

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR COM BASE NA TEMPERATURA DO AR NA REGIÃO SUL, SULDESTE, OESTE DE MINAS E CAMPO DAS VERTENTES.

LUCAS A. BARBOSA¹, CLÁUDIO R. SILVA², MARCO TÚLIO G. PAULA³ VALDINEY J. SILVA⁴ RAFAEL R. FINZI⁵, FÁBIO J. CARVALHO³, HEYDER F. NASCIMENTO³.

¹Graduandos em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Fone 34- 9997-0706
lucasnvsd@hotmail.com.

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

³Graduandos em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG

⁴ Mestrando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

⁵ Graduando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Bolsista PET/MEC.

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

RESUMO: Além de ser a maior fonte de energia da Terra, a radiação solar está ligada diretamente ao regime pluviométrico, ao fotoperíodo, a evapotranspiração e a temperatura do ar. Entretanto, mesmo sendo tão importante o acompanhamento da radiação solar, muitas estações meteorológicas não estão equipadas com o piranômetro. Diante desse quadro, este trabalho objetivou comparar 6 modelos de estimativa da radiação solar para as regiões Sul, Sudeste de Minas, Oeste de Minas e Campo das Vertentes a partir de dados da temperatura do ar. Os dados meteorológicos foram obtidos das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo de Bristow e Campbell apresentou melhor performance tendo menor erro, com RQME de 2,8 MJm⁻²d⁻¹, já os modelos de Chen et al. e Donatelli e Campbell, apresentaram erro um pouco maior que com RQME de 3,1 e 3,3 MJm⁻²d⁻¹ respectivamente, e os modelos de Annandelli, Hargreaves e Hunt et al. obtiveram os maiores erros.

PALAVRAS-CHAVE: parâmetros meteorológicos; Hunt; calibração.

ABSTRACT: Besides being the largest source of energy on earth, the solar radiation is directly related to rainfall, the photoperiod, evapotranspiration and air temperature. However, even being so important to monitor solar radiation, many weather stations are not equipped with the pyranometer. Given this situation, this study compares six models for estimating solar radiation for the south, southeast of Mines, Western Mining and Field of slopes from the data of air temperature. The meteorological data were obtained from the stations of the National Institute of Meteorology (INMET). Based on these results, we can conclude that the model of Bristow and Campbell showed better performance with less error, RMSE of 2.8 MJ m⁻² d⁻¹, since the models of Chen et al. and Donatelli and Campbell, had a little error with RMSE greater than 3.1 and 3.3 MJM-2d-1 respectively, and model Annandelli, Hargreaves and Hunt et al. had the biggest mistakes.

KEYWORDS: meteorological parameters; Hunt; calibration.

INTRODUÇÃO: Sabemos que a energia irradiada pelo Sol é de suma importância para o aquecimento da terra e do ar, formando zonas de alta e de baixa pressão, fazendo com que ocorram movimentos atmosféricos indispensáveis para o regime pluviométrico. Desse modo, a radiação solar configura-se como um dos parâmetros meteorológicos mais importantes e que merece atenção especial. Mesmo sendo um parâmetro meteorológico relevante, muitas estações meteorológicas não dispõem de um piranômetro (equipamento que mede a radiação solar). Assim, muitos estudiosos começaram a pesquisar formas de encontrar valores, a partir de equações baseadas em elementos meteorológicos presentes nas estações e de fácil obtenção (Meza e Vara, 2000). Hargreaves (1981) e Bristow & Campbell (1984) propuseram e testaram com sucesso modelos baseados na temperatura do ar. Posteriormente, novas modificações e adaptações foram propostas a esses modelos. Entretanto, a maioria necessita de calibração e uma análise avaliativa de sua eficácia. Assim, o objetivo deste trabalho é averiguar qual o modelo que melhor se aproxima dos valores medidos das estações presentes nas regiões Sul e Sudeste de Minas, Oeste de Minas e Campo das Vertentes.

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 respectivamente a região Sul e Sudeste de Minas, Oeste de Minas e Campo das Vertentes que engloba as cidades listadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 1.



Figura 1. Localização das cidades da região Sul, Sudeste, Oeste e Campo das Vertentes em Minas Gerais. Desenho sem escala.

