

ESTIMATIVA DA IRRADIÂNCIA GLOBAL EM FUNÇÃO DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR À SUPERFÍCIE EM PONTA GROSSA, PR

André Belmont Pereira¹, Nilson Augusto Villa Nova², Emerson Galvani³

1. Introdução

Diversos pesquisadores do mundo inteiro têm feito uso da metodologia clássica de Angström para caracterizar o regime de distribuição de energia solar em suas regiões de estudo. Recentemente, Ramachanda & Subramanian (1997) utilizaram essa metodologia para estimar a irradiância solar global com base em um conjunto de dados de 20 anos para Mongalore e de 25 anos para Goa, na Índia. Sahin & Sen (1998) propuseram um método simples para estimar os coeficientes de Angström, a partir de dados de 28 estações radiométricas espalhadas pela Turquia, tendo sido as variações dos parâmetros regionais da equação de Angström obtidas para todo o país.

O levantamento do potencial de energia solar para fins de estudos de distribuição geográfica da radiação global no Brasil, irrigação, potencial de produção agrícola e zoneamento agro-climático é feito por redes do INMET e por instituições de pesquisa com o uso do actinógrafo de placa bimetálica. O emprego de equipamentos mais precisos, baseados no efeito termo-elétrico, bem como de sensores de estações automatizadas é ainda muito incipiente para atender às necessidades de todo território nacional.

Uma metodologia prática e expedita para estimativa da densidade de fluxo de radiação solar global, a qual dispensa a análise de uma exaustiva série de medidas radiométricas e que independe de integrações diárias de actinogramas em dias parcial ou completamente nublados, foi desenvolvida em Botucatu, SP (Pereira & Villa Nova, 1998), Piracicaba, SP (Villa Nova & Pereira, 1997), São Paulo, SP (Pereira et al., 1998) e testada em Pelotas, RS (Assis et al., 1998), em função da intensidade máxima de radiação solar observada no instante da passagem meridiana do sol, apresentando excelentes resultados nessas localidades.

Assim propôs-se, no presente trabalho, o desenvolvimento de um teste comparativo entre o critério de estimativa de Q_g baseado na metodologia clássica de Angström, a partir dos coeficientes **a** e **b** obtidos por Caramori et al. (1985), e aquele fundamentado no monitoramento do potencial máximo de radiação solar no município de Ponta Grossa, PR, Brasil.

2. Material e métodos

O presente estudo foi desenvolvido utilizando-se dados radiométricos da estação agrometeorológica convencional de Vila Velha, do

Instituto Agronômico do Paraná, localizada a uma latitude de 25°13' S, longitude de 50°03' W e altitude de 880 metros.

A densidade de fluxo de radiação solar global foi medida por um actinógrafo de placa bimetálica de Robtitzsch e seus totais diários obtidos por integração dos actinogramas, com o uso de um planímetro polar de compensação, Koizumi, tipo KP-27, para os dias completamente limpos, e o número de horas de brilho solar foi obtido por um heliógrafo Campbell-Stockes. A intensidade máxima de irradiância global medida ao meio solar (I_{12}) foi obtida por cotação dos actinogramas para a série de dias limpos selecionados na localidade estudada.

Para a estimativa da radiação total no topo da atmosfera, da declinação solar e do comprimento do dia ou insolação máxima foram utilizadas as equações adotadas por Pereira & Villa Nova (1998).

O modelo genérico adotado para estimar o potencial de energia solar à superfície fundamentou-se na teoria proposta por Pereira & Villa Nova (1998). De posse do potencial de energia solar à superfície, os coeficientes empíricos da equação de Angström foram calculados pela metodologia proposta para fins de determinação da irradiância global estimada, tendo sido, posteriormente, comparada com os valores observados em actinógrafos. O mesmo procedimento foi adotado a partir dos coeficientes **a** e **b** determinados por Caramori et al. (1985), visando-se comparação da performance do modelo proposto com aquela obtida pela metodologia convencional.

O aquecimento de água por intermédio de coletores solares foi determinado, objetivando-se ilustrar o aproveitamento da energia solar. Para tanto, considerou-se o máximo incremento possível de temperatura da água obtido por metro quadrado de coletor solar, definido pela seguinte expressão:

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot Q_{gmax} \cdot A}{V \cdot d \cdot C_p} \text{ ----- (1)}$$

em que: ΔT é o incremento de temperatura da água ($^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$); η é o rendimento dos coletores industriais, assumindo valor médio de 0,3; A é a superfície de captura do coletor solar plano (m^2); V é o volume de água considerado (m^3); d é a densidade da água (kgm^{-3}) e C_p refere-se ao calor específico do ar ($\text{MJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$).

3. Resultados e discussão

A equação de regressão linear simples proposta para avaliar o potencial de energia solar diário foi a seguinte:

¹ Dr., Prof. Adjunto - Dep. de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Ponta Grossa - Av. Carlos Cavalcanti, 4748 - Campus de Uvaranas - 84030-900 Ponta Grossa, PR. E-mail: abelmont@uepg.br

² Dr., Prof. Associado - Dep. de Ciências Exatas - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, CP9, Av. Pádua Dias, 11 - 13418-900 Piracicaba, SP.

