

MODELO PARA A ESTIMATIVA DA IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL EM PETROLINA, PE

JÚLIO CÉSAR FERREIRA DE MELO JÚNIOR¹, DANIEL MARIANO LEITE², NEITON SILVA MACHADO³, FLÁVIO APARECIDO GONÇALVES⁴

¹ Engenheiro Agrícola, Prof. Associado II, Universidade Federal do Vale do São Francisco, julio.melo@univasf.edu.br

² Lic. Ciências Agrícolas, Prof. Adjunto A, Universidade Federal do Vale do São Francisco, daniel.mariano@univasf.edu.br

³ Engenheiro Agrícola, Prof. Adjunto II, Universidade Federal do Vale do São Francisco, neiton.machado@univasf.edu.br

⁴ Engenheiro Agrícola, Prof. Adjunto IV, Universidade Federal de Alfenas, flavio.goncalves@unifal-mg.edu.br

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: A irradiância solar global (R_g) é de fundamental importância para a agricultura influenciando diretamente a fotossíntese e a energia disponível para a dinâmica dos fluxos de calor e massa que ocorrem na atmosfera. Neste contexto a obtenção desse elemento é essencial se dá de forma direta ou indireta, utilizando equações que levam em consideração coeficientes de transmitância global que devem ser determinados para épocas e locais específicos. Diante do exposto teve-se como objetivo avaliar a influência dos elementos, temperaturas máxima e mínima do ar, umidades relativas máxima e mínima do ar e irradiância solar extraterrestre, na estimativa da “ R_g ” e ajustar modelos para estimativa local, para os meses. O trabalho foi desenvolvido para Petrolina, PE, utilizando dados diários da estação meteorológica da UNIVASF. Os resultados do modelo de regressão linear múltipla proposto para a estimação da irradiância solar global, a partir de elementos meteorológicos obtidos a baixo custo, não apresentaram ajustes adequados para a maioria dos meses do ano, embora para os meses de março, abril e maio, observaram-se coeficientes de determinação ajustados superiores a 72,9%. Os elementos temperatura mínima do ar e umidades relativa máxima e mínima do ar apresentaram elevada correlação negativa com a variável dependente.

PALAVRAS-CHAVE: transmitância global, análise de regressão, temperatura do ar

MODEL FOR ESTIMATING GLOBAL SOLAR IRRADIANCE PETROLINA, PE

ABSTRACT: The global solar irradiance (R_g) is of fundamental importance to agriculture directly influencing photosynthesis and energy available to the dynamics of the flows of heat and mass transfer occurring in the atmosphere. In this context the achievement of this element is essential occurs directly or indirectly using equations that take into account global transmittance coefficients that must be determined for specific times and locations. Given the above had as aimed at evaluating the influence of the elements, maximum and minimum air temperature, maximum and minimum relative humidity of the air and extraterrestrial solar irradiance, the estimated " R_g " and adjust models for location estimation for months. The work was developed to Petrolina, PE, using daily data from the weather station UNIVASF. The results of the multiple linear regression model proposed for the estimation of global solar irradiance from meteorological data obtained at low cost, did not show proper adjustments for most months of the year, while for the months of March, April and May, were observed adjusted determination coefficients greater than 72.9%. The minimum air temperature elements and maximum and minimum air relative humidities showed high negative correlation with the dependent variable.

