

# ESTIMATIVA HORÁRIA DA RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA GLOBAL, DIRETA E DIFUSA.

GOMES, Eduardo Nardini<sup>1</sup>; ESCOBEDO, João Francisco<sup>2</sup>

## INTRODUÇÃO

A energia solar efetivamente disponível em cada hora do dia às diversas comunidades vegetais é um conhecimento extremamente importante na agricultura moderna, principalmente em estudos fisiológicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento de plantas. A energia na faixa de comprimento de onda mais utilizável pelas plantas é a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e encontra-se na faixa espectral de 0,4 a 0,7 $\mu$ m. A irradiação PAR global ( $H_{Gp}$ ) é representada pela soma da PAR direta ( $H_{Dp}$ ) e PAR difusa ( $H_{dp}$ ), sendo que ambas são utilizadas pelas plantas no processo de fotossíntese (Karalis, 1989). Apesar da importância, estas componentes não vem sendo medidas de rotina na maioria das estações agrometeorológicas convencionais, devido principalmente a limitações de natureza instrumental, o que impede a confrontação das irradiações efetivamente medidas na superfície terrestre com informações fornecidas por satélites a cada hora. Para fins práticos alguns autores utilizam  $H_{Gp}$  representando 50% da radiação global ( $H_G$ ). Outros autores propõem modelos estatísticos de estimativa de  $H_{Gp}$  em função de  $H_G$ . A fração radiométrica  $H_{Gp}/H_G$  assume valores entre 44% e 69% (Britton & Dodd, 1976; Stigter & Musabilha, 1982; Assunção, 1995), cuja variação deve-se a estados atmosféricos diferenciados que atenuam as componentes da radiação global e direta. Para  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  poucas são as informações disponíveis na literatura (Karalis, 1989; Grant, 1997; Alados & Alados-Arboledas, 1999; Möttus et. al., 2001), mostrando a necessidade de desenvolvimento de modelos de estimativa para estas componentes. Assim, os objetivos deste trabalho foram desenvolver equações horárias de estimativa das componentes  $H_{Gp}$ ,  $H_{Dp}$ , e  $H_{dp}$  em função de  $H_G$ ,  $H_D$  e  $H_d$  e das componentes  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  em função de  $K_t$  (transmissividade atmosférica).

## MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados deste estudo é constituída de medidas das irradiações horárias global ( $H_G$ ), direta ( $H_D$ ), PAR global ( $H_{Gp}$ ) e PAR direta ( $H_{Dp}$ ) realizadas no período de maio de 1999 a setembro de 2000, na Estação de Radiometria Solar da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP/Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O, altitude 786m). As irradiações  $H_G$  e  $H_{Gp}$  foram determinadas através de um piranômetro EPPLEY-PSP e um sensor quântico da LI-COR, enquanto que as irradiações  $H_D$  e  $H_{Dp}$  por pireliômetro EPPLEY-NIP e um pireliômetro com sensor quântico LI-COR, desenvolvido na Estação de Radiometria Solar, ambos acoplados a um rastreador solar da EPPLEY modelo ST-3. Foram determinadas pelo método da diferença as irradiações difusa ( $H_d = H_G - H_D$ ) e PAR difusa ( $H_{dp} = H_{Gp} - H_{Dp}$ ). Utilizou-se 12 meses para gerar os modelos, e 3 meses posteriores na validação dos modelos estatísticos, que se deu através dos indicativos estatísticos MBE e RMSE e d (Willmott, 1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra a correlação entre as irradiações horárias  $H_G$  e  $H_{Gp}$  (fig.1a);  $H_D$  e  $H_{Dp}$  (fig.1b);  $H_d$  e  $H_{dp}$  (fig.1c), e os respectivos modelos estatísticos I, II e III, ajustados através de regressão linear simples. Os coeficientes angulares dos modelos estatísticos indicaram o quanto (na média) a PAR representou da radiação do espectro total. Considerando todos os tipos de cobertura de céu, no período de junho de 1999 a maio de 2000,  $H_{Gp}$  representou cerca de 48% de  $H_G$ ;  $H_{Dp}$  41% de  $H_D$ , e  $H_{dp}$  54% de  $H_d$ .

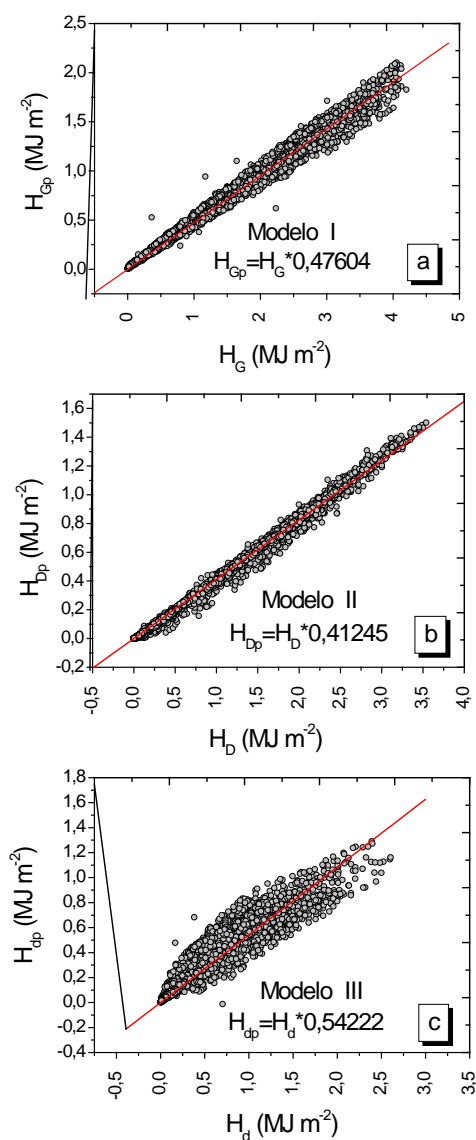


Fig. 1. Correlação entre as irradiações global ( $H_G$ ) e PAR global ( $H_{Gp}$ ) (a); direta ( $H_D$ ) e PAR direta ( $H_{Dp}$ ) (b); difusa ( $H_d$ ) e PAR difusa ( $H_{dp}$ ) (c), e modelos estatísticos I, II e III, ajustados através de regressão linear simples.

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Irrigação e Drenagem da FCA / UNESP, câmpus de Botucatu, SP. E-mail: [engomes@fca.unesp.br](mailto:engomes@fca.unesp.br)

<sup>2</sup> Dr. Professor da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, câmpus de Botucatu, SP. E-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

Outra forma atualizada de estimativa de  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  é através das frações radiométricas, representadas pela transmissividade atmosférica da radiação global ( $K_t=H_G/H_0$ ), PAR direta ( $K_{Dp}=H_{Dp}/H_0$ ) e PAR difusa ( $K_{dp}=H_{dp}/H_0$ ). Estas frações permitem a obtenção indireta das componentes  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  em função  $K_t$ .

A figura 2 mostra a correlação entre os valores médios das frações radiométricas  $K_{Dp}$  (fig. 2a) e  $K_{dp}$  (fig. 2b) obtidos em função de intervalos centesimais de  $K_t$  e seus respectivos desvios. As curvas médias ajustadas resultaram nos modelos IV (fig.2a) e V (fig.2b).

A importância dos modelos IV e V advém do fato que estes dependem unicamente de  $K_t$  na determinação de  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$ , enquanto que os modelos II e III dependem das irradiações direta ( $H_D$ ) e difusa ( $H_d$ ), que são componentes de menor acessibilidade na rede agrometeorológica mundial.

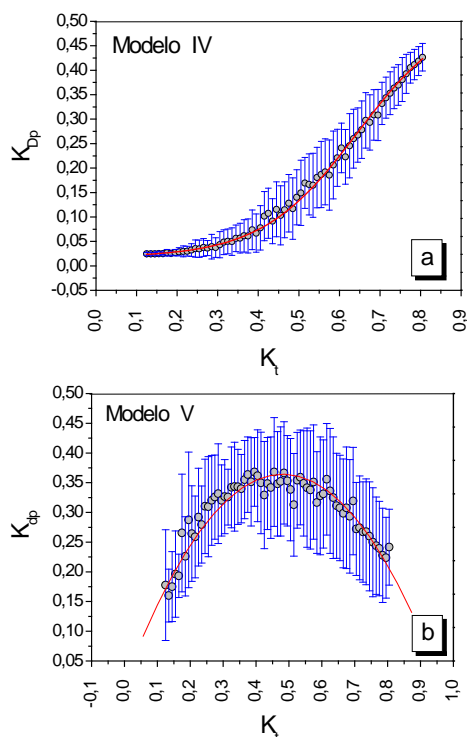


Fig. 2. Correlação entre os valores médios das frações radiométricas  $K_{Dp}$  (fig. 2a) e  $K_{dp}$  (fig. 2b) obtidos em função de intervalos centesimais de  $K_t$  e seus respectivos desvios e modelos ajustados.

