

# ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR BASEANDO-SE NA TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR PARA A REGIÃO NOROESTE DE MINAS GERAIS

RAFAEL R. FINZI<sup>1</sup>, CLÁUDIO R. SILVA<sup>2</sup>, FÁBIO J. CARVALHO<sup>3</sup>, HEYDER F. NASCIMENTO<sup>3</sup>, LUCAS A. BARBOSA<sup>3</sup>, MARCO TÚLIO<sup>3</sup> G. PAULA, VALDINEY J. SILVA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Bolsista PET/MEC, Fone (34) 9143 2635, rafaelfinzi@hotmail.com.

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Prof.Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG

<sup>3</sup>Graduandos em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

<sup>4</sup>Mestrando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011  
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

**RESUMO:** A radiação solar é um dos principais elementos responsáveis pela manutenção da vida de todos os seres vivos no planeta. No entanto, nem todas as estações meteorológicas dispõem de equipamentos necessários para medi-la, sendo necessário estimá-la através de métodos empíricos. No seguinte estudo foram escolhidas quatro estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para representar a região climática Noroeste de Minas Gerais, no período de 2008 a 2010. Com base nesses dados, foram testadas e calibradas 6 equações que utilizam temperatura máxima e mínima do ar para estimar a radiação solar global. Os melhores resultados obtidos foram para os modelos de Bristow e Campbell e Donatelli e Campbell, com margem de erro médio de  $3,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para a radiação solar estimada.

**PALAVRAS CHAVE:** calibração; piranômetro; modelo empírico.

## ESTIMATION OF SOLAR RADIATION BASED ON MAXIMUM AND MINIMAL AIR TEMPERATURE IN THE NORTHWEST REGION OF MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** Solar radiation is a major component responsible for maintaining the life of all living beings on the planet. However, not all weather stations have the equipment necessary to measure it and then, it is necessary to make an estimative through empirical methods. In this study were used four meteorological stations, belonging to the National Institute of Meteorology (INMET) to represent the climatic region Northwest of Minas Gerais in the period from 2008 to 2010. Based on these data, we tested 6 equations that used maximum and minimum air temperature for to estimate the global solar radiation. The best results were obtained for the models of Bristow and Campbell and Donatelli and Campbell, with average margin of error of  $3,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  for the estimated solar radiation.

**KEYWORDS:** calibration, pyranometer, empirical model.

**INTRODUÇÃO:** A radiação solar é a principal fonte de energia responsável pelos processos físicos e biológicos que acontecem na Terra, sendo elemento primordial para o processo de fotossíntese e, conseqüentemente, pela vida de todos os seres vivos no planeta. Influencia outros processos ecológicos e ambientais relacionados à temperatura do ar e do solo, afetando a transferência de calor por meio da evaporação e transpiração (PEREIRA et al., 2002). Com o intuito de obter um valor mais próximo do real sem a utilização de instrumentos de medida, tais como piranômetros ou actinômetros, alguns pesquisadores desenvolveram métodos empíricos que estimam o valor da radiação solar global através de variáveis facilmente disponíveis nas estações meteorológicas, como a temperatura do ar. Baseado no que foi exposto, o trabalho teve como objetivo calibrar e analisar o desempenho dos modelos Bristow e Campbell (1984), Donatelli e Campbell (1998), Hargreaves (1981), Annandale et al. (2002), Chen et al. (2004) e Hunt et al. (1998), para a região Noroeste de Minas Gerais.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado a partir dos dados coletados nas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 2008 a 2010, no qual são armazenados e disponíveis no endereço eletrônico <http://www.inmet.gov.br> de responsabilidade da própria instituição federal. A região no qual foram submetidos os estudos de calibração e performances dos modelos foi Noroeste de Minas, que engloba as cidades listadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Localização geográfica das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a serem utilizadas no estudo.

