Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Saldo de Radiação em Caupi e Mamona nos Municípios de Areia-PB e Garanhuns-PE

José Romualdo de Sousa Lima¹; Antonio Celso Dantas Antonino²; Eduardo Soares de Souza³; Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira⁴; João Carlos Ferreira Borges Júnior⁵; Bernardo Barbosa da Silva⁶.

1- Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns - Brasil. Pesquisador do CNPq. E-mail: romualdo@uag.ufpe – autor correspondente, telefone 87 3764 5529

2- Professor Associado do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – Brasil. Pesquisador do CNPq. acda@ufpe.br

3- Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada - Brasil. eduardosouza@uast.ufpe.br

4- Professor Titular do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – Brasil. Pesquisador do CNPq. cabol@ufpe.br

5- Professor Associado do Campus Sete Lagoas da Universidade Federal de São João Del-Rei. jcborges10@yahoo.com

6- Professor Visitante Associado do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – Brasil. Pesquisador do CNPq. bernardoufpe@gmail.com

Artigo recebido em 09/10/2013 e aceite em 20/02/2014

RESUMO

O saldo de radiação (R_n) é a energia utilizada em diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, a exemplo da evapotranspiração; no entanto, sua medição direta não está disponível para a maioria das estações meteorológicas do Brasil. Dessa forma, o presente trabalho objetivou determinar a relação entre o R_n e a radiação solar global incidente (R_g) sobre dosséis de caupi e mamona. Os dados de R_n e R_g foram coletados de experimentos realizados durante os anos de 2002 e 2003 (caupi), de 2004 e 2005 (mamona) em Areia-PB ($6^\circ 58' S$, $35^\circ 41' W$ e 620 m), e de 2009 (mamona) em Garanhuns-PE ($8^\circ 53' S$, $36^\circ 29' W$ e 842 m). Os dados foram integrados durante o período diurno, das 6 às 18h, e depois foi obtida a relação R_n/R_g para cada dia. Obtiveram-se equações com elevado R^2 (acima de 0,93), índices d e c (acima de 0,90), e baixo RQME (abaixo de 0,83), indicando boa precisão da estimativa do R_n em função do R_g nas culturas do caupi e da mamona. A equação geral para mamona foi $R_n = 0,5965 R_g$ ($R^2 = 0,943$) e para caupi foi $R_n = 0,7822 R_g$ ($R^2 = 0,976$). O R_n , em dosséis de caupi e mamona, pode ser estimado satisfatoriamente a partir da R_g .

Palavras-chave: Evapotranspiração, Radiação Solar, *Vigna unguiculata*, *Ricinus communis*

Daytime Net Radiation on Cowpea and Castor Bean in the County of Areia-PB and Garanhuns-PE

ABSTRACT

Net radiation (R_n) is the quantity of radiant energy used in many process occurring in the soil-plant-atmosphere continuum, such as evapotranspiration, however, its direct measurement is not available for most weather stations in Brazil. Thus, the objective of this work was to determine the relationship between R_n and incident solar radiation (R_g) in cowpea and castor bean canopies. The R_n and R_g data were collected from experiments conducted during in the years 2002 and 2003 (cowpea), 2004 and 2005 (castor bean) in Areia, PB ($6^\circ 58' S$, $35^\circ 41' W$ e 620 m), and 2009 (castor bean) in Garanhuns-PE ($8^\circ 53' S$, $36^\circ 29' W$ e 842 m). Were performed daily sums of R_n and R_g , from 6 to 18h, and then it was calculated the R_n/R_g ratio for each day. Models with high R^2 (above 0.93), d and c indices (above 0.90) and low RMSE (below 0.83) were obtained in test between measured and estimated values, indicating precision to estimate R_n in cowpea and castor bean canopies as a function of R_g . The general linear function for castor bean and cowpea were $R_n = 0.5965 R_g$ ($R^2 = 0.943$) and $R_n = 0.7822 R_g$ ($R^2 = 0.976$), respectively. Net radiation can be satisfactorily estimated from incoming solar radiation for both crops.

