

ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL POR MODELOS DE ANGSTROM-PRESCOTT E HARGREAVES-SAMANI EM SUD MENNUCCI/SÃO PAULO/BRASIL

JÉSSICA M. S. FERRARI¹, MAURÍCIO B. P. SILVA², CÍCERO. M. DOS
SANTOS³, RICARDO L. VASCONCELOS⁴, CAMILA P. C. GABRIEL⁵, LUIS
R. A. GABRIEL FILHO⁶

¹Graduada em Agricultura de Precisão, Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP-FCA/Botucatu-SP

²Graduado em Agronomia, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP-FCA/Botucatu-SP

³Físico, Doutor em Irrigação e Drenagem, UNESP-FCA/Botucatu- Professor adjunto

⁴Graduado em Agronomia, Mestre em Ciências do Solo Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Pós doutorando em Agronomia, UNESP-FCA/Botucatu-SP

⁵Graduada Mestre e Livre-docente em Matemática, Doutora em Agronomia, Professora adjunto, UNESP FCE, Tupã-SP

⁶Graduado Mestre e Livre-docente em Matemática, Doutor em Agronomia, Professor adjunto, UNESP FCE, Tupã-SP

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Neste estudo foi realizada uma comparação entre os modelos de Angstrom-Prescott (A-P) e Hargreaves-Samani (H-S), na estimativa da irradiação solar global (H_G). A base de dados de H_G usada foi medida no período de 2011 a 2019 em Sud Mennucci/São Paulo/Brasil. Os modelos de (A-P) e (H-S) foram validados utilizando uma base de 30% dos dados. Os indicativos estatísticos r , MBE, RMSE, d de Willmott, obtidos na comparação entre a estimativa e medida foram: para A-P ($r = 0,97$) e para H-S ($r = 0,81$); A-P (rMBE = -0,19%) e para H-S (rMBE = -0,14%); A-P (rRMSE = 7,85%) e para H-S (rRMSE = 18,90%); A-P ($d = 0,98$) e H-S ($d = 0,85$). A comparação mostra que o modelo A-P possui melhor desempenho que o modelo (H-S) na estimativa de H_G .

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, modelos empíricos, modelagem estatística.

ESTIMATION OF GLOBAL SOLAR IRRADIATION BY MODELS OF ANGSTROM-PRESCOTT AND HARGREAVES-SAMANI IN SUD MENNUCCI/SÃO PAULO/BRAZIL

ABSTRACT: In this study, a comparison between the Angstrom-Prescott (A-P) and Hargreaves-Samani (H-S) models was performed to estimate global solar irradiation (H_G). The H_G database used was measured between 2011 and 2019 in Sud Mennucci/São Paulo/Brazil. The (A-P) and (H-S) models were validated using a 30% data base. The statistical indicatives r , MBE, RMSE, d de Willmott, obtained in the comparison between the estimation and measurement were: for A-P ($r = 0.97$) and for H-S ($r = 0.81$); A-P (rMBE = -0.19%) and for H-S (rMBE = -0.14%); A-P (rRMSE = 7.85%) and for H-S (rRMSE = 18.90%); A-P ($d = 0.98$) and H-S ($d = 0.85$). The comparison shows that the model A-P has better performance than the model (H-S) in the estimation of H_G .

KEYWORDS: Solar energy, empirical models, statistical modeling.

INTRODUÇÃO: Medidas de radiação solar são escassas em diversas localidades do mundo, sobretudo, em países em estado de desenvolvimento econômico como o Brasil. Essa insuficiência é explicada devido aos altos custos e escassez de mão de obra para operação de instrumentos e sensores utilizados para monitorar a radiação solar e outras variáveis climáticas (SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2017). No Brasil, a maior parte das Estações

Meteorológicas Automáticas (EMA's) estão localizadas na região Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo. Embora, devido a suas grandes dimensões, existem diversas áreas esparsas não contempladas por EMA's que monitorem a radiação solar.