Ordem	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude	Período	Omissões (%)
1	Buritis	-15,52°	-46,43°	894 m	2008 e 2010	0,96
2	Guarda-Mor	-17,56°	-47,19°	616 m	2009 e 2010	1,23
3	João Pinheiro	-17,78°	-46,11°	870 m	2008 e 2009	1,23
4	Unai	-16,55°	-46,88°	631 m	2008 e 2009	1,23

Os dados inicialmente reportados em intervalos horários foram contabilizados para valores diários, obtendo-se os valores de temperatura máxima e mínima e total diário de radiação solar incidente na superfície do solo. Logo em seguida, os mesmos foram submetidos a uma triagem para verificar a integridade e coerência dos dados. Para tanto foi utilizado o critério de eliminação feito por Liu et al. (2009), em que, a) dados ausentes para qualquer um dos elementos  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$  ou  $Q_g$ ; b)  $T_{máx} < T_{mín}$ ; c)  $Q_g/Q_o > 1$ . A porcentagem de omissões foi calculada dividindo os dados diários perdidos pelo total de dias do período considerado, e estão apresentados na Tabela 1. Dentro do período analisado, um ano foi usado na calibração dos coeficientes e o outro na avaliação do desempenho dos modelos. O critério de escolha foram os anos que apresentaram as menores porcentagens de omissões. Os modelos empíricos utilizados estão listados na Tabela 2. O ajuste dos coeficientes dos modelos foi realizado a partir do método dos mínimos quadrados da diferença entre os valores observados e estimados. Para avaliar o desempenho dos modelos empíricos foram utilizadas ferramentas estatísticas como: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear, isto é, o grau de dispersão dos valores em torno da média que verifica a precisão dos dados, indicando a aproximação dos valores estimados com os medidos; e a raiz quadrada média do erro (RQME).

**Tabela 2.** Resumo dos modelos estudados.

Modelo n°.	Equação	Coefficientes	Fonte
1	$Qg = a \times (1 + 2,7 \times 10^{-5} \times Alt) \times \sqrt{\Delta T_1} \times Qo$	$a$	Annandale et al. (2002)
2	$Qg = a \times (1 - \exp(-b \times \Delta T_2^c)) \times Qo$	$a, b, c$	Bristow e Campbell (1984)
3	$Qg = (a \times \sqrt{\Delta T_1} + b) \times Qo$	$a, b$	Chen et al. (2004)
4	$Qg = a \times \left(1 - \exp\left(-b \times \frac{\Delta T_2^c}{\Delta T_m}\right)\right) \times Qo$	$a, b, c$	Donatelli e Campbell (1998)
5	$Qg = a \times \sqrt{\Delta T_1} \times Qo$	$a$	Hargreaves (1981)
6	$Qg = a \times \sqrt{\Delta T_1} \times Qo + b$	$a, b$	Hunt et al. (1998)

Em que:  $Qg$  – Irradiância terrestre global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $Qo$  – Irradiância solar extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $Alt.$  – Altitude do local (m);  $\Delta T_1$  – Diferença entre a temperatura máxima e a mínima do dia ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\Delta T_2$  – Diferença entre a temperatura máxima e a média da temperatura mínima dos dois dias consecutivos ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\Delta T_m$  – Média mensal de  $\Delta T_2$ .

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 3 estão representados os coeficientes calibrados para os diferentes modelos em função das cidades da região Noroeste de Minas Gerais. Valores aproximados de coeficientes para os mesmos modelos também foram encontrados por Liu et al. (2009) e Donatelli et al. (1998).

