

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR UTILIZANDO A TEMPERATURA DO AR EM ONZE REGIÕES DO ESTADO DE SÃO PAULO

L. R. Z. Ortega¹, M. B. P. da Silva², E. L. Bassetto³, W. A. Mogrovejo⁴, J. F. Escobedo⁵

¹Engenheira Ambiental, Mestranda em Irrigação e Drenagem, FCA/UNESP/Botucatu, Fone: (14) 998480718, e-mail: zrocio9203@gmail.com.

²Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Irrigação e Drenagem, FCA/UNESP/Botucatu

³Engenheiro Eletricista, Prof. Departamento de Engenharia Elétrica, UTFPR/Cornélio Procopio.

⁴Engenheira Ambiental, Mestranda em Irrigação e Drenagem, FCA/UNESP/Botucatu.

⁵Físico, Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP/Botucatu.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver um estudo comparativo dos métodos de estimativa de irradiação solar global (H_G) por meio dos modelos: Hargreaves-Samani (H-S) e Bristow-Campbel (B-C) utilizando como variável somente a temperatura de ar. Os coeficientes dos modelos foram ajustados para as condições locais com base nos dados de H_G , obtidos no período de 2013 a 2017 em 11 estações meteorológicas do estado de São Paulo. Entre os dois modelos, o de Bristow-Campbel (B-C) foi o que apresentou o melhor desempenho na estimativa de H_G .

PALAVRAS-CHAVE: Radiação solar; temperatura do ar; modelos estatísticos.

COMPARISON BETWEEN SOLAR RADIATION ESTIMATION MODELS USING AIR TEMPERATURE IN ELEVEN REGIONS OF THE STATE OF SÃO PAULO

ABSTRACT: The objective of this paper was to describe a comparative study between two methods of reserve of global solar irradiation (H-S) using the Hargreaves-Samani (H-S) and Bristow-Campbel (B-C) air temperature methods. The coefficients of these models were adjusted on H_G data, measured in the period from 2013 to 2017 in eleven geographical regions of the state of São Paulo. The B-C model has better performance in estimating H_G .

KEYWORDS: Solar radiation; Air temperature; statistical models.

INTRODUÇÃO

A irradiação solar global incidente na superfície horizontal (H_G) é um fator climático muito importante para diversas atividades do setor produtivo e de pesquisa, principalmente nos processos em superfície terrestre. Entre estes processos destacam-se, como: aquecimento do ar, temperatura do solo, evapotranspiração, fotossíntese, secagem e armazenamento de grãos e forragens; conforto térmico animal; modelagem computacional de desenvolvimento de culturas agrícolas; simulação hidrológica, entre outras (Chen et al., 2004; Podestá et al., 2004). Atualmente, em muitas localidades que monitoram variáveis meteorológicas, existe uma escassez na medida de H_G , sendo que uma das maiores causas é a baixa disponibilidade de recursos disponíveis principalmente em países em desenvolvimento e no Hemisfério Sul.

No Brasil, país de dimensões continentais também apresentam dificuldades no monitoramento de H_G como também de outras variáveis meteorológicas e em diferentes regiões. Das instituições que monitoram variáveis climatológicas no país, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é o órgão oficial de monitoramento com maior número de estações espalhadas no território nacional contando com aproximadamente 523 estações automáticas (Santos et al., 2014). Uma alternativa na obtenção destas medidas é a utilização de modelos de estimativas que é uma solução de baixo custo, pois permite o conhecimento de uma variável através de outras medidas obtidas rotineiramente nas estações existentes.

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados climáticas utilizadas na modelagem foram obtidas através de 11 (onze) Estações Meteorológicas Automáticas (EMA's) espalhadas no Estado de São Paulo no período de 2013 - 2017, em regiões de climas, latitudes e altitudes diferentes. Na Figura 1 são mostradas as regiões geográficas das onze cidades do Estado de São Paulo.

FIGURA 1. Localização das 11 regiões geográficas



Fonte: Elaboração própria.

A aquisição de dados foi realizada através de um datalogger CR23X da Campbell Scientific operando na frequência de 1Hz, armazenando a média das medidas realizadas a cada 5 minutos. Os dados obtidos das estações radiométrica passaram por um controle de qualidade (para eliminação de valores errôneos ou inconsistentes) e através de programas desenvolvidos na plataforma MicrocalTMOOrigin 6.0® para o cálculo das irradiações em partição diária (Chaves e Escobedo, 2000). O conjunto de dados das temperaturas máximas ($T_{máx}$) e mínimas ($T_{mín}$) foi adquirido mediante a coleta feita por observadores meteorológicos da própria instituição (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP). A série de dados totais de H_G , $T_{máx}$ e $T_{mín}$ correspondem a um período de 5 anos (2013-2017) de medidas em escala diária.

Na avaliação do desempenho dos modelos foram utilizados neste trabalho Mean Bias Error (MBE), Relative Mean Bias Error (rMBE), Root Mean Square Error (RMSE), Relative Root Mean Square Error (rRMSE), Coeficiente de determinação (R^2) e Índice de Concordância de Willmont (d) (Willmont, 1981; Santos et al., 2014; Silva et al., 2017). Estes indicadores permitem observar além da ocorrência de subestimativa ou superestimativa no ajustamento dos modelos, o espalhamento, e a correlação (entro os valores observados e estimados) e tendência sistemática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os coeficientes de ajuste local (α) de H-S calibrado para as 11 onze regiões do estado de São Paulo. Onde foi verificado que os coeficientes ($\alpha = 0,165-0,124$) está em concordância com a metodologia proposta por Hargreaves – Samani (1982). Esses autores destacam que os valores de α devem estar próximos a 0,16 em regiões continentais e 0,19 no litoral. Outros pesquisadores divulgaram algumas diferenças e similaridades em seus coeficientes calibrados utilizando a metodologia de Hargreaves -Samani (1982) [Borges et al., 2009; Chineke, 2008; Almorox et al., 2011; Silva et al., 2012; Santos et al., 2014]. No modelo de B-C foram observados os seguintes coeficientes: $\beta_1 = 0,665-1,454$ $\beta_2 = 0,050-0,022$; $\beta_3 = 2,519-0,794$ (Tabela 1). Os valores são similares aos observados por outros autores em seus trabalhos (Bristow e Campbell, 1984; Mesa e Varas, 2000). O coeficiente β_1 manteve valor similar. Além disto, outros trabalhos da literatura pesquisada informam diferenças e semelhanças em relação aos valores obtidos neste trabalho (Chen et al., 2004; Almorox et al., 2011; Silva et al., 2012; Santos et al., 2014).

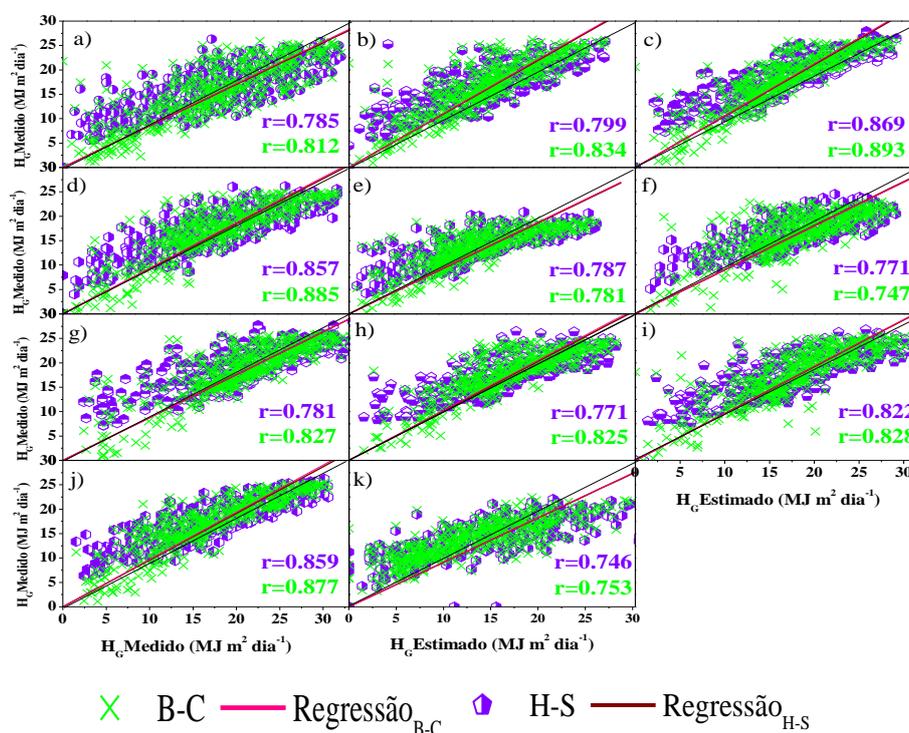
TABELA 1. Coeficientes empíricos dos modelos (H-S) e (B-C).