Key words: Evapotranspiration, Solar Radiation, *Vigna unguiculata*, *Ricinus communis*

Introdução

O feijão caupi, feijão de corda ou feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), tem grande importância econômica e social para a região Nordeste do Brasil, uma vez que é um dos alimentos básicos das populações de baixa renda dessa região (Lima et al., 2011). No estado da Paraíba, o feijão caupi é cultivado em quase todas as microrregiões, numa área aproximada de 201.787 ha, com produção aproximada de 101.146 t ano⁻¹ e rendimento médio de 501,25 kg ha⁻¹ (IBGE, 2011).

Nos últimos anos, o Governo Federal, por meio do PROBIODIESEL, vem incentivando o cultivo de plantas oleaginosas, de acordo com o potencial de cada região, para a produção do biodiesel. No Nordeste brasileiro, devido as suas condições edafoclimáticas, a cultura escolhida para a produção de biodiesel foi a mamona. Além da sua adaptabilidade a essas condições, a cultura da mamona apresenta elevada potencialidade para gerar empregos e fixar o homem no campo, diminuindo o êxodo rural (Oliveira et al., 2009).

Ao longo das duas últimas décadas, a produção brasileira de mamona caiu, chegando em níveis de importação. A partir de 2003 essa produção começou a aumentar devido o incentivo governamental, e no ano de 2004 o Brasil já era o terceiro maior produtor de mamona do mundo, ficando atrás apenas da Índia e China. A região Nordeste responde por 91,3% da produção brasileira, e desta o estado da Bahia é o maior produtor, tanto em área como em produção, participando, respectivamente, com 90,81% da área colhida e 87,22% da mamona em grão (Silva et al., 2008).

O feijão caupi e a mamona, como qualquer outra cultura comercial, necessitam, para produtividades elevadas, de luz, água e nutrientes em momentos e quantidades apropriadas. A falta ou excesso desses insumos são limitantes à produção, determinando em muitos casos a sua diminuição. O conhecimento do uso de água pelas culturas (evapotranspiração, ET) é de

grande interesse para estudos que envolvam a dinâmica da absorção de água e de nutrientes, modelos de crescimento e produção de culturas, planejamento de sistemas de irrigação, etc. (Lima et al., 2006; Gouveia Neto et al., 2011; Moroke et al., 2011).

O saldo de radiação (Rn) representa a quantidade de energia de natureza radiativa que está disponível para os processos de evapotranspiração, fotossíntese e de aquecimento do ar e do solo. Essa componente do balanço de energia é a resultante dos balanços de ondas curtas e ondas longas (Sentelhas & Nascimento, 2003; Fietz & Fisch, 2009). O Rn é o elemento meteorológico que exerce maior influência na ET. De maneira geral, não havendo restrição hídrica, quanto maior a disponibilidade de energia solar (Rg) e consequentemente do Rn, maior também será a ET (Fietz & Fisch, 2009).

O saldo de radiação varia temporal e espacialmente, dependendo das características ópticas da superfície, de acordo com seu albedo, da radiação solar global e das condições de temperatura, nebulosidade e umidade do ar. Sua mensuração direta é obtida pelo saldo radiômetro, sensor que integra os balanços de radiação de ondas curtas e longas (Silva et al., 2007).

A mensuração do saldo de radiação em dosséis de plantas é onerosa e difícil (Samani et al., 2007), pois os saldos radiômetros são instrumentos delicados e que requerem frequente manutenção e calibração, além do problema relacionado com a superfície padrão (área de bordadura ou fetch) para a realização das medições (Kjaersgaard et al., 2009). Devido a isso e ao alto custo, o Rn não é medido rotineiramente na maioria das estações meteorológicas do Brasil e do exterior (Sentelhas & Nascimento, 2003; Fietz & Fisch, 2009).