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) $Q_g/Q_o > 1$.

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	Barbacena	-21,21°	-43,76°	1164m	2008-2010	2,74
2	Caldas	-21,91°	-46,38°	1070m	2009-2010	0,68
3	Formiga	-20,45°	-45,45°	878m	2009-2010	0,96
4	Maria da Fé	-22,31°	-45,37°	1278m	2009-2010	0,82
5	Passa Quatro	-22,39°	-44,96°	920m	2009-2010	0,00
6	São João Del-Rei	-21,10°	-44,25°	991,0m	2009-2010	0,68
7	Varginha	-21,56°	-45,40°	925,0m	2009-2010	0,68

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.

Tabela 2. Resumo dos modelos estudados.

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

Em que: Qg – Irradiância terrestre global ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); Qo – Irradiância solar extraterrestre ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); $Alt.$ – Altitude do local (m); $\Delta T1$ – Diferença entre a temperatura máxima e a mínima do dia ($^{\circ}C$); $\Delta T2$ – Diferença entre a temperatura máxima e a média da temperatura mínima dos dois dias consecutivos ($^{\circ}C$); ΔTm – Média mensal de $\Delta T2$. O ajuste dos coeficientes dos modelos foi realizado a partir do método dos mínimos quadrados da diferença entre os valores observados e estimados. Também foram utilizadas outras ferramentas estatísticas como: regressão linear, coeficiente de determinação e Raiz Quadrada Média do Erro (RQME).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os coeficientes calculados, se encontram na Tabela 3.

Tabela 3: Coeficientes dos modelos utilizados. 1) Annandale et al., 2) Bristow and Campbell, 3) Chen et al., 4) Donatelli e Campbell, 5) Hargreaves, 6) Hunt et al.

Modelo	1			2		3		4			5	6	
	a	a	b	c	a	b	a	b	c	a	a	b	
Barbacena	0,152	0,861	0,023	1,578	0,287	-0,408	0,862	0,196	1,578	0,156	0,167	-1,225	
Maria da Fé	0,143	0,924	0,023	1,436	0,262	-0,388	0,924	0,216	1,436	0,147	0,171	-2,836	
São Joao Del Rei	0,148	0,750	0,022	1,648	0,251	-0,330	0,710	0,134	1,939	0,152	0,189	-4,334	
Varginha	0,151	1,001	0,027	1,374	0,264	-0,357	1,000	0,241	1,374	0,155	0,168	-1,561	
Caldas	0,141	0,752	0,017	1,705	0,233	-0,304	0,752	0,157	1,705	0,145	0,191	-5,532	
Formigas	0,160	0,671	0,014	2,032	0,247	-0,275	0,671	0,130	2,032	0,164	0,219	-6,442	
Passa Quatro	0,156	0,760	0,021	1,728	0,255	-0,310	0,760	0,176	1,728	0,160	0,180	-2,284	

Como podemos observar na Figura 2, todos os modelos avaliados estão superestimando a radiação solar até valores medianos passando a subestimar os acima desses. Borges et al. (2010) relata que o modelo de Hargreaves raramente superestima a radiação solar para condições de céu claro. Essa é uma característica importante já que valores de radiação estimada superiores à observa podem indicar mal funcionamento nos equipamentos de medição direta da radiação. Esses resultados concordam com aqueles encontrados por Borges et al. (2010) para a região de Crus da Almas-BA e por Liu et al. (2009) para três localidades da China com o modelo de Hargreaves. Na análise de regressão, os melhores ajustes dentre as equações foram apresentados nos modelos de Bristow e Campbell, Donatelli e Campbell e Chen com R^2 de 72%, 71% e 70%, respectivamente. Já os modelos de Annadalle e de Hargreaves tiveram o pior desempenho com R^2 iguais de 62%.

