

EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA ANUAL E MENSAL DA IRRADIÂNCIA DIRETA NA HORIZONTAL

Alexandre Dal Pai¹, João Francisco Escobedo¹

ABSTRACT - In this paper it is proposed annual and monthly direct radiation estimate equations as a function of K_t clearness index. The global irradiance was measured by an Eppley PSP piranometer and the direct irradiance by an Eppley NIP pyreliometer coupled the a solar tracking system ST-3. The validations were performed by the MBE and RMSE statistical indicators. The results showed that the proposed equations were appropriate to estimate the annual and monthly direct radiation.

INTRODUÇÃO

É conhecido que as estações meteorológicas automáticas trouxeram um enorme avanço na captação e no armazenamento de dados, trazendo rapidez e confiabilidade nas medidas. A facilidade de se dispor de equações neste sistema permite que correções e funções possam ser programadas e aplicadas instantaneamente, tão logo sejam feitas as leituras, contribuindo para a automação na operação dos dados.

Esta modernidade contribuiu nos estudos da radiação solar, visto que intervalos de tempo menores puderam ser usados na coleta de dados. Assim, as medidas instantâneas oferecem, como vantagem, a identificação de fatores que influenciam a radiação, tal como o efeito da massa ótica, que normalmente não é visualizada nos estudos que utilizam a equipartição diária. A presença de nuvens no céu, além de modificar o montante da radiação global, apresenta processos dinâmicos que contribuem para a grande variabilidade dos valores instantâneos. Essa variabilidade temporal tem um impacto significativo nos estudos da eficiência de sistemas de conversão de energia solar, especialmente para os sistemas fotovoltaicos, desenvolvidos para uma resposta rápida e não-linear à radiação solar incidente. Já as partições diária e horária expressam essa variabilidade de forma mais branda, sendo indicados para predição de modelos climatológicos, em estudos de satélites e aplicações agrônômicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados são do banco de dados do Laboratório de Radiometria Solar de Botucatu – SP, do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP. As coordenadas geográficas são 22° 54' latitude Sul, 48° 27' longitude Oeste e 786 m de altitude. Os modelos de correção e os modelos de estimativa foram desenvolvidos com dados do período de março de 1996 a fevereiro de 1998 e a validação utilizou os dados de março de 1998 a fevereiro de 1999.

As medidas da radiação direta foram realizadas por um pireliômetro Eppley-Nip, devidamente acoplado a um sistema de rastreamento solar Eppley modelo ST-3, fixo na direção norte-sul geográfico, com fator de calibração de $7,76 \times 10^{-6} \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$. A radiação global foi medida com um

piranômetro Eppley-PSP, com fator de calibração de $8,13 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$.

Utilizou-se um sistema de coleta de dados digital, por meio de um Datalogger Campbell Scientific 21X, operando na frequência de 1Hz e realizando a média aritmética para cada 300 leituras ou 5 minutos.

Para a formulação das equações de estimativa foram utilizados os seguintes indicativos estatísticos: MBE e RMSE (Stone. 1993).

$$MBE = \frac{\sum_i^N (y_i - x_i)}{N}$$
$$RMSE = \left[\frac{\sum_i^N (y_i - x_i)^2}{N} \right]^{1/2}$$

em que y_i são os valores estimados, x_i os valores medidos e N o número de observações.

O desvio das médias MBE (Mean Bias Error) é um indicativo que fornece informação no desempenho de um modelo a longo prazo. Um valor positivo indica uma superestimação, pelo modelo, da radiação. Para um valor negativo ocorre o inverso. Quanto menor seu valor absoluto, melhor é sua performance. A raiz quadrada do desvio quadrático médio RMSE (Root Mean Square Error) fornece informação quanto ao desempenho do modelo à curto prazo. Quanto menor seu valor, menor a dispersão dos dados em torno do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em virtude da partição média 5 minutos apresentar uma grande quantidade de pontos, houve a necessidade de desenvolver expressões médias em função dos pontos médios da radiação, dividindo-se assim o intervalo do índice de claridade K_t em cem sub-intervalos.

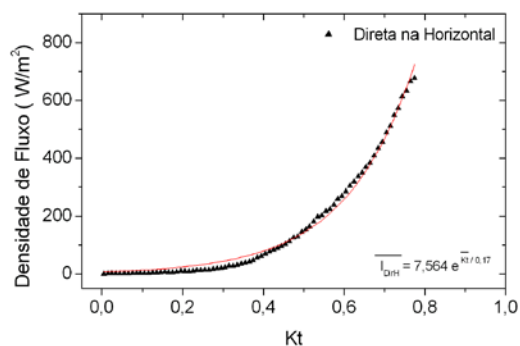


Figura 1. Modelo da radiação direta na horizontal em função do índice de claridade

O melhor ajuste para equação de estimativa para a radiação direta na horizontal foi uma curva exponencial dada por:

¹ Depto. De Recursos Ambientais (Setor Ambientais), FCA, Univ. Estadual Paulista, Botucatu, Fazenda Experimental Lageado, CP 237, 18603-970, Botucatu, SP, Brazil. (dalpai@fca.unesp.br)

$$\overline{I_{DirH}} = 7,564e^{\overline{Kt}/0,17} \quad \overline{Kt} \leq 0,78$$

Na Figura 1 é observada a curva do modelo de estimativa da radiação direta na horizontal em relação aos pontos médios observados. Verificou-se uma leve tendência de superestimativa na faixa entre $0,15 < Kt < 0,4$ e subestimativa para valores entre $0,5 < Kt < 0,6$. A validação apresentada na Figura 2 mostra os valores dos indicativos MBE e RMSE de, respectivamente, $4,72 \text{ W/m}^2$ e $18,99 \text{ W/m}^2$, expressando um bom desempenho do modelo.

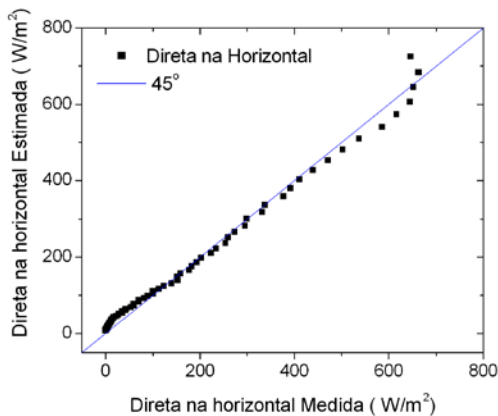


Figura 2. Validação anual do modelo da radiação direta na horizontal.

Para verificar a sazonalidade do modelo proposto, foi realizada a validação mensal com dados no período de março de 1998 à fevereiro de 1999, e Tabela 1.

Tabela 1. Indicativos estatísticos MBE e RMSE para a direta na horizontal.

Mês	Direta na Horizontal	
	MBE (W/m ²)	RMSE (W/m ²)
Janeiro	-7,38	44,88
Fevereiro	-22,81	61,83
Março	-2,27	28,82
Abril	5,89	36,89
Maio	16,78	56,89
Junho	52,01	65,36
Julho	27,31	57,02
Agosto	18,29	72,84
Setembro	-3,54	43,84
Outubro	-3,19	35,99
Novembro	-23,87	46,11
Dezembro	-11,36	30,61

O menor valor absoluto encontrado para MBE foi para o do mês de março ($-2,27 \text{ W/m}^2$), apresentando também a menor dispersão dos dados em torno do modelo, conforme o menor valor de RMSE ($28,82 \text{ W/m}^2$). Os meses de outubro e setembro também apresentaram valores baixos para MBE, sugerindo que

o modelo exibe boa performance para épocas próximas aos equinócios. Verificou-se que, para os meses de inverno, o modelo superestima os valores da radiação direta na horizontal, enquanto que para os meses de verão o modelo subestima a radiação direta na horizontal. Isto se deve à variação da massa ótica para as diferentes períodos do ano, causando maior atenuação da radiação direta no sentido do crescimento da massa ótica, e assim promovendo os efeitos da sazonalidade no modelo (Suehrcke E McCormick, 1988).

A grande variação dos indicativos estatísticos MBE e RMSE da Tabela 1 é causada pela validação do modelo médio anual com dados mensais. Para minimização dessa variação, recomenda-se a utilização das equações das médias mensais apresentadas na Tabela 2, as quais permitem um maior detalhamento da radiação direta na horizontal para um determinado mês do ano.

Tabela 2. Coeficientes das equações mensais da radiação direta na projeção horizontal e seu coeficiente de determinação.

Meses	DirH = a exp(Kt / b)		
	a	b	R ²
Janeiro	9,65	0,176	0,98
Fevereiro	7,23	0,162	0,95
Março	6,73	0,164	0,98
Abril	9,71	0,182	0,98
Maio	9,36	0,186	0,94
Junho	5,47	0,163	0,98
Julho	6,42	0,168	0,95
Agosto	12,80	0,196	0,95
Setembro	10,06	0,181	0,96
Outubro	6,11	0,159	0,98
Novembro	3,06	0,137	0,95
Dezembro	6,59	0,161	0,97

REFERÊNCIAS

- Barbaro, S., Coppolino, S., Leone, C., Sinagra, E. An atmospheric model for computing direct and diffuse solar radiation. *Solar Energy*, v.22, p.225-8, 1979.
- Graham, V. A., Hollands, K. G. T., Unny, T. E. A time series model for K, with applications to global synthetic weather generation. *Solar Energy*, v.40, n.2, p.83-92, 1988.
- Ma, C. C. Y., Iqbal, M. Statistical comparison of solar radiation correlations. *Solar Energy*, v.33, n.2, p.143-8, 1984.
- Stone, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. *Solar Energy*, v.51, n.4, p.289-91, 1993.
- Suehrcke, H., McCormick, P. G. The frequency distribution of instantaneous insolation values. *Solar Energy*, v.40, n.5, p.413-22, 1988.

Agradecimentos: ã Capes, CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro.