

Avaliação de modelos de estimativa da Radiação Solar na escala mensal em Fortaleza - CE

Wesley Lívio Viana Torres¹; Joaquim Branco de Oliveira²; Francisco Dirceu Duarte Arraes³; Anna Ysis Pedrosa Araújo Vieira Gomes Cordeiro¹; Aline da Silva Alves⁴

¹Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, Bolsista do Laboratório de Geoprocessamento, Iguatu-CE, Fone: (88) 988 170 105, e-mail: wesley_livio@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, Professor, Dr., IFCE, *Campus* Iguatu, Laboratório de Geoprocessamento, Iguatu – CE;

³ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Professor, Dr., IF Sertão, *Campus* Salgueiro, Salgueiro – PE;

⁴Tecnóloga em Irrigação e Drenagem, Prof.^a M.S., Instituto Federal do Ceará, *Campus* Iguatu, Iguatu – CE.

RESUMO: Objetivou-se com o este trabalho avaliar o desempenho de modelos de estimativa da radiação solar para a cidade de Fortaleza – CE. Foram utilizados dados meteorológicos de temperatura mínima e máxima e radiação solar global, da estação automática localizada com (Latitude 3,81° S, longitude 38,53° W e altitude de 26,45 m), pertencentes a rede de estações automáticas do INMET. Os modelos avaliados no presente trabalho foram: HS, Ann, Ball, Chen, HS-R, BC, DC e Good. O modelo de HS também não apresentou resultados satisfatórios por usar apenas temperaturas máximas e mínimas e o coeficiente krs que recebe os valores de 0,19 para regiões litorâneas e 0,16 para regiões interioranas. Os piores resultados foram observados no modelo DC com um EPE de 7,10 MJ m⁻² d⁻¹ e erro médio de 6,64 MJ m⁻² d⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: temperatura do ar, radiância, calibração

Evaluation of models of estimating solar radiation in monthly in Fortaleza - CE

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the performance estimation models of solar radiation to the city of Fortaleza - CE. Meteorological data minimum and maximum temperature and solar radiation were used, automatic station located with (Latitude 3.81 ° S, 38.53 ° W longitude and altitude of 26,45 m), belonging to the network of automatic stations INMET. The models evaluated in this study were: HS, Ann, Ball, Chen, HS-R, BC, DC and Good. The HS model did not show satisfactory results by using only maximum and minimum temperatures and the krs coefficient receives the values from 0.19 to 0.16 and coastal regions to inland regions. The worst results were observed in the DC model with a EPE 7.10 MJ m⁻² d⁻¹ and average error of 6.64 MJ m⁻² d⁻¹.

KEY WORDS: air temperature, radiance, calibration

INTRODUÇÃO

A irradiância solar é também o principal motor do processo de evapotranspiração sendo parte fundamental de muitos procedimentos de estimativa da evapotranspiração (ALLEN, 1997). Em muitos estudos de simulação, tais como os relacionados com a mudanças no clima, hidrologia, ecologia e agronomia, R_s é o parâmetro de entrada mais importante, sendo aplicado em modelos de escalas local a global. Contudo, a precisão dos modelos empregados em simulações depende da qualidade dos dados (RIVINGTON et al., 2005; BANDYOPADHYAY et al., 2008).

Denomina-se fluxo de radiação a quantidade de energia radiante recebida, transmitida ou emitida por unidade de tempo. Quando esse fluxo de irradiância é expresso por unidade de área, costuma-se chamar de densidade de fluxo radiante. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda o uso dos termos emitância para designar o fluxo de irradiância emitido e irradiância para representar o fluxo de irradiância incidente (VAREJÃO-SILVA, 2006).

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Estudos relativos à disponibilidade de totais diários médios mensais de irradiância solar global são importantes para o planejamento agrícola, uma vez que é fundamental para a determinação do saldo de radiação, fração responsável pela evaporação da água e na transpiração das culturas (SILVA et al., 2005; SOUZA et al., 2005).

Objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de modelos de estimativa da radiação solar para a cidade de Fortaleza – CE.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados meteorológicos de temperaturas mínimas, máximas e radiação solar global do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) sendo obtidos nas estações automáticas localizada a -3,81° de latitude, -38,53° de longitude e com altitude de 26,45 metros em Fortaleza – CE.

A radiação solar global foi estimada de acordo com o procedimento sugerido por Ball et al. (2004):

$$R_s = R_a \cdot T_t \quad \text{Eq.01}$$

Em que: R_s : Radiação solar global, MJ m⁻² d⁻¹; R_a : Radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² d⁻¹; T_t : Transmissividade atmosférica, adimensional.

A radiação solar extraterrestre será obtida conforme as Equações 02 a 05:

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s) \quad \text{Eq. 02}$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot J}{365}\right) \quad \text{Eq. 03}$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \quad \text{Eq.04}$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot J}{365} - 1,39\right) \quad \text{Eq. 05}$$

Em que: R_a : Radiação solar extraterrestre, MJ m⁻² d⁻¹; G_{sc} : constante solar, 0,0820, MJ m⁻² min⁻¹; d_r : distancia relativa Terra-Sol; ω_s : ângulo horário do por do sol, radianos; φ : latitude do local, radianos; δ : declinação solar, radianos; J : dia Juliano.

A Transmitância atmosférica será estimada de acordo com os procedimentos sugeridos na seguinte tabela nas equações 06 a 15.

Em que: k_{RS} : é um coeficiente empírico, (0,16 para cidades do interior e 0,19 para cidades litorâneas); a e b são coeficientes empíricos; Alt : altitude (m); T_{tmax} : é a máxima transmissividade

Equação no.	Autores	Abreviatura	Equação	Coeficiente
6	Hargreaves & Samani (1982)	HS	$Tt = k_{RS} \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5}$	-
7	Annandale et al. (2002)	Ann	$Tt = k_{RS} \cdot (1 + 2,7 \times 10^{-5} \times Alt) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5}$	-
8	Ball (2004)	Ball	$R_s = R_a \{a[(T_{max} - T_{min})^{0,5}]^b\}$	a e b
9	Chen et al. (2004)	Chen	$Tt = [a(T_{max} - T_{min})^b]$	a e b
10	Hargreaves-Samani mod. Richarson (1985)	HS-R	$R_s = R_a \cdot [a + b \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5}]$	a e b
11			$Tt = T_{tmax} \times T_{tf}$	-
12	Bristow & Campbel (1984)	BC	$T_{tf} = 1 - \exp[-b(T_{max} - T_{min})^c]$	c
13			$b = 0,036 \cdot \exp[-0,154(T_{max} - T_{min})]$	-
14	Donatelli & Campbell (1998)	DC	$Tt = \{0,75[1 - \exp(-0,226(T_{max} - T_{min})^2)]\}$	-
15	Goodim(1999)	Gd	$Tt = \{0,68 \times [1 - \exp(-0,03 \times (T_{max} - T_{min})^{2,02})]\}$	-

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

ocorrida em um dia de céu claro para um determinado local; T_{tf} é a fração de T_{max} observado para um determinado dia; β_0 : coeficiente linear; β_1 a β_{12} : variáveis (R_s , T_{max} , T_{min} , P e/ou J); X_1 a X_2 : coeficientes para as variáveis β_1 a β_{12} .

As estimativas da radiação solar global com base nos modelos empíricos serão comparadas com a radiação solar global medida nas estações automáticas.

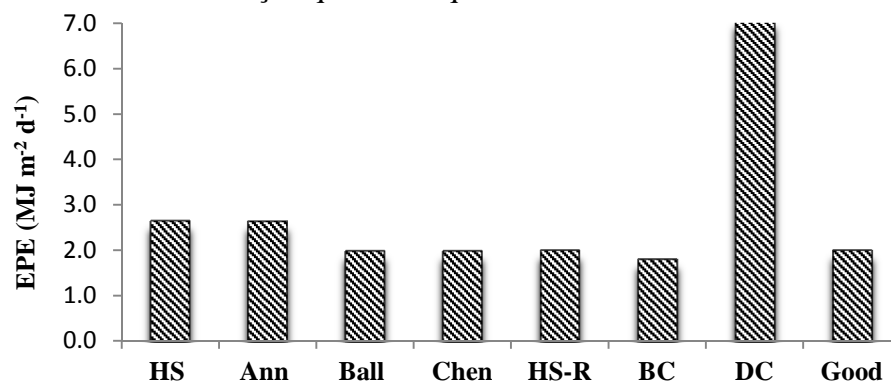
O desempenho de cada modelo será avaliado através da porcentagem, coeficiente de determinação, erro médio, erro-padrão de estimativa e erro-percentual médio obtido (Equações 17 a 20).

Equação no.	Estatística	Abreviatura	Equação
17	Porcentagem	%	$\frac{Y \times 100}{Y_{est}}$
18	Erro Médio	EM	$\frac{\sum(Y_{est} - Y)}{N}$
19	Erro Percentual de Estimativa	EPE	$\sqrt{\frac{\sum(Y - Y_{est})^2}{N}}$
20	Erro Percentual Médio	EPM	$\frac{\sum \frac{ Y_{est} - Y }{Y}}{N} \times 100\%$

Em que: Y: radiação observada; Y_{est} : radiação estimada; N: número de observações;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os melhores resultados foram obtidos pelos modelos propostos por Bristow & Campbel com o erro padrão de estimativa de $1,80 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e erro médio de $0,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Uma das hipóteses é de fato de calibrar os coeficientes usados de acordo com o estudo local da cidade de Fortaleza. Estudando uma região semiárida na Espanha Tabari et al. (2014) obteve melhor resultado com um EPE de $3,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Para o Erro Médio o modelo que obteve resultado satisfatório foi Bristow & Campbel com $0,00 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Os modelos Ball e Hargreaves & Samani modificado por Richarson também obtiveram resultados iguais com $-0,03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Tabela 2. Esses bons resultados são explicado pelo os modelos apresentarem coeficientes de calibração que se adequam ao revelo e clima no local de estudo.

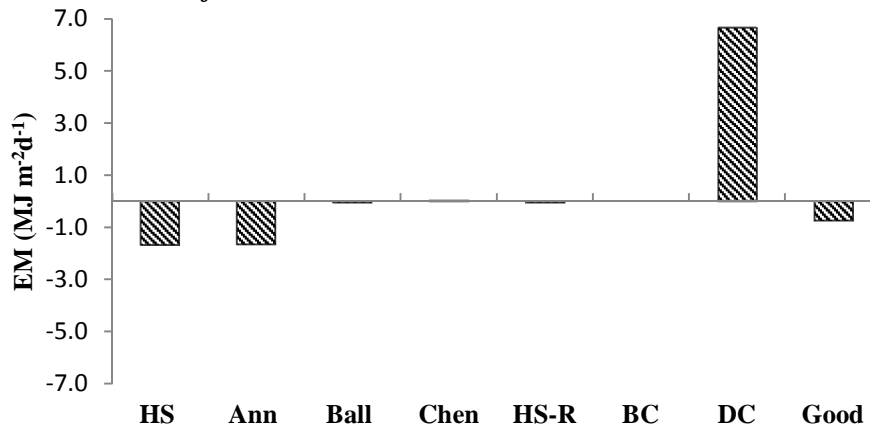


* HS - Hargreaves & Samani (1982), Ann - Annandale et al. (2002), Ball - Ball (2004), Chen - Chen et al. (2004), HS-R - Hargreaves & Samani modificado por Richarson (1985), BC - Bristow & Campbel (1984), DC - Dontelli & Campbell (1998), Good - Goodim (1999).

Figura 1. Erro-Padrão de Estimativa dos modelos da radiação solar para o município de Fortaleza – CE.

O modelo Chen também obteve bom resultado neste estudo com um EPE de $1,99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Tabari et al. (2014) obteve valor semelhante com um EPE de $2,93 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, em estudo realizado no Irã.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



* HS - Hargreaves & Samani (1982), Ann - Annandale et al. (2002), Ball - Ball (2004), Chen - Chen et al. (2004), HS-R - Hargreaves & Samani modificado por Richardson (1985), BC - Bristow & Campbell (1984), DC - Dontelli & Campbell (1998), Good - Goodim (1999).

Figura 2. Erro Médio (EM) é raiz quadrada do quadrado médio do erro, dos modelos de estimativa da radiação solar para o município de Fortaleza - CE.

Os piores resultados foram observados no modelo Dontelli & Campbell com um EPE de 7,10 MJ m⁻² d⁻¹ e erro médio de 6,64 MJ m⁻² d⁻¹. Liu et al. (2009), encontrou melhores resultados em seu estudo realizado na China, com valores de 4,2 MJ m⁻² d⁻¹ de EPE. Os resultados discrepantes encontrados no modelo de Dontelli & Campbell podem ser explicados pelo fato dos modelos utilizarem valores constantes que foram encontrados para a região em que foi elaborado o modelo, com isso para locais com clima e relevos diferentes não se recomenda o uso de modelos que não ofereçam coeficientes de calibração.

CONCLUSÃO

O modelo proposto por Bristow & Campbell obteve o melhor resultado para o local de estudo seguido por Ball e modelo Chen e os piores resultados foram encontrados no modelo de Donatelli & Campbell.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. Self-calibrating method for estimating solar radiation from the air temperature. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 2, n. 22, p. 56-67, 1997.

ANNANDALE, J.; JOVANOVIĆ, N.; BENADÉ, N.; ALLEN, R. Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, v. 21, n. 2, p. 57-67, 2002.

BANDYOPADHYAY, A.; BHADRA, A.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, A. Estimation of monthly solar radiation from measured air temperature extremes. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 148, p. 1707-1718, 2008.

BALL, R. A.; PURCELL, L. C.; CAREY, S. K. Evaluation of Solar Radiation Prediction Models in North America. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 2, p. 391-397, 2004.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

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, n. 2, p. 159–166, 1984.

CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 11-12, p. 1759–1769, 2004.

DONATELLE, M.; CAMPBELL, G. S. A simple model to estimate global solar radiation. In: PROCEEDING ESA CONGRESS, 9., 1998, Nitra, Republic Slovak. **Proceedings...** Nitra, Republic Slovak: Slovak Agricultural University. p. 133-134.

GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 845-851, 1999.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, p. 225-230, 1982.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; et al. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 9, p. 1433–1446, 2009.

RICHARDSON, C. W. Weather simulation for crop management models. **Transaction ASABE**, v. 28, n. 5, p. 1602-1606, 1985.

RIVINGTON, M.; BELLOCCHI, G.; MATTHEWS, K. B.; BUCHAN, K. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, n. 3-4, p. 228-243, 2005. ISSN 01681923.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens landsat 5 tm. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SOUZA, J. L.; INÁCIO, R. M.; MOURA, M. A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**, v. 30, p. 1203-1220, 2005.

TABARI, H. et al. Validation and calibration of solar radiation equations for estimating daily reference evapotranspiration at cool semi-arid and arid locations. **Hydrological Sciences Journal**, p. null-null, 2014. ISSN 0262-6667. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.947293> >. Acesso em: 2015/06/28.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2006. 449p. (Versão Digital, 2).