Dessa forma, vários autores têm desenvolvido metodologias para estimar o saldo de radiação em função de outros elementos climáticos, como a radiação solar global incidente (Rg), disponíveis nas estações meteorológicas. Pode-se citar os trabalhos de Heldwein et al. (2012a), com a

cultura da batata, Heldwein et al. (2012b), com a cultura do girassol, e o de Silva et al. (2007), com as culturas do capim tanzânia e grama batatais, que estimaram o R_n em função do R_g e obtiveram excelentes resultados.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo estimar o saldo de radiação diurno (R_n) em função da radiação solar global (R_g), em dosséis de caupi e de mamona, cultivadas sob condições de sequeiro nos municípios de Areia-PB e Garanhuns-PE.

Material e Métodos

Localização, clima e solo das áreas experimentais

As medidas do saldo de radiação (R_n) e da radiação solar global incidente (R_g) foram efetuadas em duas localidades diferentes. A primeira, onde foram cultivadas as culturas de caupi (2002 e 2003) e mamona (2004 e 2005), possuía uma área de quatro (04) ha e ficava localizada na Fazenda Chã do Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, entre as coordenadas $6^\circ 58'12''$ S e $35^\circ 42'15''$ W, com 620 m de altitude. O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As' (quente e úmido), com estação chuvosa no período outono-inverno, sendo as maiores precipitações nos meses de junho e julho (BRASIL, 1972). De acordo com os dados da Estação Meteorológica do CCA da UFPB (média de 30 anos), a temperatura do ar média anual é de $24,5^\circ\text{C}$, a umidade relativa média anual é de 85% e a precipitação pluvial anual é de 1.400 mm (Oliveira et al., 2009). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006).

A segunda área (nove ha), onde cultivou-se a mamona em 2009, ficava localizada na Fazenda Estivas no município de Garanhuns, PE ($8^\circ 53'$ S, $36^\circ 29'$ W, 842 m). O clima na microrregião de Garanhuns é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. As médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, $21,1^\circ\text{C}$ e 82,5%, com precipitação pluvial de 897 mm anuais, sendo

o quadrimestre mais chuvoso, representado pelos meses de maio a agosto (Borges Júnior et al., 2012). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006).

Plantio das culturas e tratamentos culturais

As medidas com a cultura do caupi foram realizadas durante os anos de 2002 e 2003, enquanto com a mamona, nos anos de 2004, 2005 e 2009.

O plantio do caupi foi realizado manualmente, colocando-se três sementes por cova, num espaçamento de 1,0 x 0,5 m, nos períodos de 13 a 16/03/2002, de 11 a 12/03/2003 e de 22 a 23/07/2003. A colheita no ano de 2002 foi realizada dos dias 10 a 15/06, enquanto que no primeiro cultivo de 2003 a colheita foi realizada nos dias 27 e 28/05 e no dia 02/06; já no segundo cultivo foi realizada no dia 17/10/2003.

O plantio da mamona no ano de 2004 foi realizado no período de 15 a 16/06, enquanto que no ano de 2005, foi realizado nos dias 31/05 e 01/06; já no ano de 2009 o plantio foi realizado no dia 04/08. O plantio foi realizado manualmente em área preparada com tração mecânica (aração e gradagem), no espaçamento de 2,0 x 1,0 m, sendo colocadas três sementes por cova da cultivar BRS 149 Nordestina. Nos três anos, foram realizadas duas capinas durante o ciclo vegetativo da cultura. A colheita no ano de 2004 foi realizada nos dias 23 e 24/11, no ano de 2005 no período de 05 a 19/12, e no ano de 2009 no período de 10 a 15/12.

Medição da radiação solar e do saldo de radiação

Em ambas as culturas, os dados de R_g foram medidos com um piranômetro, modelo LI 200X (LI-COR, Lincoln, NE), enquanto os de R_n foram medidos com um saldo radiômetro, modelo Q-7.1 (Radiation Energy Balance Systems, Beaverton, OR). Os sensores foram instalados no centro das áreas cultivadas em uma estação meteorológica automática. As medidas foram armazenadas como médias a cada 30 min em um sistema de aquisição de dados CR 10X (Campbell Scientific, Logan, UT).

