

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DE BEBEDOURO (PE) UTILIZANDO TEMPERATURAS MÁXIMA E MÍNIMA DO AR.

Marcelo Cid de Amorim¹, Givanildo de Gois¹, Williams P. M. Ferreira², Ana Paula M. F. Toma³, Vanessa S. Miranda³, Ranieri C. F. de Amorim¹

ABSTRACT - This work had as objectives to propose and evaluate a model for estimation of global solar irradiance (R_g). The study was conducted in Bebedouro (latitude $9^{\circ}09'S$, longitude $40^{\circ}22' W$ altitude 373m), in the semi-arid Brazilian Northeast (NEB), a region under influence of the Sobradinho-CHESF dam and of several meteorological systems of macro climate. Models' performance was evaluated by regression analyses, using the determination coefficients (r^2) and the agreement index d of WILLMOTT. Actinograph measurements were the standard to compare with the model of BRISTOW & CAMPBELL and a proposed linear model, which showed the best precision and accuracy.

INTRODUÇÃO

A radiação solar é a principal fonte de energia; sendo elemento chave no processo de fotossíntese e, conseqüentemente, pela vida de todos os seres no planeta. Influencia outros processos ecológicos e ambientais relacionados à temperatura do ar e do solo, afetando a transferência de calor por meio da evaporação e transpiração (PEREIRA et al., 2002). Conhecer a dinâmica radiação solar local é de extremo valor para estudos básicos e aplicados nos campos da meteorologia, zootecnia, biologia, agricultura, meio ambiente, medicina, engenharia, arquitetura etc.

Dados contínuos e padronizados de radiação solar num determinado local são, na maioria das vezes, difíceis de obter. A questão operacional reside em mão-de-obra especializada e nos altos custos dos instrumentos de medidas e, tais como piranômetro e actinômetro. Na tentativa de amenizar este problema já foram propostos vários modelos que simulam a irradiância solar global a partir de informações meteorológicas (precipitação, temperatura e insolação). Assim, registros de temperatura em estações convencionais vêm sendo utilizados ao longo dos anos para estimar radiação (FERRONATO et al., 2003; BLANCO et al., 2002). BRISTOW e CAMPBELL (1984) propuseram um modelo empírico que estima a radiação solar global a partir das temperaturas máxima e mínima do ar e da radiação solar no topo da atmosfera. Tal método tem sido de grande valia em vários estudos quando não se dispõem de registros de radiação solar global nas estações meteorológicas.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do modelo BRISTOW e CAMPBELL e propor um modelo para estimar a radiação solar global, utilizando as variáveis meteorológicas temperaturas máxima e mínima do ar na localidade de Bebedouro – PE.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados mensais de radiação solar global e temperaturas máximas e mínimas referentes ao período: janeiro de 1975 a dezembro de 2004 (30

anos). Os registros foram medidos numa estação convencional, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, na localidade de Bebedouro – PE (latitude de $9^{\circ} 09' S$; longitude $40^{\circ} 22' W$ e altitude de 373m), que se encontra na região econômica do Baixo São Francisco, margem esquerda do Rio.

Adotou-se a metodologia proposta por BRISTOW e CAMPBELL (1984) para estimativa da radiação solar global (R_g) incidente na superfície terrestre. O modelo tem como variáveis meteorológicas a radiação no topo da atmosfera (R_0) e variação de temperatura máxima e mínima do ar (ΔT), conforme a equação 1:

$$R_g = R_0 A [1 - EXP(-B\Delta T^C)] \quad (1)$$

em que as constantes empíricas são $A=0,7$, $B=0,004$ e $C=2,4$. O parâmetro "A" representa a radiação máxima em um dia de céu claro e os parâmetros "B" e "C" são os controladores da variação de "A", caso ocorra aumento na diferença de temperatura. A variação da temperatura foi calculada pela equação 2:

$$\Delta T = T_x - \left[\frac{(T_n + T_{n+1})}{2} \right] \quad (2)$$

em que T_x é a temperatura máxima do dia ($^{\circ}C$), T_n é a temperatura mínima do dia ($^{\circ}C$), T_{n+1} é a temperatura mínima do dia posterior ($^{\circ}C$). A radiação no topo da atmosfera R_0 foi obtida pela equação 3:

$$R_0 = 37,6 \left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 H \text{ Sen } \phi \text{ Sen } \delta + \text{Cos } \phi \text{ Cos } \delta \text{ Sen } h \quad (3)$$