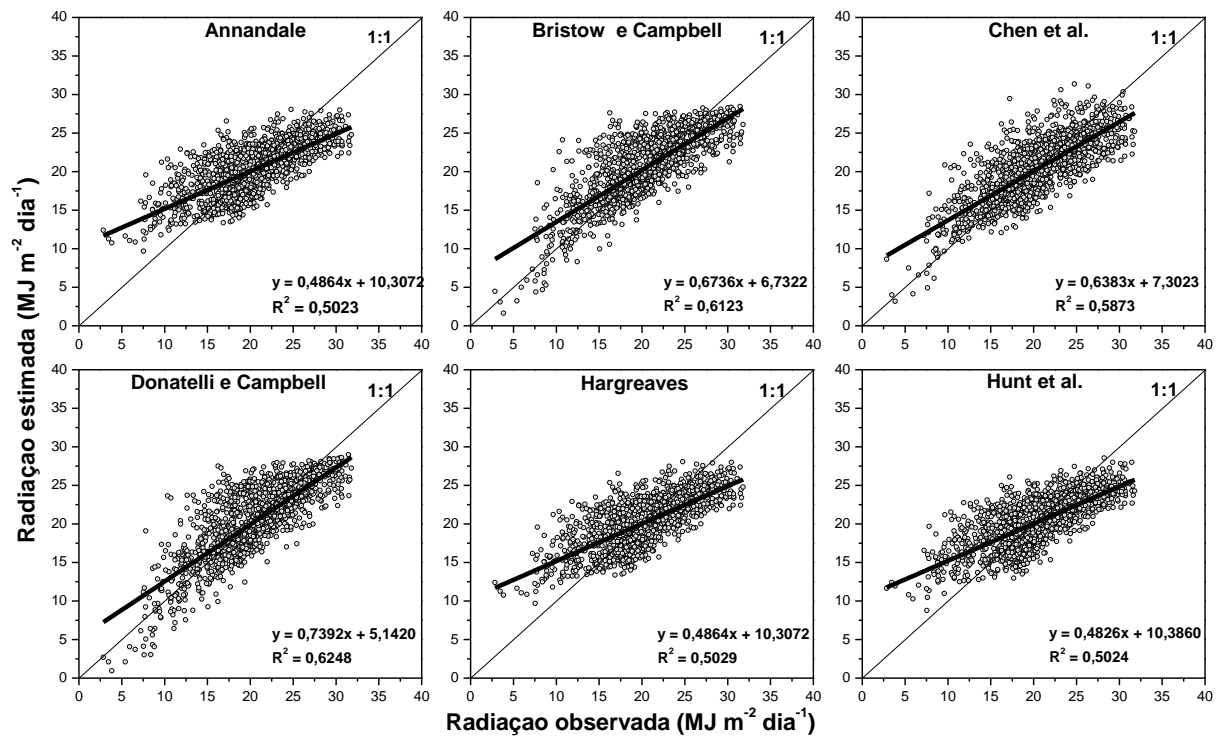
**Tabela 3.** Resumo dos coeficientes calibrados para a região Noroeste de Minas Gerais.

Eq.	1	2			3		4			5	6	
Cidade	$a$	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$a$	$b$	$c$	$a$	$a$	$b$
Buritis	0,181	0,707	0,007	2,470	0,297	-0,351	0,693	0,022	2,999	0,186	0,170	1,774
Guarda-Mor	0,165	0,747	0,016	1,877	0,269	-0,339	0,711	0,074	2,275	0,167	0,182	-1,777
João Pinheiro	0,179	0,708	0,014	2,139	0,288	-0,330	0,691	0,047	2,632	0,183	0,161	2,499
Unai	0,163	0,723	0,016	1,910	0,220	-0,193	0,726	0,062	2,340	0,166	0,181	-1,905

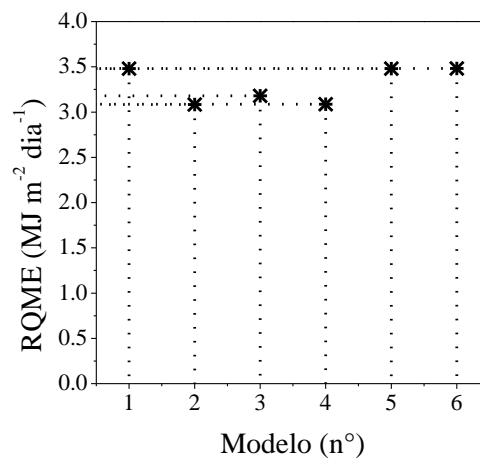
\*em que: Annandale (1), Bristow e Campbell (2), Chen (3), Donatelli e Campbell (4), Hargreaves (5) e Hunt (6).