KEYWORDS: global transmittance, regression analysis, air temperature

INTRODUÇÃO: A irradiância solar global “ R_g ”, ou também denominada de densidade de fluxo de radiação solar que atinge um plano horizontal na superfície terrestre é de fundamental importância para a agricultura, influenciando diretamente a fotossíntese, o planejamento de instalações para o aproveitamento da energia solar e fundamentalmente na energia disponível para a dinâmica dos fluxos de calor e massa que ocorrem na baixa atmosfera. Neste contexto, a obtenção desse elemento é essencial se dá de forma direta ou indireta utilizando equações que levam em consideração a insolação e coeficientes empíricos que são utilizados no cálculo da transmitância global, e que devem ser determinados de forma específica para as épocas e localidades em que se deseja realizar a estimativa do elemento. A medição direta da “ R_g ” exige a utilização de sensores, como: radiômetros fotodiodo de silício, ou piranômetros de termopilha, que são equipamentos de elevado custo, além de necessitarem de “data loggers” que realizam o armazenamento das informações coletadas (ESTEFANEL et al., 1990). Ademais, a determinação da “ R_g ” necessita de profissionais especializados para coleta e manutenção dos equipamentos, o que muitas vezes torna-se inviável sua determinação para as diversas aplicações na agricultura. Deste modo, destaca-se a importância dos modelos para a estimativa da “ R_g ” a partir de elementos meteorológicos que são obtidos com baixo custo, como: temperatura, umidade relativa e irradiância extraterrestre (PEREIRA et al., 2002; ELAGIB & MANSELL, 2000; SAMANI, Z. et al., 2000; ALLEN et al., 1998; SANTOS, R., 1983). Diante do exposto teve-se como objetivo avaliar a influência dos elementos, temperaturas máxima e mínima do ar, umidades relativas máxima e mínima do ar e irradiância solar extraterrestre, na estimativa da “ R_g ” e ajustar modelos para estimativa local, para os meses.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido utilizando-se a série de dados da estação meteorológica automática do campus de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizada a latitude de 9°19’28” S, longitude de 40°33’34” W e altitude de 393 metros. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo BSh', seco de estepe muito quente, apresentando valores anuais de 26,5°C para temperatura média do ar, 541,1 mm para precipitação pluviométrica total, 65,9% para umidade relativa média do ar, 2.500 mm ano⁻¹ para evaporação do tanque classe "A", 2,3 m s⁻¹ para velocidade do vento e insolação total anual superior a 3.000 horas (AZEVEDO et al., 2006). Os elementos meteorológicos utilizados para os ajustes dos modelos foram a irradiância solar global e a incidente em uma superfície horizontal no topo da atmosfera, temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa máxima e mínima do ar. Para a estimativa da irradiância diária incidente em uma superfície horizontal no topo da atmosfera (R_o), da declinação do solar (δ), do ângulo horário do nascer e pôr-do-sol (H) e distância relativa terra-sol $(d/D)^2$ foram utilizadas as equações descritas por Vianello & Alves (2013). Os modelos ajustados são equações de regressão linear múltipla conforme apresentado pela Equação 1.

$$R_{g_i} = a_i + b_i \times T_{x_i} + c_i \times T_{n_i} + d_i \times UR_{x_i} + e_i \times UR_{n_i} + f_i \times R_{o_i} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que,

R_g = Irradiância solar global, MJ m⁻² d⁻¹; T_x = Temperatura máxima do ar, °C; T_n = Temperatura mínima do ar, °C; UR_x = umidade relativa máxima do ar, %; UR_n = umidade relativa mínima do ar, %; R_o = Irradiância solar no topo da atmosfera, MJ m⁻² d⁻¹; a, b, c, d, e, f, são coeficientes da combinação linear, e i variando de 1 a 12, representam os meses.

O comportamento dos modelos ajustados para a estimativa da “ R_g ” foi avaliado em dois anos por meio dos indicadores dos erros médio absoluto e relativo, coeficiente de correlação, índices de concordância e de confiança conforme proposta de Camargo & Sentelhas (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 estão apresentados os coeficientes dos modelos ajustados para a estimativa da irradiância solar global com os, respectivos, coeficientes de determinação ajustados. Observa-se que os valores dos coeficientes de determinação ajustados variaram entre 31 a 75,6%, representando as condições de variabilidade dos elementos meteorológicos diários para a estimativa da irradiância solar global. Embora, para a maioria dos modelos os ajustes não se apresentam adequados para ser utilizado na estimativa da irradiância solar global, pôde-se observar a elevada correlação negativa existente entre os elementos: temperatura mínima do ar, umidades relativa máxima e mínima do ar. Essa constatação foi confirmada pela análise de componentes principais. Chama-se a atenção em relação a esta constatação, pois a maioria dos

modelos que estimam a irradiância solar global negligencia essa condição. Além disso, o elemento temperatura máxima do ar apresentou-se com baixa correlação para a maioria dos modelos ajustados. A proposta de utilização do modelo linear múltiplo para a estimação visa à possibilidade de obter um elemento meteorológico de elevado custo, por meio de elementos de fácil aquisição como são as temperaturas e umidades relativas. Ainda, existe uma escassez de informações na literatura que buscam a obtenção da irradiância solar global utilizando modelos que a representem eficientemente utilizando apenas informações de temperatura e umidade relativa do ar. A maioria dos trabalhos que obtiveram sucesso nos ajustes dos modelos para a estimação da irradiância solar global utiliza a clássica equação proposta por Angström-Prescott (ESTEFANEL et al., 1990; SAHIN & SEN, 1998; SANTOS, R., 1983), que necessita também de uma informação que, atualmente, sua obtenção apresenta-se com elevado custo, que é a insolação, obtida por intermédio do heliógrafo de Campbell-Stokes. Apenas os modelos ajustados para os meses de março, abril, maio, setembro e outubro estão aptos a serem utilizados na estimação diária da irradiância solar global, tendo em vista os menores valores do erro médio relativo que foram observados (Tabela 2).