Em que R_0 é dado em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, $\left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2$ é o fator de correção da excentricidade da órbita terrestre, h é o Ângulo horário (graus), ϕ é a latitude (Graus), δ é a declinação solar (graus), H é o ângulo horário (radianos).

O novo modelo proposto nesse trabalho baseou-se na regressão linear entre os valores registrados pelo actinógrafo (R_g) e temperatura máxima (T_x), ou seja:

$$R_g = aT_x + b \quad (4)$$

Para avaliar o desempenho dos modelos utilizaram-se análises de regressão, envolvendo *coeficientes de determinação* (r^2), e o índice de concordância d , proposto por WILLMOTT et al. (1985). Quando se relacionam, pela regressão, valores estimados com valores observados, podem-se obter informações da precisão e da exatidão, que, conjuntamente, indicam a consistência dos dados estimados com os medidos. A *precisão*, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo r^2 . O índice d quantifica numericamente a *exatidão*. O valor d mostra como o modelo simula os valores observados, refletindo, numa escala de 0 a 1. O modelo de avaliação de Willmott fornece também outras importantes informações, como o erro absoluto médio (EAM) – medida de magnitude

¹ Estudantes de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), +55 (31) 3899-1890, mcid@vicosa.ufv.br;

² EMBRAPA – Monitoramento por Satélite – Campinas (SP), +55 (19) 3256-6030, williams@cnpm.embrapa.br;

³ Estudantes de Engenharia Agrônoma, UFV, Viçosa – MG, mitiko@hotmail.com, nessam@yahoo.com.br.

média das diferenças entre os valores estimados e observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o modelo linear entre os registros mensais do actinógrafo e da temperatura máxima durante 30 anos no local do estudo. Esta função apresentou um forte ajuste, r^2 de 0,92, indicando boa precisão para a estimativa da radiação solar global. A Tabela 1 e a Figura 2 mostram o desempenho do modelo linear proposto e sua distribuição ao longo do ano. A tendência foi de seguir os valores do actinógrafo. Estatisticamente foi um pouco mais preciso e mais exato que o modelo de BRISTOW e CAMPBELL. O nível de concordância, $d=0,76$, foi excelente quando se considera a simplicidade da expressão. O valor de r^2 foi de 0,41 e os erros EPE, EAM e EQM foram 1,29, 2,45 e 3,12 $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$.

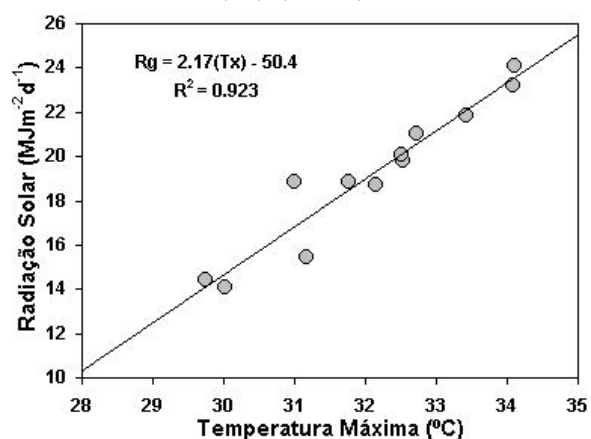


Figura 1. Radiação solar global solar medida em actinógrafo em função da temperatura máxima (Tx) em Bebedouro (PE) e o respectivo modelo de regressão linear.