Devido a forma característica de cada correlação, determinou-se qual o melhor tipo de função matemática a ajustar, de modo que o modelo IV foi gerado a partir de uma função logística de Boltzman, enquanto que o modelo V através de uma função polinomial de segundo grau, representadas por:

$$\text{Modelo IV } K_{Dp} = \frac{-0,34784}{1 + \exp[(Kt - 0,64458)/0,11784]} + 0,3436$$

$$\text{Modelo V } K_{dp} = 0,00897 + 0,64786 * Kt - 0,67299 * (Kt)^2$$

Os resultados da validação dos modelos propostos (tabela 1) indicaram que estes apresentam elevado nível de confiança na estimativa, pois os valores percentuais de MBE foram baixos, próximos a 4% (com exceção ao modelo III), e o índice de ajustamento (d) foi superior a 93%, revelando a qualidade da modelagem.

Tabela 1: Resultados estatísticos da validação dos Modelos I, II, III, IV e V.

	MBE(%)	RMSE(%)	d
Modelo I	-4,47	10,39	0,995
Modelo II	3,07	6,47	0,999
Modelo III	-20,74	34,33	0,938
Modelo IV	-1,53	23,64	0,986
Modelo V	-3,70	31,29	0,933

Os modelos I, III, IV e V subestimaram os valores experimentais, enquanto que somente o modelo II superestimou. O modelo II foi ligeiramente superior ao IV na estimativa de  $H_{Dp}$ , devido aos melhores resultados obtidos frente aos indicativos estatísticos RMSE (17,2% menor) e d (0,999), indicando um elevado ajustamento do modelo aos valores experimentais.

Já na estimativa de  $H_{dp}$ , os modelos III e V apresentaram desempenho muito parecido frente aos indicativos estatísticos RMSE e d. Os modelos III e V apresentaram elevados valores de RMSE e apresentaram um menor índice de ajustamento em relação aos modelos anteriormente discutidos (na estimativa de  $H_{Dp}$ ). O maior nível de imprecisão destes modelos deve-se provavelmente a anisotropia da radiação solar difusa, principalmente quando os valores de  $K_t$  são superiores a 0,3.

Deve-se no entanto salientar que todos os modelos propostos são adequados na estimativa das componentes global, direta e difusa da radiação fotossinteticamente ativa, e seu uso depende do grau de precisão que se deseja atingir, e da disponibilidade de sensores radiométricos.

## CONCLUSÃO

No período de junho de 1999 a maio de 2000, a irradiação PAR global ( $H_{Gp}$ ) representou, na média, cerca de 47,6% da global ( $H_G$ ); a PAR direta ( $H_{Dp}$ ) cerca de 41,3% da direta ( $H_D$ ) e a PAR difusa ( $H_{dp}$ ) em torno de 54,2% da difusa ( $H_d$ ). Os modelos propostos mostraram-se adequados na estimativa horária das componentes  $H_{Gp}$ ,  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$ , com vantagem para os modelos I, II e V, respectivamente. Os modelos alternativos IV e V, baseados na curva média de  $K_{dp}$  e  $K_{Dp}$  mostraram ser uma forma alternativa de estimativa das componentes  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  através de valores de  $K_t$ , que é uma fração radiométrica de fácil obtenção na rede agrometeorológica mundial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. For. Meteorol.*, v.93, p.27-38, 1999.
- ASSUNÇÃO, H.F. *Relações entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global em Piracicaba-SP*. Piracicaba, 1995. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agrometeorologia)-Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- GRANT, R.H. Shadow-band corrections for photosynthetically active radiation under clear and overcast conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 87, p. 212-22, 1997.
- KARALIS, J.D. Characteristics of direct photosynthetically active radiation. *Agric. For. Meteorol.*, v.48, p.225-34, 1989.
- MÔTTUS, M., ROSS, J., SULEV, M. Experimental study of ratio of PAR to direct integral solar radiation under cloudless conditions. *Agric. For. Meteorol.*, v.109, p.161-70, 2001.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Physic Geogr.* v.2, p.184-94, 1981.

Apoio financeiro: CNPq (14577/2002-2 e 572108/1998-2), Capes e FAPESP.