Análises de regressão linear envolvendo coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos empíricos. Como se pode ver na Figura 1, o gráfico que apresenta o melhor resultado para o coeficiente de determinação, apontando o quanto do coeficiente que é devido à variabilidade dos valores estimados, é o modelo de Donatelli e Campbell, seguido pelo modelo de Bristow e Campbell, com  $R^2$  de 0,62 e 0,61 respectivamente. A pequena diferença de precisão resultante desses dois modelos pode indicar o aperfeiçoamento da nova versão que Donatelli e Campbell propuseram para o modelo de Bristow e Campbell, cuja alteração foi a relação  $\Delta T_2^c / \Delta T_m$ . Liu et al. (2009), verificaram que a modificação do modelo em geral não foi muito eficaz, apresentando pouca ou nenhuma melhora em relação ao modelo original. Além disso, foi observado que todos os modelos superestimam a radiação solar global até em média 18MJ, tendo uma tendência de logo em seguida, subestimar todos os valores. Isto se deve provavelmente a concentração dos dados em torno deste valor ao longo do ano, que favoreceu a baixa presença de valores extremos, principalmente abaixo deste valor. Apesar de ser uma adaptação do modelo de Hargreaves, o modelo de Annandale foi o que apresentou o resultado menos favorável, com  $R^2$  de 0,50, seguidos pelos modelos de Hunt e o original Hargreaves. Já o modelo de Chen apresentou uma melhora em relação ao modelo de Hargreaves, com  $R^2$  de 0,58. O RMQE ilustrado na Figura 2 demonstra que os modelos de Bristow e Campbell e Donatelli e Campbell, novamente, apresentaram os melhores resultados, com o menor erro médio das diferenças entre valores estimados e medidos. Desempenho semelhante desses modelos também foram

encontrados por Liu et al. (2009). Mesmo para os modelos com menores RMQE, os valores encontrados estão próximos aos encontrados na literatura (Chen et al. 2004) e considerando que os dados de temperatura são mais fáceis de serem obtidos, para os estudos que não requerem grande exatidão na estimativa da radiação solar incidente na superfície, esses modelos tornam-se atrativos de utilização, principalmente pela simplicidade de cálculo.



**Figura 1.** Radiação solar global medida em função da radiação solar estimada utilizando todos os modelos empíricos testados para a região Noroeste de Minas Gerais.



**Figura 2.** Raiz Quadrada do Erro Médio (RMQE) em função dos modelos empíricos na região Noroeste de Minas Gerais, em que: Annandale (1), Bristow e Campbell (2), Chen (3), Donatelli e Campbell (4), Hargreaves(5) e Hunt (6).

**CONCLUSÃO:** Para os modelos avaliados, os modelos de Donatelli e Campbell e Bristow e Campbell apresentaram as melhores estimativas da radiação incidente diária com erros próximos de  $3,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNANDALE, J.G.; JOVANIC, N.Z.; BENADE, N.; ALLEN, R.G. Software for missing data error analysis of Penman–Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, v.21,p57–67, 2002.

BRISTOW, K.L., CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, p.159-166, 1984.

CHEN, R.S.; ERSI, K.; YANG, J.P.; LU, S.H.; ZHAO, W.Z. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. *Energy Conversion and Management*,v.45, n.1759–1769, 2004.

DONATELLI, M.; CAMPBELL, G.S. **A simple model to estimate global solar radiation**. In: *Proceedings of 5th Congress of the European Society for Agronomy*, 1998, Nitra, Slovakia Republic, 28 June–2 July 1998.

HARGREAVES, G.H. **Responding to tropical climates**. In: *The 1980–81 Food and Climate Review*, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo, pp. 29–32. 1981.

HUNT, L.A.; KUCHAR, L. SWANTON, C. J. Estimation of solar radiation for use in crop modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, n.3-4, 1 p. 293-300, 1998.

LIU,X.;MEI,X.;LI,Y.; ZHANG;Y.; WANG,Q.; JENSEN,R.J.; PORTER,J.R. Calibration of the Angstrom-Prescott coefficients (a, b) under different timescales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.697–710, 2009a.

PEREIRA, A.R.; Angelocci, R.L, Sentelhas, P, C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba - RS: Livraria e Editoria Agropecuária Ltda. 2002, 478 p.