Na totalização de R_n e R_g , de W m^{-2}

para MJ m⁻² d⁻¹, foram usados dados do período diurno das 6 as 18 horas, obtendo-se também a relação entre essas variáveis (Rn/Rg) para cada dia. Aos dados de Rg e Rn do caupi (dados do cultivo de 2002) e da mamona (dados do cultivo de 2004) foram ajustadas equações de regressão linear simples, conforme metodologia apresentada por Sentelhas & Nascimento (2003), sendo a equação de regressão:

$$Rn = bRg \quad (1)$$

em que Rn é o saldo de radiação, em MJ m⁻² d⁻¹; b é o coeficiente angular da reta obtida por meio da regressão linear simples; e Rg é a radiação solar global, em MJ m⁻² d⁻¹.

Após a obtenção das equações de regressão foram feitas as validações das mesmas. Para a cultura do caupi, utilizaram-se os dados dos dois cultivos de 2003, enquanto para a mamona, utilizaram-se os dados do cultivo de 2005 em Areia-PB e de 2009 em Garanhuns-PE.

Avaliação das estimativas de Rn

A avaliação do desempenho (validação) dos modelos foi realizada por meio do coeficiente de determinação (R²), da raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME), do índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) de Camargo & Sentelhas (1997), definido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d).

A raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) foi obtida de acordo com Heldwein et al. (2012a):

$$RQME = \left(\sum (E_i - O_i)^2 / N \right)^{0,5} \quad (2)$$

em que “E” é o valor estimado, “O” é o valor observado e N é o número de observações utilizado para a validação.

O índice de concordância “d” (WILLMOTT et al., 1985) é dado pela seguinte equação:

$$d = 1 - \frac{\sum (E_i - O_i)^2}{\sum \left(\left(E_i - \bar{O} \right)^2 + \left(O_i - \bar{O} \right)^2 \right)} \quad (3)$$

sendo Ei e Oi os valores estimados pelo modelo e observados, respectivamente, e $\bar{O}$ a média dos valores estimados.

De acordo com Santos & Camargo (2006), o “r” indica a precisão do modelo, ou seja, quanto da variação da variável dependente é explicada por aquela das variáveis independentes. O índice “d”, com variação entre 0 e 1, indica o grau de exatidão entre os valores estimados e observados, quanto mais próximo de 1, melhor a exatidão do modelo em estimar a variável dependente. O índice de confiança ou desempenho “c,” associa os coeficientes de correlação “r” (precisão) com o de concordância “d” (exatidão). Este índice é classificado em ótimo (>0,86), muito bom (0,76 a 0,85), bom (0,66 a 0,75), mediano (0,61 a 0,65), sofrível (0,51 a 0,60), mau (0,41 a 0,50) e péssimo (≤0,4) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

Resultados e discussões

Para o caupi, a Rg variou de 4,7 a 24,0 MJ m⁻² d⁻¹ no período de 13/03 a 15/06/2002 (Figura 1A), enquanto para a mamona, no período de 15/07 a 24/11/2004, variou de 5,7 a 24,2 MJ m⁻² d⁻¹ (Figura 1B). Constata-se uma tendência de diminuição do Rg à medida que termina o ciclo do caupi, com o inverso ocorrendo para a mamona.

Heldwein et al. (2012a), analisando a relação do Rn com a Rg em dosséis de batata em Santa Maria-RS, encontraram resultados semelhantes. De acordo com esses autores, menores valores de Rg no outono ocorrem devido ao fato que, no hemisfério sul, o fotoperíodo decresce e o ângulo zenital dos raios solares aumenta gradativamente, à medida que se aproxima o solstício de inverno.

Figura 1. Radiação solar global (Rg) e saldo de radiação (Rn) em caupi, 13/03 a 15/06/2002 (A), e em mamona, 15/07 a 24/11/2004 (B), em Areia-PB.