Medidas de radiação solar são de grande importância em estudos nas áreas de conversões da energia solar em térmica, fotovoltaica e biomassa; na agricultura nos modelos de crescimento e produtividade, recursos hídricos e outros (ESCOBEDO et al., 2012; SILVA et al., 2017). Em razão disso, diversos pesquisadores ao longo das últimas décadas vêm buscando formas indiretas e simples de obter informações de radiação solar mediante modelos estatísticos como os de Hargreaves-Samani (1982), Bristol & Campbell (1984) e outros. No presente trabalho é apresentado um estudo comparativo entre os modelos estatísticos de Angstrom-Prescott (A-P) e Hargreaves-Samani.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados utilizados neste trabalho foram medidos na estação meteorológica de Sud Mennucci conveniada à unidade da UNESP/Ilha Solteira e obtidos no portal <http://clima.feis.unesp.br/>. Sud Mennucci (20°43'42"S latitude, 450°57'30"W longitude e 350,0 m de altitude) está localizada na região Noroeste do estado de São Paulo e possui área total de 594.744 km² (IBGE, 2018). O clima deste município é classificado como Aw (tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C) e mês mais seco com precipitação inferior a 60mm (CEPAGRI, 2017).

Foram utilizados dados de duração do brilho solar e temperatura do ar (máxima e a mínima) do período de 2011 a 2019. A irradiância solar global (I_G, W m⁻²), foi monitorada por um sensor LI-200X Pyranometer do *Datalogger* CR1000. Os dados passaram por um processo de eliminação de valores espúrios ou inconsistentes para posteriormente serem transformados da partição instantânea para diária. Em que irradiância solar global (I_G, W m⁻²) foi convertida em irradiação solar global (H, MJ m⁻² dia⁻¹).

O modelo mais conhecido de estimativa da H por meio do brilho solar é o de Angstrom-Prescott (A-P). Este modelo foi divulgado por Angstrom em 1924 e anos depois foi revisado e ajustado por Prescott em 1940. O modelo de A-P (Eq. 1) leva em consideração a irradiação solar no topo da atmosfera (H_o) (Eq. 2), o brilho solar (n) e o fotoperíodo (N):

$$\frac{H}{H_o} = a + b \times \left(\frac{n}{N}\right) \quad (1)$$

$$H_o = S_o \left(\frac{24}{\pi}\right) E_o \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)\right] \quad (2)$$

O coeficiente “a” pode ser interpretado como a fração de H que atinge a superfície da Terra num dia nublado, sendo dependente do tipo e espessura de nuvens. O coeficiente “b” é um complemento que dá o total de H. A soma (a+b), é a fração potencial de irradiação solar no topo da atmosfera disponível para alcançar a superfície (isto é, H num dia de céu claro). Que foi obtida como função da latitude local (φ), declinação solar (δ), constante solar (S_o= 1367 W m⁻² min⁻¹), ângulo horário (ω_s) e o fator de correção da excentricidade da órbita terrestre (E_o) [Iqbal, 1983].

Outro modelo bastante difundido é de Hargreaves & Samani (1982). Este modelo pode ser indicado quando há poucas variáveis meteorológicas à disposição, como a temperatura do ar (ALLEN et al., 1998; SILVA et al., 2012).

O modelo desenvolvido por Hargreaves & Samani (1982) (Eq. 3) relaciona a raiz quadrada da amplitude térmica (ΔT₁) [diferença entre as temperaturas máxima (T_{máx}, °C) e mínima do ar (T_{mín}, °C)] com um coeficiente empírico (α) ajustado localmente que possui valores que variam de regiões continentais para regiões costeiras (HARGREAVES & SAMANI, 1982; BORGES et al., 2010).

