo e NDVI para o cultivo do milho na área de estudo (características de Cerrado).

A variação dos valores obtidos nas duas cartas trabalhadas se deve ao fato de abordarem fases diferentes da ocupação do solo pela área vegetada do cultivo, visto também que as condições meteorológicas distintas também possuem parcela de contribuição para tais variações. Como visto, a primeira carta representa de fato o estágio de desenvolvimento da cultura enquanto que a segunda, conforme investigado, representou uma fase de pós-colheita na área de estudo o que viabilizou as comparações e a quantificação do Saldo de Radiação diário para o desenvolvimento da cultura do milho em uma região de Cerrado.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL**: Surface Energy Balance Algorithms for Land. Kimberly: University of Idaho, 2002. Advanced Training and Users Manual.

ALLEN, R.G. et al. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC). Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 133, p. 380-394, 2007.

AMIRI, R. et al. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, p. 2606-2617, 2009.

AZEVEDO, P. V. de et al. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment. **Agricultural Water Management**, Elsevier, [S.l.], v. 88, no. 1/3, p. 201-208, 2007.

AZEVEDO, P. V. et al. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Elsevier, [S.l.], v. 58, no. 3, p. 241-254, 2003.

BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL: based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, p. 87-100, 2000.

BASTIAANSSEN, W.G.M. et al. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): 1 formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.212/ 213, no.1/4, p.198-212, 1998.

BEZERRA, B. G. **Balanco de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no Cariri Cearense através do algoritmo SEBAL**. 2006. 127f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

BISHT, G. et al. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 97, no. 1, p. 52-67, 2005.

BORGES, P. F. **Crescimento, desenvolvimento e balanço de radiação do algodoeiro herbáceo BRS – 201 em condições irrigadas**. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de

Campina Grande, Campina Grande, 2002.

BRUNINI, O. et al. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para a estimativa das médias decendiais de radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1402-1410, 2007.

CARREIRAS, J. M. B. et al. Assessing the extent of agriculture/ pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using Spot Vegetation data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 101, p. 283-298, 2006.

CHANDER, G.; MARKHAN, B. Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, no. 11, p. 2674-2677, 2003.

CHAVEZ, J. L. et al. Evapotranspiration mapping using METRIC TM for region with highly advective conditions. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: ASABE, 2007.

CRUZ, J. C. et al. Sistema de produção de milho safrinha de alta produtividade. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. 1CDROM.

CUNHA, J. E. B. L. et al. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 539-548, 2011.

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L. da; OLIVEIRA, C. A. da S. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 8, p. 1213-1219, 2006.

FOODY, G. M. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 114, p. 2271-2285, 2010.

GARCIA, R. G. et al. Calendário agrícola para a cultura do milho em Sinop (MT). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 218-222, 2013.

GARRISON, J. D.; ADLER, G. P. Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components. **Solar Energy**, Kidlington, v. 44, p. 225-241, 1990.

GIONG, P. R. et al. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 279-287, 2010.

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 115, p. 1665-1679, 2011.

GUSMÃO, A. C. V. L. et al. Determinação do saldo de radiação na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1107-1114, 2012.

HUETE, A. R.; WARRICK, A. R. Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 32, p. 155-167, 1990.

HUETE, A. R.; WARRICK, A. R. Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 32, p. 155-167, 1990. doi: 10.1016/0034-4257(90)90015-E.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. 1st ed. Toronto: Academic Press, 1983.

MARKHAN, B. L.; BARKER, J. L. Thematic Mapper band Pass Solar exoatmospherical Irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 8, no. 3, p. 517-523, 1987.

RODRIGUES, J. O. et al. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego de sensoriamento remoto, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 452-465, 2009.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 145-152, ju./set. 2011.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, 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**, São José dos Campos, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005b.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA B. B. da. Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, no. 6, p. 1391-1396, 2007.

STELLMES, M. et al. Dryland observation at local and regional scale: comparison of Landsat TM/ETM+ and NOAA AVHRR time series. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 114, p. 2111-2125, 2010.

ZHANG, B. et al. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, n. 10, p. 1629-1640, 2008.

Data de submissão: 26.02.2014

Data de aceite: 27.08.2014

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.