O Rn, como esperado, seguiu as variações da Rg. O Rn variou de 3,8 a 19,1 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, com valor médio de 12,8 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, no caupi (Figura 1A) e de 3,7 a 13,6 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, com média de 10,7 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ na mamona (Figura 1B). Observa-se, ainda, que o Rn em caupi (Figura 1A) apresentou maior proporção do Rg (relação Rn/Rg), em torno de 78%, quando comparado com a mamona (Figura 1B), em torno de 60%. Possivelmente essa diferença decorra da arquitetura das plantas, do grau de cobertura do solo e das características biofísicas de cada espécie

(Heldwein et al., 2012a). Além disso, para o caupi, devido o seu período de cultivo ter compreendido a época de chuvas mais intensas e constantes na região, verificou-se que houve uma maior variação entre Rg e Rn. Esse fato também foi observado por Silva et al. (2007), em Piracicaba-SP, no período chuvoso.

Na Figura 2 é apresentada a relação entre os valores diurnos de Rg e Rn para os dosséis de caupi (Figura 2A) e mamona (Figura 2B).

Obteve-se um elevado coeficiente de determinação, R^2 acima de 0,94, para a relação entre os valores diurnos de Rg e Rn para os dosséis de caupi (Figura 2A) e mamona (Figura 2B). No entanto, as culturas apresentaram coeficientes angulares diferentes, ou seja, 0,78 para caupi e aproximadamente 0,60 para mamona. Por esses dados, de acordo com Heldwein et al. (2012a), as perdas de energia por processos de radiação envolvendo a reflexão da Rg e o saldo de radiação de onda longa foram de 22 e 40% para caupi e mamona, respectivamente.

Estudando a relação entre Rn/Rg em grama batatais e capim tanzânia em Piracicaba-SP, Silva et al. (2007) encontraram coeficientes angulares de 0,54 e 0,53, respectivamente, ou seja, ocorreram perdas por processos de radiação de 36 e 37%. Heldwein et al. (2012b), estudando essa mesma relação em girassol, encontraram coeficientes angulares de 0,53. Já Fietz & Fisch (2009), estudando a relação entre Rn e Rg em Dourados-MS, encontraram coeficientes angulares de 0,435.

Após se obter as equações de regressão para o caupi ($R_{\text{nestimado}} = 0,7822 \cdot R_g$) e para a mamona ($R_{\text{nestimado}} = 0,5965 \cdot R_g$), foram obtidos valores diários de Rn para o caupi durante os períodos de 11/03 a 02/06/2003 (ciclo 2003.1) e 22/07 a 17/10/2003 (ciclo 2003.2) e para a mamona durante os períodos de 31/05 a 11/11/2005 e de 04/08 a 15/12/2009.

Independentemente da cultura, e consequentemente da localidade, existiu uma excelente concordância entre os valores medidos e estimados do Rn (Tabela 1), com elevados valores dos índices d (acima de 0,94) e c (acima de 0,90) e baixos valores de

RQME, indicando que existiu uma boa precisão nos valores de Rn estimados para as diferentes culturas e localidades.

Figura 2. Relação entre o saldo de radiação (Rn) e a radiação solar global (Rg) para as culturas de caupi em 2002 (A) e mamona em 2004 (B), cultivadas em Areia-PB.

Conforme o critério de interpretação do desempenho pelo índice "c", proposto por Camargo & Sentelhas (1997), todos os parâmetros avaliados foram enquadrados na categoria de desempenho estatístico "ótimo" ($c > 0,85$). Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (Silva et al., 2007; Kjaersgaard et al., 2009; Heldwein et al., 2012ab).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos do desempenho das equações de regressão linear simples utilizadas na estimativa do Rn em função da Rg para as culturas de caupi nos dois ciclos de cultivo de 2003 e da mamona para os anos de 2005 e de 2009, em Areia-PB e Garanhuns-PE.

Culturas	RQME ¹	Índice d	Índice c	Desempenho
Caupi 2003.1	0,75	0,99	0,97	Ótimo
Caupi 2003.2	0,70	0,98	0,96	Ótimo
Mamona 2005	0,83	0,98	0,97	Ótimo
Mamona 2009	0,81	0,94	0,90	Ótimo

1. RQME em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$

A comparação dos valores diários do Rn medido e estimado para o caupi (Figura 3) e a mamona (Figura 4) mostra que, na grande maioria dos dados, os valores do Rn medido e estimado tenderam a ficar muito próximo da linha 1:1, com coeficientes de determinação superiores a 0,92. O coeficiente de determinação (R^2) traz apenas informações sobre a precisão do modelo estatístico obtido, porém nada revela sobre a sua exatidão. Assim, pela determinação do índice d, observou-se alta exatidão para o modelo de estimativa do Rn em função da Rg, a qual foi expressa pelo valor do índice d acima de 0,94 (Tabela 1).

De acordo com Heldwein et al. (2012b), que estimaram o Rn em girassol em função da Rg, esses resultados tem elevada importância prática, visto que de forma geral, o Rn não é medido na maioria das estações meteorológicas, devido ao alto custo de aquisição e manutenção dos saldo radiômetros.

Figura 3. Comparação dos valores diários de Rn medido e estimado em função da Rg em caupi nos ciclos de 2003.1 (A) e 2003.2 (B), em Areia-PB.

Figura 4. Comparação dos valores diários de Rn medido e estimado em função da Rg em mamona cultivada no ano de 2005 em Areia-PB (A) e 2009 em Garanhuns-PE (B).

Com o intuito de verificar se as relações obtidas para caupi e mamona poderiam ser aplicadas em qualquer época do ano e em localidades diferentes, os dados de caupi nos cultivos de 2003.1 e de 2003.2, bem como os dados de mamona cultivados em Areia-PB (2005) e em Garanhuns-PE (2009), foram agrupados (Figura 5).

Figura 5. Comparação dos valores diários de Rn medido e estimado em função da Rg em caupi nos ciclos de 2003.1 e 2003.2 juntos, em Areia-PB (A) e de mamona em Areia-PB e em Garanhuns-PE juntos (B).

Do mesmo modo que nos cultivos isolados, verificou-se que quando se agrupou os dados de caupi (Figura 5A) e de mamona (Figura 5B) continuou existindo uma excelente concordância entre os valores medidos e estimados de Rn, com índices d acima de 0,98, RQME abaixo de 0,90 MJ m⁻² d⁻¹ e índices c acima de 0,95, com desempenho ótimo (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros estatísticos do desempenho das equações de regressão linear utilizadas na estimativa do Rn em função da Rg em caupi e mamona, com os dados agrupados.

Culturas	RQME ¹	Índice d	Índice c	Desempenho
Caupi juntos	0,74	0,99	0,96	Ótimo
Mamona juntos	0,83	0,98	0,95	Ótimo

1. RQME em MJ m⁻² d⁻¹

Portanto, a relação obtida para o caupi ($R_{\text{estimado}} = 0,7822 \cdot R_g$) pode ser usada em qualquer época do ano (caupi cultivado de março a outubro de 2003). Já para mamona, pode-se inferir que a relação usada para se estimar o Rn ($R_{\text{estimado}} = 0,5965 \cdot R_g$) obtida em uma localidade (Areia-PB) pode ser usada na outra (Garanhuns-PE), com condições climáticas semelhantes.

Conclusões

O saldo de radiação em feijão caupi pode ser estimado, com elevada acurácia e precisão, por meio da utilização da radiação solar global para as condições edafoclimáticas de Areia-PB. Em mamona pode ser usada uma mesma relação Rn/Rg para localidades diferentes, com condições climáticas semelhantes (Areia-PB e Garanhuns-PE).

A equação geral para se estimar o Rn em função da Rg para caupi foi $R_n = 0,7822 R_g$ ($R^2 = 0,9761$), e para a mamona foi $R_n = 0,5965 R_g$ ($R^2 = 0,9433$).

Agradecimentos

À Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado da Paraíba – FAPESQ (Termo de concessão 021/05, Edital 002/03 – FAPESQ/MCT/CNPq); e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processos N^{os} 556293/2006-1, 486128/2006-7 e 151494/2007-0), pela concessão de recursos financeiros e de bolsas ao primeiro e segundo autores.

Referências

- Borges Júnior, J. C. F.; Anjos, R. J.; Silva, T. J. A.; Lima, J. R. S.; Andrade, C. L. T. 2012. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 380-390.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agrologia – SUDENE. 1972. Levantamento exploratório – reconhecimento de solo do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. 670 p. (Boletim Técnico, 15).
- Camargo, A. P. de; Sentelhas, P. C. 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, p. 89-97.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de solos, 306p.
- Fietz, C. R.; Fisch, G. F. 2009. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p. 449-453.
- Gouveia Neto, G. C.; Lima, J. R. S.; Antonino, A. C. D.; Silva, J. M.; Souza, C.; Silva, I. F. 2011. Estimativa da evapotranspiração da mamona e seus componentes (evaporação e transpiração) na microrregião do Brejo Paraibano. *Irriga*, v. 16, p. 246-258.
- Heldwein, A. B.; Maldaner, I. C.; Bosco, L. C.; Trentin, G.; Grimm, E. L.; Radons, S. Z.; Lucas, D. D. P. 2012a. Saldo de radiação diurno em dosséis de batata como função da radiação solar global. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 96-104.
- Heldwein, A. B.; Maldaner, I. C.; Radons, S. Z.; Loose, L. H.; Lucas, D. D. P.; Hinnah, F. D. 2012b. Estimativa do saldo de radiação em girassol como função da radiação solar global. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 194-199.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2011. Censo Agropecuário de 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/default.shtm>. Acesso em 01/05/2011.
- Kjaersgaard, J. H.; Cuenca, R. H.; Martínez-Cob, A.; Gavilán, P.; Plauborg, F.; Møllerup, M.; Hansen, S. 2009. Comparison of the performance of net radiation calculation models. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 98, p. 57-66.
- Lima, J. R. S.; Antonino, A. C. D.; Lira, C. A. B. O.; Souza, E. S.; Silva, I. F. 2011. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 65-74.
- Lima, J. R. S.; Antonino, A. C. D.; Soares, W. A.; Souza, E. S.; Lira, C. A. B. O. 2006. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 1, p. 89-95.
- Moroke, T. S.; Schwartz, R. C.; Brown, K. W.; Juo, A. S. R. 2011. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. *Soil & Tillage Research*, v. 112, p. 76-84.
- Oliveira, I. A.; Lima, J. R. S.; Silva, I. F.; Antonino, A. C. D.; Gouveia Neto, G. C.; Lira, C. A. B. O. 2009. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 4, p. 185-191.
- Samani, Z.; Bawazir, A. S.; Bleiweiss, M.; Skaggs, R.; Tran, V. D. 2007. Estimating daily net radiation over vegetation canopy through remote sensing and climatic data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, p. 291-297.

Santos, M. A.; Camargo, M. B. P. 2006. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 65, p. 173-183.

Sentelhas, P. C.; Nascimento, A. L. C. 2003. Variação sazonal da relação entre o saldo de radiação e a irradiância solar global. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 18, p. 71-77.

Silva, J. M.; Lima, J. R. S.; Gouveia Neto, G. C.; Souza, E. S.; Silva, I. F.; Souza, C. 2008. Estimativa da Evapotranspiração da Mamona (*Ricinus communis* L.) pelo Método do Balanço Hídrico. In: Bezerra, V. B. (Ed). XV Encontro de Iniciação Científica da UFPB. João Pessoa: Editora Universitária, Cap. 8, p. 99-111.

Silva, L. D. B.; Folegatti, M. V.; Nova, N. A. V.; Carvalho, D. F. 2007. Relações do saldo de radiação em grama batatais e capim tanzânia com a radiação solar global em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 15, p. 250-256.

Willmott, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, J. J.; Feddema, K. M.; Klink, D. R. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, p. 8995-9005.