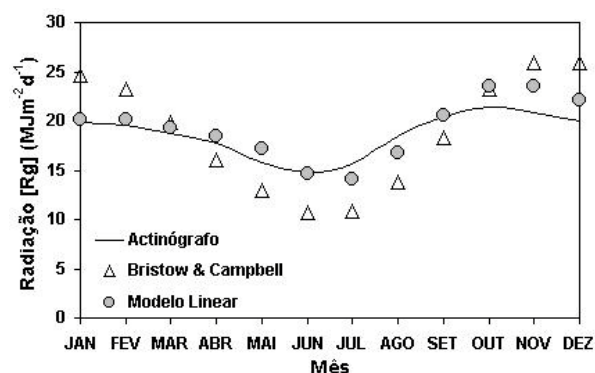


Figura 2. Radiação solar global, média mensal, observada e estimada, para Bebedouro (PE).

Tabela 1. Coeficientes de regressão e determinação do modelo linear proposto e do modelo de Bristow & Campbell para estimativa da radiação solar global em função da temperatura máxima (Tx) e respectivos erros e valores estimados em comparação com os registros de radiação solar obtido em actinômetro em Bebedouro (PE).

| MODELOS | a | b | R ² | D | EAM | EQM | EPE | Rg (MJ.m ⁻² .d ⁻¹) |
|----------------------|------|-------|----------------|------|------|------|------|---|
| Actinômetro | - | - | - | - | - | - | - | 18.58 |
| Rg=[2.17(Tx) - 50.4] | 0.93 | -1.93 | 0.41 | 0.76 | 2.45 | 3.12 | 1.29 | 19.22 |
| Bristow & Campbell | 1.40 | -7.60 | 0.40 | 0.66 | 4.09 | 4.94 | 1.12 | 18.80 |

a e b: Coeficientes; EAM: Erro Absoluto Médio; EQM: Erro Quadrado Médio; e EPE: Erro Padrão de Estimativa.

A Figura 2 mostra que o modelo BRISTOW e CAMPBELL subestimou os valores de radiação solar global mensal no outono e inverno e superestimou na primavera e verão. O coeficiente de determinação demonstrou baixa precisão ($r^2=0,40$), porém a exatidão foi satisfatória ($d=0,66$). Outros indicativos foram os valores de erros EPE, EAM e EQM que foram iguais a 1,12, 4.09 e 4.94 $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Esses valores demonstra a inferioridade do modelo BRISTOW e CAMPBELL em relação ao modelo linear proposto.

Fatores de ordem local podem ter interferido no desempenho do modelo BRISTOW e CAMPBELL. A estrutura empírica e os parâmetros não representam satisfatoriamente a radiação solar, no hemisfério sul, em especial, para a localidade em estudo. Nota-se que na região de Bebedouro, ou seja, no Baixo-Médio São Francisco, localiza-se a Barragem de Sobradinho, imenso lago artificial, que altera de forma significativa o clima desta localidade, principalmente, no conteúdo de água na atmosfera.

Outros fatores meteorológicos, na macro-escala, perturbaram o desempenho dos modelos; pois alteram significativamente a dinâmica de precipitação e o clima no Nordeste Brasileiro (NEB), tais como: Zona de Convergência Inter-Tropical, anos de El Niño e La Niña, Oscilação Sul e até brisas oceano-terra influenciam no clima na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- Blanco, F. F.; Sentelhas, P, C. Coeficientes da equação de Angström-Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba-SP. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 2002, Santa Maria - RS. V. 10. p 295-300.
- Bristow, K. L.; Campbell, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural Forest meteorology. 31, p.159-166, 1984.
- Ferronato, A.; Campelo Júnior, J. H.; Bezerra, E. L.; Mendonça, M. M. D. D. Estimativa da radiação solar global baseada em medidas de temperatura do ar. In XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Anais..., Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003. 1 CD-ROOM.
- Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P, C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas. Guaíba - RS: Livraria e editora Agropecuária Ltda. 2002. 478p.
- Willmott, C.J.; Ackleson, S.G.; Davis, J.J.; Feddema, K. M. & Klink, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Ottawa, 90(5):8995-9005, 1985.