$$\left(\frac{H}{H_o}\right) = \alpha \cdot (\Delta T_1)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Os índices estatísticos utilizados para avaliar o desempenho de modelos foram: *Root Mean Square Error* (RMSE), *Relative Root Mean Square Error* (rRMSE), coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (R^2) (Santos et al., 2016). Uma escala classificatória para os diferentes intervalos de rRMSE para avaliar o desempenho dos modelos é utilizada (Jamieson et al., 1991; Li et al., 2013): Excelente se $rRMSE < 10\%$; Bom se $10\% \leq rRMSE < 20\%$; Aceitável se $20\% \leq rRMSE < 30\%$; Pobre se $rRMSE \geq 30$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: As Figuras 1(a - b) mostram as correlações entre a transmissividade atmosférica da irradiação solar global (H/H_o) com a razão de insolação (n/N) e amplitude térmica (ΔT).

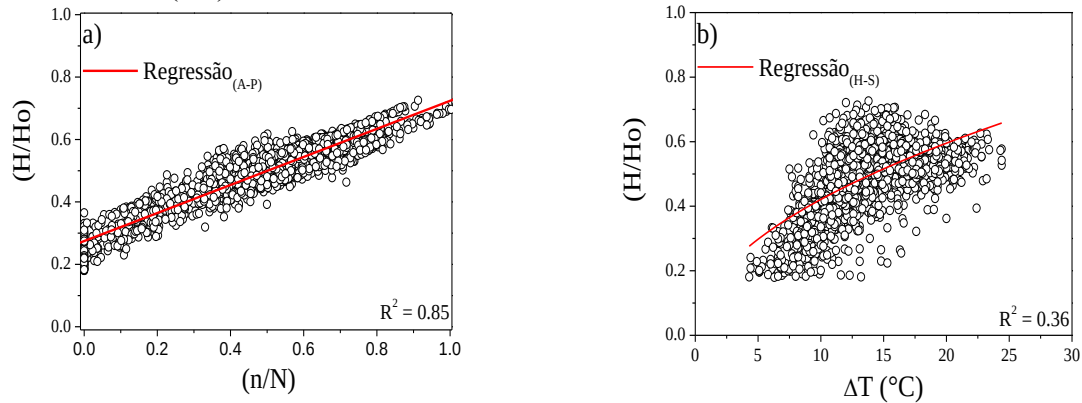


FIGURA 1 (a, b). Correlação entre a transmissividade atmosférica da irradiação solar global (H/H_o) e a razão de insolação (n/N) (a); Correlação entre a transmissividade atmosférica da irradiação solar global (H/H_o) e a amplitude térmica (ΔT).

A Eq. 4 de (A-P) obtida na correlação da Fig. 2 (a), por regressão linear, foi:

$$(H/H_o) = 0,28 + 0,45(n/N) \quad (4)$$

A Eq. 5 de (A-P) obtida na correlação da Fig. 2 (a), por regressão linear, foi:

$$(H/H_o) = 0,13 \times (\sqrt{\Delta T}) \quad (5)$$

As Figuras 2 (a - b) mostram as correlações obtidas nas validações entre as medidas e estimativas H por meio dos modelos de A-P e H-S, respectivamente.