Tabela 1. Coeficientes dos modelos ajustados para a estimação da irradiância solar global com os respectivos coeficientes de determinação ajustados

Mês	a	b	c	d	e	F	R ² _{ajs}
Janeiro	-377.534**	0.248ns	-0.793**	-0.0403ns	-0.306**	10.699**	42,9
Fevereiro	116.407**	-0.0084ns	-1.215**	-0.190**	-0.318**	-1.075**	65,0
Março	36.025**	0.423**	-1.161**	-0.108**	-0.219**	0.349ns	73,2
Abril	27.963**	0.0616ns	-0.463**	-0.143**	-0.253**	0.597**	75,6
Maio	21.461**	0.0758ns	-0.486**	-0.131**	-0.270**	0.773**	72,9
Junho	7.775ns	0.260ns	-0.454**	-0.116**	-0.260**	0.940ns	67,6
Julho	40.812**	0.347ns	-0.540**	-0.166**	-0.279**	-0.034ns	62,5
Agosto	29.289**	0.149ns	-0.613**	-0.201**	-0.281**	0.670**	43,4
Setembro	55.485**	-0.639**	-0.961**	-0.169**	-0.488**	0.867**	51,6
Outubro	-29.403ns	0.0119ns	-0.797**	-0.112*	-0.290**	2.201**	50,3
Novembro	58.201ns	0.216ns	-0.295ns	0.00818ns	-0.312**	-0.741ns	31,0
Dezembro	-343.228ns	0.532ns	-0.987**	-0.114**	-0.274**	9.853ns	59,1

**significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; e ns não significativo.

A Tabela 2 apresenta o desempenho dos modelos ajustado para a estimação da “R_g” por meio dos indicadores dos erros médio absoluto (EMA) e relativo (EMR), coeficiente de correlação (r), índices de concordância (d) e de confiança (c) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). Observa-se que o indicador EMA, que apresenta a magnitude dos erros, variou entre 2,25 a 4,42 MJ m⁻² d⁻¹, tendo os maiores valores ocorrido no final da primavera e durante o verão. Já para o EMR observou-se valores variando entre 11,2 e 19%, sendo a maior margem de erro encontrada para o mês de dezembro. Outra informação que se pode constatar, é que para a maioria dos meses, os resultados do “r” estão acima de 0,7 e os valores do índice “d” apresentam-se abaixo de 0,4, o que nos leva a concluir em relação ao erro que predomina na maioria dos modelos é o sistemático.

Tabela 2. Desempenho dos modelos ajustados para a estimação da irradiância solar global por meio dos erros médio absoluto (EMA), relativo (EMR), coeficiente de correlação (r), índices de concordância (d) e confiança (c)

Mês	EMA	EMR (%)	r	d	c
Janeiro	4,42	16,1	0,623	0,422	0,263
Fevereiro	3,18	14,6	0,816	0,189	0,155
Março	2,83	12,0	0,739	0,236	0,174
Abril	2,38	11,6	0,842	0,121	0,102
Maio	2,25	12,6	0,778	0,290	0,225
Junho	2,68	14,6	0,556	0,318	0,177
Julho	3,01	15,6	0,723	0,284	0,206
Agosto	2,97	13,7	0,791	0,247	0,196
Setembro	2,67	11,2	0,743	0,245	0,182
Outubro	2,58	10,2	0,836	0,209	0,175
Novembro	3,31	13,6	0,843	0,205	0,173
Dezembro	4,15	19,0	0,907	0,146	0,132

CONCLUSÕES: Com base nos resultados obtidos conclui-se que o modelo de regressão linear múltipla proposto para a estimação da irradiância solar global, a partir de elementos meteorológicos obtidos a baixo custo, não apresentou ajuste adequado para a maioria dos meses do ano, embora para os meses de março, abril e maio, observaram-se coeficientes de determinação ajustados superiores a 72,9%. Os elementos temperatura mínima do ar e umidades relativa máxima e mínima do ar apresentaram elevada correlação negativa com a variável dependente, e o erro que mais se destacou na estimação da maioria dos modelos obtidos foi de predominância sistemática.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56).
- AZEVEDO, P. V.; SOUSA, I. F.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*cocos nucifera* L.) orchards in Northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v.1, n.84, p.259-264, 2006.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. 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, 1997.
- ELAGIB, N.A.; MANSELL, M.G. New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. *Energy Conservation and Management*, v.41, p.419-434, 2000.
- ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BERLATO, M. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: I – Estimativa da irradiação solar incidente a partir de dados de insolação. *Rev. Centro de Ciências Rurais*, v.20, n.3-4, p.203-218, 1990.
- PEREIRA, A. B.; VRISMAN, A. L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. *Scientia Agricola*, v.59, n.2, p.211-216, 2002.
- SAHIN, A.D.; SEN, Z. Statistical analysis of the Angström formula coefficients and application for Turkey. *Solar Energy*, v.62, p.29-38, 1998.
- SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.126, n.4, p.265-267, 2000.
- SANTOS, R.; ANDRÉ, R.G.B.; VOLPE, C.A. Estimativa da radiação solar global em Jaboticabal, SP. *Científica*, v.11, p.31-39, 1983.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. 2ªEd. Viçosa: UFV, 2013. 460p.