

AValiação DE QUATRO MODELOS SIMPLIFICADOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO GLOBAL HORÁRIA PARA A REGIÃO DE SINOP, MT

Brena Geliane Ferneda¹; Aline de Oliveira¹; Janaina da Silva Schimitt¹; Mattheus Frederico Back Koelln¹; Adilson Pacheco de Souza²

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT, Campus, Sinop, Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, Cep: 78557-267, Sinop, MT, Brasil.

³ Professor Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT, Sinop – MT. E-mail: adilsonpacheco@ufmt.br

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014 – Campo Grande - MS

RESUMO: A radiação solar é importante em muitos processos que ocorrem na superfície, porém é um dos elementos menos registrados nas estações meteorológicas. Devido a este fato, torna-se necessário estimá-la a partir de outros elementos meteorológicos disponíveis. Objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho de modelos de estimativa da radiação global incidente (H_G) baseados na temperatura do ar horária para as condições climáticas do município de Sinop, Mato Grosso. Foram utilizados os dados de temperatura do ar do período de 2006 a 2013, medidos pela estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em 11° 98' 22" S e 55° 56' 58" W. Os modelos avaliados neste trabalho foram: Hargreaves - Samani (HS), Thornton - Running (TR), Weiss et al. (WS) e Bristow & Campbell (BC). Para avaliar o desempenho de cada modelo foram empregados os indicativos estatísticos MBE (erro relativo médio), RMSE (raiz quadrada do erro quadrático médio), índice de ajustamento "d" de Willmott e o índice de desempenho "c". O modelo de Hargreaves – Samani apresentou os melhores resultados para o município de Sinop-MT, com subestimativas em todas as épocas do ano, espalhamentos inferiores a 1,35 MJ m⁻² h⁻¹ e ajustamentos superiores a 85%.

PALAVRAS-CHAVES: amplitude térmica, elementos meteorológicos, indicativos estatísticos

EVALUATION OF FOUR SIMPLIFIED MODELS OF ESTIMATE THE HOURLY GLOBAL RADIATION IN THE REGION OF SINOP, MT

ABSTRACT: Solar radiation is important in many processes occurring on the surface, but is one of the least elements recorded at meteorological stations. Due to this fact, it becomes necessary to estimate it from other weather elements available. The objective of this study was to evaluate the performance of models for estimating global radiation (H_G) based on the hourly air temperature to the climatic conditions of Sinop, Mato Grosso State, Brazil. Were used the database of air temperature for the period from 2006 to 2013, measured by automatic weather station belonging to the National Institute of Meteorology - INMET located at latitude 11° 98 ' 22" S and longitude 55° 56' 58" W. The models used in this paper were: Hargreaves & Samani (HS), Thornton & Running (TR), Weiss et al. (WS) and Bristow & Campbell (BC). To evaluate the performance of each model statistical indicative MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error), adjustment index "d" and the performance index "c" were employed. The HS model showed the best results for the Sinop - MT, with an underestimation in all seasons, scatterings less than 1.35 MJ m⁻² h⁻¹ and greater than 85% adjustments.

KEYWORDS: thermal amplitude, meteorological elements, statistical indicative

INTRODUÇÃO: As séries temporais e espaciais dos elementos meteorológicos permitem conhecer a evolução diurna, mensal e anual, entretanto, exigem medidas simultâneas de rotina em vários locais e condições. Nesse contexto, essas falhas nas coletas de dados podem ser corrigidas por valores estimados obtidos através de modelos matemáticos, que diferem entre si pelo grau de complexidade. Quando se trata de radiação solar, normalmente são empregados dois tipos de modelos: os estatísticos (ou de decomposição) e os paramétricos. Os modelos paramétricos necessitam de informações mais detalhadas das condições atmosféricas locais conforme a componente a ser estimada ou então a utilização de percentuais fixos de ocorrência de cada componente da radiação global (Borges et al., 2010). Os modelos estatísticos são representados por equações matemáticas ajustadas por meio de regressão linear ou