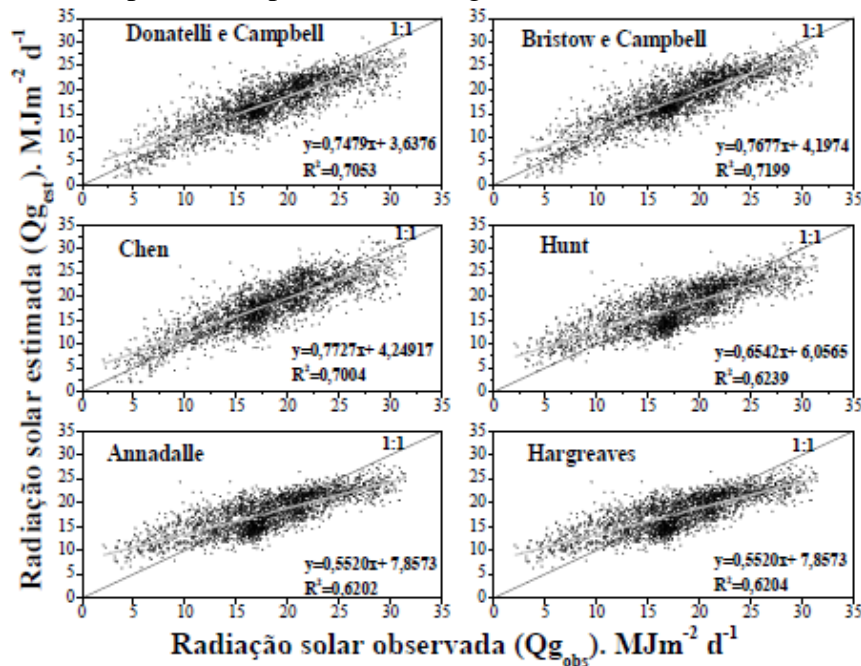


Figura 2: Regressão linear entre a radiação solar observada e estimada pelos modelos indicado.

Na Figura 3 estão representadas as Raízes Quadradas Média do Erro (RQME) para os modelos avaliados.

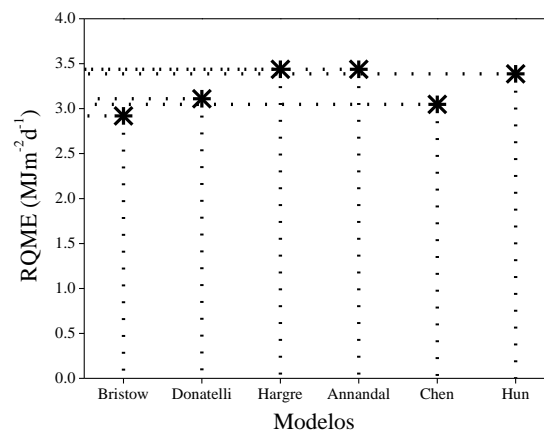


Figura 3. Raiz Quadrada Média do Erro, da região Sul, Sudeste de Minas, Oeste de Minas e Campo das Vertentes conforme modelo indicado.

Podemos observar na Figura 3 que o modelo de Bristow e Campbell apresentou o menor erro com RQME de $2,8 \text{ M J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ enquanto que os modelos de Hargreaves e Annandale tiveram os maiores, com RQME próximo a $3,5 \text{ M J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Em geral, esses resultados são inferiores àqueles encontrados por Liu et al. (2009) na China. No modelo de Hargreaves, Borges et al. (2010) obteve RQME menor.

CONCLUSÃO: Podemos concluir que o modelo de Bristow e Campbell apresentou melhor desempenho com R^2 de 72% e menor RQME com $2,8 \text{ M J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Os modelos de Hargreaves, Annandale e Hunt tiveram foram os piores modelos de estimativas da radiação solar com valores de RQME próximos a $3,5 \text{ M J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e coeficiente de determinação R^2 de 62% em ambos modelos. Todos os modelos tenderam a superestimar os valores de radiação até valores medianos e a subestimar a partir destes.

REFERÊNCIAS

- 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, p. 57-67, 2002.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.
- 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, p. 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, v. 28 Jun-2 Jul, 1998.
- FORTIN, J. G.; ANCTIL, F.; PARENT, L.; BOLINDER, M. A. Comparison of empirical daily surface incoming solar radiation models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 48, p. 332-340, 2008.
- 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, p. 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, p. 293-300, 1998.
- LIU,X.;MEL,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, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007, 192 p.