³ Dr., Prof. Assistente - Dep. de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo - IAG/USP - Campus Universitário - 01065-970 São Paulo, SP

$$Q_{gmax}_{med} = 0,9423 Q_{gmax}_{est} \text{ (MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}\text{)}$$

O valor da estatística F foi altamente significativo, revelando forte correlação entre os dados medidos e estimados de potencial de energia solar. O teste t para o coeficiente linear da equação de regressão para o município de Ponta Grossa, PR, foi significativo ao nível de 1% de confiabilidade, fato que demonstra que o valor de a é estatisticamente diferente de zero. Os valores dos coeficientes de determinação R^2 , de Willmott d e o número de observações n foram, respectivamente, 0,965, 0,982 e 142.

Tanto a precisão, expressa pela dispersão dos dados em torno da reta de tendência, como também a exatidão das estimativas, representada pela flutuação dos dados ao redor da linha de 45° em um gráfico do tipo 1:1, foram consideravelmente elevadas (Pereira et al., 2002). Ao contrário do que foi observado por Pereira & Villa Nova (1998), Villa Nova & Pereira (1997) e Pereira et al. (1998), o modelo ligeiramente subestimou os valores de potencial de energia solar diário para o município de Ponta Grossa, PR. A validação do modelo proposto foi efetuada levando-se em conta um novo conjunto de dados radiométricos independentes. Portanto, a dispersão dos pares ordenados, obtidos pelo confronto entre medidas e estimativas a partir da série radiométrica não considerada na proposição do modelo, foi muito pequena, o que se confirma estatisticamente pelos coeficientes de determinação R^2 e de Willmott d correspondentes a 0,898 e 0,961, respectivamente. Tal fato reforça a viabilidade de utilização da metodologia proposta no local em estudo.

Embora a hipótese de que o valor instantâneo da radiação direta e difusa transmitidas através de um número m de massas ópticas da atmosfera, orientado normalmente na direção dos raios solares, seja considerado constante ao longo do dia não seja verdadeira, o modelo constitui excelente aproximação da realidade observada (Pereira et al., 2002), pois nele pode ser admitido que a integração do produto entre a irradiância solar máxima medida na passagem meridiana do sol e o valor do cosseno do ângulo zenital em cada instante, leva à obtenção de uma curva radiométrica estimada muito similar àquela registrada pelos actinogramas em dias completamente limpos.

Os coeficientes a e b da equação de Angström obtidos a partir da metodologia proposta geraram valores de irradiância global que seguem a tendência dos valores medidos, bem como às estimativas obtidas a partir dos coeficientes calculados por Caramori et al. (1985) pelo uso da metodologia convencional, tendo sido observado um erro sistemático de estimativa de, aproximadamente, $3 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (Pereira et al., 2002).

A variação nos parâmetros empíricos da regressão obtidos por ambos critérios de estimativa levou à obtenção de valores diários de irradiância global muito próximos, não se evidenciando diferenças que pudessem justificar a preferência de utilização da metodologia convencional em Ponta Grossa, PR, sobre a metodologia proposta por Pereira & Villa Nova (1998), pois a primeira requer integrações diárias de uma série de medidas muito

longa e de difícil cotação em dias parciais e completamente nublados.

Na Figura 1 podem ser observados os incrementos médios mensais de temperatura da água para cada metro quadrado de coletor, em função do potencial de energia solar disponível em Ponta Grossa, PR. A metodologia desenvolvida provê dados necessários para dimensionamento de coletores solares planos para fins de aquecimento de água, permitindo a avaliação da máxima performance possível desses sistemas de captura de energia, ao longo do ano, no local em estudo.

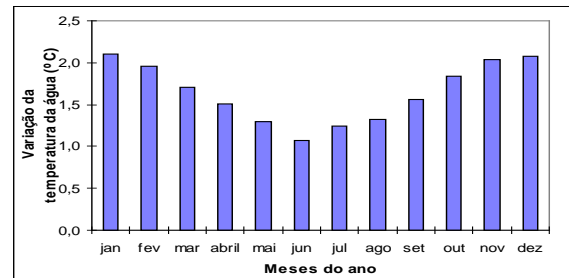


Figura 1: Potencial de acréscimo de temperatura da água em coletor solar plano, ao longo do ano, no município de Ponta Grossa, PR, Brasil.

5. Referências bibliográficas

- ASSIS, F.N.; STEINMETZ S.; MARTINS, S.R.; MENDES, M.E.G. Aplicabilidade de modelos de estimativa da radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, p.91-97. 1998.
- CARAMORI, P.H.; CORREA, A.R.; BORROZZINO, E. Estimativa da radiação solar global diária para Ponta Grossa, PR, a partir da insolação diária. **Poliagro**, v.7, p.107-118, 1985.
- PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A. Modelo de estimativa do potencial de energia solar diária disponível no município de Botucatu, SP, Brasil. **Energia na Agricultura**, v.13, p.38-50. 1998.
- PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A.; ESCOBEDO, J.F.; OLIVEIRA, A. Evaluation of the solar energy potential at surface in São Paulo, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, p.99-104. 1998.
- PEREIRA, A.B.; VRISMAN, A.L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.211-216. 2002.
- RAMACHANDRA, T.V.; SUBRAMANIAN, D.K. Potential and prospects of solar energy in Uttara Kannada, District of Karnataka State, India. **Energy Sources**, v.19, p.945-988. 1997.
- SAHIN, A.D.; SEN, Z. Statistical analysis of the Angström formula coefficients and application for Turkey. **Solar Energy**, v. 62, p.29-38. 1998.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B. Avaliação do potencial de energia solar no município de Piracicaba, SP, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.413-415.