polinomial em correlações com as frações radiométricas, outros elementos meteorológicos e/ou a razão de insolação. É importante ressaltar que a grande maioria desses modelos são restritos às condições geográficas e climáticas para as quais foram desenvolvidos, apresentando problemas de transferência, quando não devidamente calibrados, visto que a maioria desses modelos empregam coeficientes empíricos que podem variar com o tempo, o local e o clima, alterando assim os resultados obtidos. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho de quatro modelos de estimativa da radiação global horária e diária baseados na temperatura do ar, para o município de Sinop, MT.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados meteorológicos da estação meteorológica automática do município de Sinop – MT (localizada na latitude 11° 98' 22" S e longitude 55° 56' 58" W e altitude de 371 m), foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As medidas foram realizadas entre 29 de outubro de 2006 e 31 de dezembro de 2010, em valores horários. O banco de dados, na partição horária, passou por um triagem inicial, com ênfase nos valores de radiação solar incidente, para verificar a integridade e coerência dos dados, eliminando da série, quando necessário, os dias com falhas. Após foram calculados os valores médios horários das temperaturas, umidade relativa do ar, pressão atmosférica (máximas, mínimas e médias), soma diária de radiação global incidente e as respectivas variáveis de entrada de cada modelo avaliado. Para ajustes das equações estatísticas de estimativas foram agrupados os dados de 2006, 2007, 2008 para gerar as equações, enquanto que os dados de 2009 e 2010 foram agrupados e usados nas suas respectivas validações. Todos os modelos avaliados neste estudo utilizam a amplitude térmica horária como principal variável de entrada.

Modelo de Hargreaves & Samani (HS): Hargreaves & Samani (1982), foi um dos precursores da proposição de estimativas de radiação solar incidente a partir da temperatura do ar (equação 01).

$$H_G = K_r (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} H_0 \quad (01)$$

em que: K_r é um coeficiente empírico (adimensional); T_{\max} e T_{\min} são as temperaturas máxima e mínima do ar, em °C, respectivamente; H_G e H_0 são as radiações global e no topo da atmosfera, respectivamente, cujas unidades dependem da partição estudada ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$ – horária).

$$K_r = 0,00185 (T_{\max} - T_{\min})^2 - 0,0433 (T_{\max} - T_{\min}) + 0,4023 \quad (02)$$

Modelo de Thornton-Running (TR): O modelo de Thornton-Running (Thornton & Running, (1999) utiliza a amplitude térmica diária e mensal para determinação do coeficiente de transmissividade atmosférica

$$H_G = H_0 \left[1 - 0,9 \exp \left(-B (T_{\max} - T_{\min})^{1,5} \right) \right] \quad (03)$$

em que: B – coeficiente empírico de ajuste, adimensional. O coeficiente de ajuste B é determinado com base nas normais climatológicas do local, através do parâmetro ΔT_{med} , como se segue:

$$B = 0,031 + 0,201 \exp \left(-0,185 \Delta T_{med} \right) \quad (04)$$

Modelo de Weiss (WS): corresponde ao modelo mais simples entre os avaliados por Weiss et al. (2001) em várias regiões agrícolas dos Estados Unidos.

$$H_G = 0,75 \left[1 - \exp \left(-0,226 \frac{(\Delta T)^2}{H_0} \right) \right] H_0 \quad (05)$$

$$\Delta T = T_{xi} - \left(\frac{T_{ni} + T_{n(i+1)}}{2} \right) \quad (06)$$

em que: T_x – temperatura máxima do ar, em °C; T_n – temperatura mínima do ar e i um subscrito indicativo da hora atual.

Modelo de Bristow & Campbell (BC):

$$H_G = H_0 a_0 \left[1 - \exp \left(-a_1 T_{Dif}^{a_2} \right) \right] \quad (07)$$

Foram estabelecidas regressões entre os valores estimados e medidos da radiação global em agrupamentos anuais e mensais de dados. Na avaliação do desempenho dos modelos estatísticos gerados foram utilizados os indicativos estatísticos MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error), índice de ajustamento (d) de Willmott (1981) e índice de desempenho (c), obtido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de ajustamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Nas correlações entre valores medidos e estimados da radiação global horária no agrupamento anual os maiores coeficientes de determinação foram obtidos pelos modelos HS e TR, sendo que, TR propiciou maiores espalhamentos quando comparado com HS.

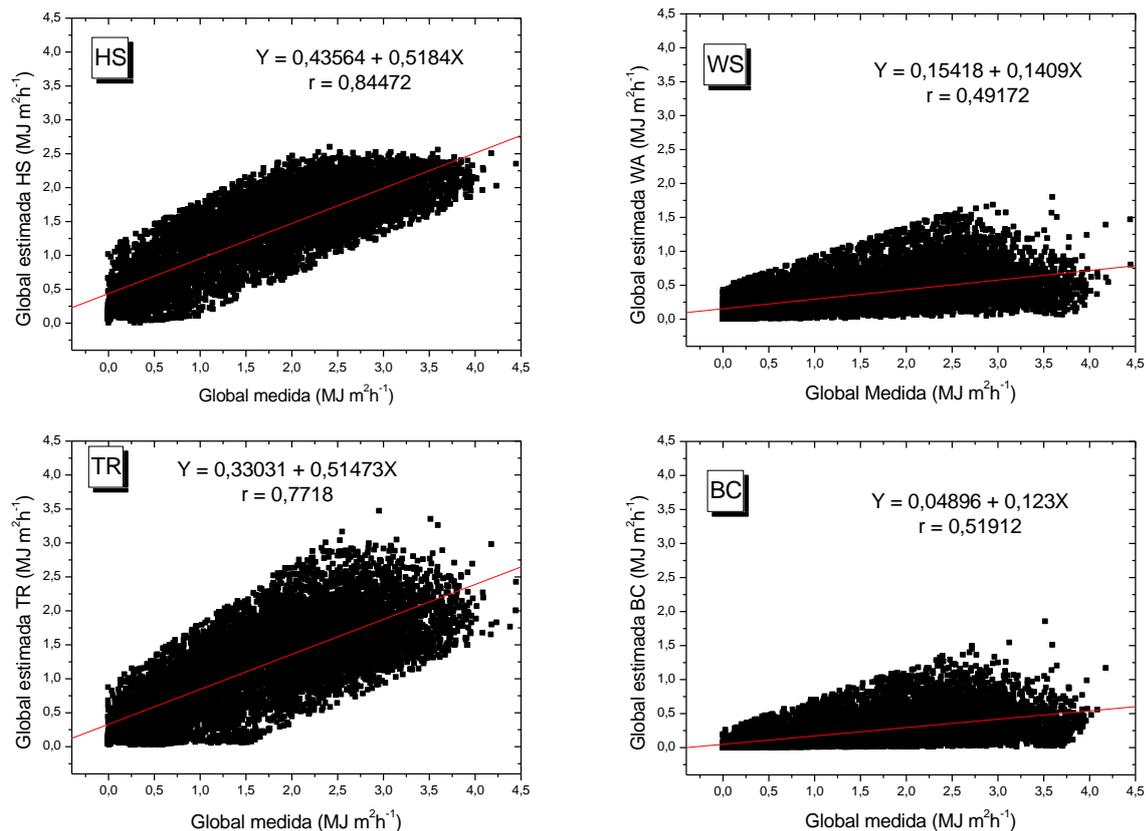


Figura 1. Correlações entre valores estimados e medidos da radiação global horária em agrupamento anual de dados.

Os quatro modelos avaliados apresentaram tendência de subestimar as radiações horárias e maiores espalhamentos nos meses em que são observadas as maiores variações da transmissividade atmosférica (verão). Para o modelo HS os ajustamentos variaram entre 81 e 93%, enquanto que, para BC e WS recomenda-se a calibração regional dos coeficientes paramétricos de cada metodologia.

CONCLUSÕES: Com base nos resultados obtidos, o modelo de Hargreaves-Samani apresentou o melhor desempenho entre os modelos avaliados para a estimativa da radiação solar incidente no município de Sinop – MT.

REFERÊNCIAS

- 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, 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.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 93, n. 4, p. 211-228, 1999.

WEISS, A.; HAYS, C. J.; HU, Q.; EASTERLING, W. E. Incorporating Bias Error in Calculating Solar Irradiance: Implications for Crop Yield Simulations. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1321-1326, 2001.

WEISS, A.; HAYS, C. J. Simulation of daily solar irradiance. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 123, n. 3-4, p. 187-199, 2004.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, v.126, p.265-267, 2000.

Tabela 1. Coeficientes lineares, angulares e de determinação da regressão linear simples obtida entre valores estimados e valores medidos da radiação global horária.

Meses	Hargreaves & Samanni			Weiss			Thornton & Running			Bristow & Campbell		
	a_0	a_1	r^2	a_0	a_1	r^2	a_0	a_1	r^2	a_0	a_1	r^2
Jan	0,5201	0,5059	0,7100	0,1148	0,1375	0,2982	0,3737	0,5016	0,6466	0,0214	0,1233	0,3902
Fev	0,5539	0,5158	0,6907	0,0734	0,1588	0,4014	0,3756	0,5223	0,6663	0,0061	0,1380	0,4370
Mar	0,4932	0,5004	0,7066	0,1476	0,1279	0,2766	0,3645	0,4937	0,6421	0,0420	0,1154	0,3511
Abr	0,4151	0,5177	0,7472	0,1752	0,1422	0,2757	0,3048	0,5140	0,6273	0,0561	0,1162	0,3392
Mai	0,3173	0,5251	0,7200	0,1841	0,1434	0,1830	0,2597	0,5087	0,5179	0,0693	0,1131	0,2027
Jun	0,3439	0,4904	0,6808	0,2626	0,0972	0,0691	0,3908	0,4482	0,3592	0,0656	0,1098	0,0841
Jul	0,2535	0,5415	0,7709	0,2058	0,1319	0,1487	0,2713	0,5095	0,4847	0,0880	0,1162	0,1794
Ago	0,2219	0,5415	0,8188	0,2270	0,1310	0,1594	0,2770	0,5388	0,5480	0,0880	0,1162	0,2019
Set	0,4116	0,6158	0,7525	0,1899	0,1918	0,3045	0,3111	0,6454	0,6498	0,0422	0,1777	0,3911
Out	0,4593	0,5431	0,7680	0,1902	0,1355	0,2454	0,3456	0,5449	0,6700	0,0380	0,1382	0,3811
Nov	0,4855	0,5143	0,7402	0,1355	0,1331	0,2812	0,3310	0,5105	0,6739	0,0190	0,1273	0,4110
Dez	0,5240	0,4921	0,7007	0,0939	0,1263	0,2778	0,3320	0,4809	0,6498	0,0118	0,1091	0,3570

Tabela 2. Indicativos estatísticos de desempenho da estimativa da radiação global horária por quatro modelos baseados na temperatura do ar.

Meses	Hargreaves & Samanni			Weiss		
	MBE (%)	RMSE (%)	d	MBE (%)	RMSE (%)	d
Jan	-17,75	39,61	0,8696	-79,48	100,72	0,5162
Fev	-16,79	38,79	0,8777	-79,98	99,93	0,5324
Mar	-20,61	39,25	0,8546	-78,63	98,77	0,5140
Abr	-22,67	39,15	0,8572	-74,85	94,13	0,5275
Mai	-26,92	41,08	0,8446	-73,98	93,09	0,5314
Jun	-29,05	42,97	0,8111	-74,41	94,00	0,5048
Jul	-29,23	41,42	0,8414	-74,21	93,49	0,5247
Ago	-28,76	39,12	0,8553	-72,98	92,04	0,5274
Set	-12,84	27,69	0,9292	-69,35	87,40	0,5562
Out	-18,94	35,28	0,8817	-75,13	94,18	0,5250
Nov	-20,73	37,89	0,8610	-78,88	97,49	0,5120
Dez	-19,37	40,19	0,8551	-81,45	103,08	0,5195
	Thornton & Running			Bristow & Campbell		
Jan	-27,71	45,90	0,8406	-86,36	106,57	0,5030
Fev	-26,93	44,18	0,8537	-85,84	105,40	0,5165
Mar	-29,40	46,26	0,8261	-85,97	105,04	0,4997
Abr	-29,74	44,31	0,8311	-84,79	102,89	0,5038
Mai	-32,30	45,68	0,8146	-84,22	102,15	0,5054
Jun	-30,85	46,51	0,7802	-84,52	101,82	0,4850
Jul	-31,85	45,29	0,8177	-84,89	102,31	0,5012
Ago	-28,87	40,89	0,8397	-82,93	99,64	0,5044
Set	-16,48	28,60	0,9322	-79,64	95,82	0,5321
Out	-25,17	39,14	0,8624	-83,91	101,11	0,5129
Nov	-29,82	44,13	0,8278	-86,14	103,54	0,5008
Dez	-31,41	48,98	0,8129	-88,33	109,33	0,5044