Regiões Geográficas	Cidade	Altitude	(H-S)		(B-C)	
			a	β_1	β_2	β_3
1.São Paulo	São Paulo	792.06	0.163	0.665	0.022	1.838
2.Sorocaba	Sorocaba	609	0.155	0.662	0.011	2.055
3.Bauro	Lins	459	0.158	0.652	0.004	2.488
4.Marília	Ourinhos	448	0.148	0.617	0.006	2.416
5.Presidente Prudente	Presidente Prudente	435.55	0.124	0.489	0.016	2.029
6.Araçatuba	Ilha Solteira	337	0.144	0.576	0.017	1.952
7.São Jose do Rio Preto	Jales	457	0.164	0.648	0.005	2.519
8.Ribeirão Preto	Barreto	533	0.145	0.624	0.007	2.246
9.Araraquara	São Carlos	863	0.165	0.648	0.010	2.205
10.Campinas	Itapira	633	0.146	0.630	0.006	2.354
11.São Jose dos Campos	Campos do Jordão	1642	0.124	1.454	0.050	0.794

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 (a - k) mostra as correlações obtidas na validação entre as estimativas e as medidas de HG, para as 11 regiões de São Paulo. As distribuições dos valores estimados pelos 2 modelos estão em concordância com as curvas ideais de 45° ($r=1$) nos ajustes, e são lineares nos intervalos de variação das medidas dos modelos H-S e B-C. Os valores do coeficiente de correlação (r), variaram entre as 11 cidades de $r = 0,746$ a $r = 0,859$. Para o modelo de H-S e de $r=0,747$ a $r=0,893$ para o modelo de B-C, mostra que o modelo B-C pode estimar HG com desempenho melhor do que H-S.

FIGURA 2. Comparação entre os valores estimados de (H - S) e (B - C) e medidos de HG.



Com base nos índices estatísticos MBE ($rMBE$), RMSE ($rRMSE$) e d , mostrados na Tabela 2, pode-se verificar que B-C é numericamente superior ao modelo H-S. Os valores de $rMBE_{BC} = 0,21$ a $2,7\%$ e $rMBE_{HS} = 0,58$ a $2,23\%$ são praticamente da mesma ordem de grandeza dos demais modelos; os valores de $rRMSE_{BC} = 17,20$ a $32,58\%$ e $rRMSE_{HS} = 19,18$ a $33,25\%$ são da mesma ordem de grandeza. Mostrando que o melhor ajuste do modelo é B-

C em relação a H-S; os valores de d de Willmott $dBC = 0,81$ a $0,94$ e numericamente um pouco maior do modelo de H-S.

TABELA 2. Distribuição dos índices estatísticos para os modelos de H-S e B-C.

Índices Estatísticos	H-S	B-C
MBE (MJ m ² dia ⁻¹)	0.108 a 0,378	0.208 a 0,270
rMBE (%)	0,58 a 2,23	0.095 a 1.99
RMSE (MJ m ² dia ⁻¹)	3,37 a 4,50	3.124 a 4,419
rRMSE (%)	19,18 a 33,25	17,20 a 32.58
d	0,80 a 0,911	0.81 a 0, 94

Fonte: Elaboração própria.

CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados e discutidos, conclui-se que: Os modelos propostos para as onze regiões do Estado de São Paulo se mostraram viáveis para sua utilização, com destaque para a adaptação do modelo de Bristow-Campbell. Seus desempenhos são similares aos obtidos em outras localidades. Os valores dos indicativos estatísticos em condições da validação: $rMBE$, com intervalo de variação de 0.95 – 1,99%; $rRMSE$, com intervalo de variação de 17,20 -32,58%; d de Willmott, superior a 0,90, indicam que o modelo BC pode ser utilizado na estimativa de HG com boa precisão e exatidão.

REFERÊNCIAS

- Almorox, J. et al. (2011). Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain). In: Applied Energy, v. 88, p. 1703-1709.
- Borges et al. (2010). Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n. 1, p.74-80.
- Bristow, K. L.; Campbell, G. S. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. In: Agricultural and Forest Meteorology, v. 31, n. 2, p.159-166.
- Chaves, M. A.; Escobedo, J.F. (2000). A software to process daily solar radiation data. Renewable Energy 19, 339–344.
- Chen, R. et al. (2004). Validation of five global radiation models with measured daily data in China. Energy Conversion and Management, v. 45, p. 1759-1769.
- Chineke, T. C. (2008). Equations for estimating for global solar radiation in data sparse regions. In: Renewable Energy, v. 33, p. 827-831.
- Mesa, F.; Varas, E. (2000). Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. In: Agricultural and Forest Meteorology, v. 100, p. 231-241.
- Podestá, G. P. et al. (2004). Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas. Agricultural and Forest Meteorology, v. 123, p. 41-53.
- Santos, C. M. et al. (2014). On modeling global solar irradiation using air temperature for Alagoas State, Northeastern Brazil. Energy, v. 71, p. 388-398.
- Silva, C. R. et al. (2012). Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de minas gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 281-288.
- Silva, M.B.P.; Escobedo, J.F., Rossi, T.J., Santos, C.M.; Silva, S.H.M.G. (2017). Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN techniques to estimate daily global solar irradiation in Botucatu/SP/Brazil. Journal of Atmospheric and Solar –Terrestrial – Physics, v. 160, p.11-23.
- Willmot, C. J. (1981). On validation of models, Physical Geography, v. 2, p. 184-194.