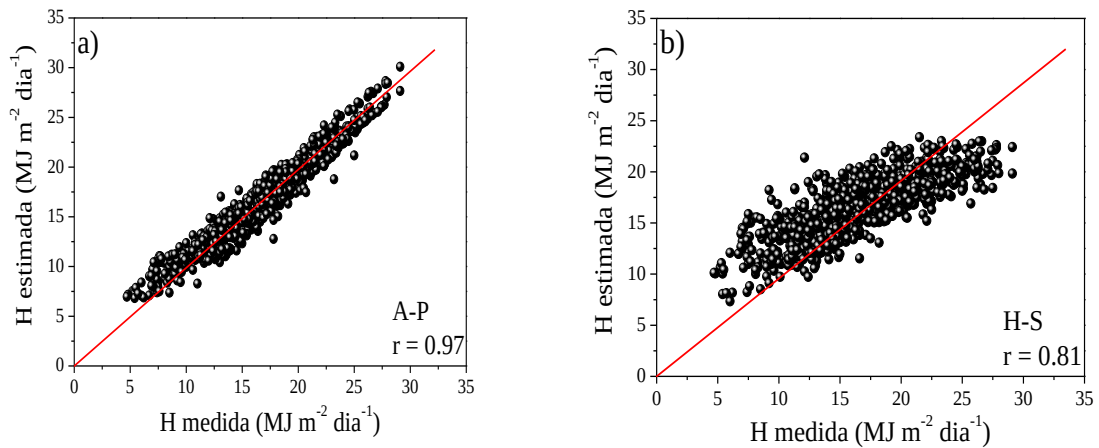


FIGURA 2 (a, b). Comparações entre os valores estimados e medidos por meio de Angstrom-Preuss (A-P) e Hargreaves-Samani (H-S).

As distribuições dos valores estimados pela equação (A-P) e a medida na condição de validação está em concordância linear com a reta ideal (45°) ou $r = 1$ no ajuste. Em que A-P possui reta de regressão linear com o coeficiente de correlação igual $r = 0,97$. Diferentemente do modelo H-S, que obteve $r = 0,81$.

Os indicadores estatísticos (Tabela 1) obtidos na validação entre as estimativas de A-P e as medidas de H foram: $rRMSE_{A-P} = 7,85\%$; $rMBE_{A-P} = -0,19\%$; $d = 0,98$; $t_{A-P} = 0,71$. Para H-S foram: $rRMSE_{H-S} = 18,90\%$; $rMBE_{A-P} = -0,14\%$; $d = 0,85$; $t_{A-P} = 0,22$.

TABELA 1. Indicativos estatísticos dos modelos de Angstrom-Prescott (A-P) e Hargreaves-Samani (H-S).

Modelos	rRMSE (%)	RMSE (-)	rMBE (%)	MBE (-)	d (-)	t (-)	t _{crit} (-)
A-P	7,85	1,28	-0,19	-0,03	0,98	0,71	1,96
H-S	18,90	3,09	-0,14	-0,02	0,85	0,22	1,96

CONCLUSÕES: Na comparação do desempenho dos modelos de estimativa de H, por meio dos indicadores estatísticos (R^2 , r, MBE, RMSE, d e t), foi verificado que A-P possui melhor desempenho estatístico do que o modelo de H-S.

REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. pp. 50. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) - Irrigation and drainage paper 56, Rome, 1998.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. et al. 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, 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, n. 2, 159-166, 1984.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E APLICADAS A AGRICULTURA (CEPAGRI). Disponível em: < <http://www.cpa.unicamp.br> >. Acesso em: 14 mai. 2017.
- ESCOBEDO, J. F.; TERAMOTO, E. T.; OLIVEIRA, A. P. et al. Equações de estimativa das frações solar direta (k_{dh}) e difusa (k_d) em função do índice de claridade (k_t) e razão de insolação (n/N), Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 16, 2012.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 108, 225-230, 1982.
- IQBAL, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 390 p., 1983.
- JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; WILSON, D. R. A test of the computer simulation model ARC - WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, v.27, 337-350, 1991.
- LI, M.; TANG, X.; WU, W. et al. General models for estimating daily global solar radiation for different solar radiation zones in mainland China. Energy Conversion and Management, v.70, 139-148, 2013.
- SANTOS, C. M.; SOUZA, J. L.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. et al. On modeling global solar irradiation using air temperature for Alagoas State, Northeastern Brazil. Energy, v. 71, 338-398, 2014.
- SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F.; TADAO, E. T.; SILVA, S. H. M. G. Assessment of ANN and SVM models for estimating normal direct irradiation (H_b). Energy Conversion and Management, v.126, 826-836, 2016.
- SILVA, C. R.; SILVA, V. J.; ALVES JÚNIOR, J. et al. 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, 2012.
- SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, C. M. et al. Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN techniques to estimate the daily Global Solar Irradiation in Botucatu/SP/Brazil. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 160, pp. 11-23, 2017b.