

RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA GLOBAL, DIRETA E DIFUSA COM BASE NO NÚMERO DE HORAS DE BRILHO SOLAR

GOMES, Eduardo Nardini¹; ESCOBEDO, João Francisco², FRISINA, Valéria de Almeida³

INTRODUÇÃO

A crise energética mundial do final do século XX e início do XXI alterou profundamente a tendência de uso de determinadas fontes energéticas, e desde então a ciência vem buscando fontes alternativas de energia, como é o caso da energia solar. A energia solar efetivamente disponível ao processo de biossíntese vegetal é chamada radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e encontra-se na faixa espectral de 0,4 a 0,7 μ 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. Os vegetais são eficientes conversores desta energia radiante em energia química (carboidratos), que pode ser posteriormente transformada em combustíveis renováveis de forma líquida, como o álcool etílico da cana de açúcar, o óleo de soja, girassol, babaçu, dentre outros, e de forma sólida como é a madeira oriunda do eucalipto e pinus. A PAR apresenta também destacada importância na modelagem de florestas (Hassika & Berbigier 1998), em ambiente protegido (Frisina et al. 2000) e em modelagem ecológica (Brock, 1981; Silva & Asmus, 2001).

Apesar desta importância, as componentes da PAR não vem sendo medidas de rotina na maioria das estações agrometeorológicas convencionais, devido principalmente a limitações de natureza instrumental. Para fins práticos, alguns autores utilizaram H_{Gp} representando 50% da radiação global (H_G). Outros autores (Stigter & Musabilha, 1982; Assunção, 1995) afirmaram que devido a estados atmosféricos diferenciados que atenuam as componentes da radiação global e direta, a fração radiométrica H_{Gp}/H_G pode assumir valores entre 43% e 69%. 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), o que mostra a necessidade de desenvolvimento de modelos de estimativa destas irradiações através de parâmetros atmosféricos de acessibilidade comum a rede solarimétrica e agrometeorológica mundial. Uma alternativa seria utilizar da metodologia proposta por Ångström (1924) e Prescott (1940) na estimativa da radiação global, para estimar as componentes global, direta e difusa da PAR. O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos estatísticos de estimativa da PAR global, direta e difusa em função da razão de insolação.

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados deste estudo é representado pelas irradiações diárias global (H_G), PAR global (H_{Gp}) e PAR direta (H_{Dp}) e do número de horas de brilho solar (n), 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 obtidas através de um piranômetro EPPLEY-PSP e um sensor quântico da LI-COR. A irradiação H_{Dp} foi obtida através de um pireliômetro com sensor quântico LI-COR, desenvolvido na Estação de Radiometria Solar, acoplado a um rastreador solar da EPPLEY modelo ST-3. A irradiação PAR difusa ($H_{dp}=H_{Gp}-H_{Dp}$) foi determinada pelo método da diferença. A irradiação no topo da atmosfera (H_0) foi calculada de acordo com Iqbal, (1983). Foram calculadas as transmissividades atmosféricas da radiação global ($K_t=H_G/H_0$) e PAR global ($K_{tp}=H_{Gp}/H_0$) de forma a serem empregados em modelos estatísticos que seguem a equação inicialmente proposta por Ångström (1924) e modificada por Prescott (1940): $K_x=a+b*(n/N)$, onde a e b são os coeficientes de transmissividade mínima e máxima, n representa o número de horas de brilho solar, N é o fotoperíodo calculado de acordo com Iqbal (1983), e K_x assume valores de K_t e K_{tp} . Neste trabalho também são propostos modelos estatísticos onde K_x assume valores das frações radiométricas $K_{Dp}(H_{Dp}/H_G)$ e $K_{dp}(H_{dp}/H_G)$, de forma a se determinar, através da razão de insolação, as frações PAR direta (K_{Dp}) e PAR difusa (K_{dp}) da irradiação global. Utilizou-se 12 meses para gerar os modelos, e 3 meses posteriores na validação, que se deu através dos indicativos estatísticos MBE e RMSE e d (Willmott, 1981).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra a correlação entre a razão de insolação (n/N) e as frações radiométricas K_t (fig. 1a) e K_{tp} (fig. 1b) no período de junho de 1999 a maio de 2000, bem como os modelos estatísticos I (fig. 1a) e II (fig. 1b) ajustados através de regressão linear simples. Conhecendo-se os valores da irradiação no topo da atmosfera (H_0), os modelos I e II permitem a estimativa das irradiações H_G e H_{Gp} através de n/N . Ocorreu uma grande dispersão dos dados na figura 1, principalmente quando n/N tende a zero. Assunção (1995) afirma que este efeito deve-se aos diferentes tipos de nuvem que predominam durante o dia, o que provoca uma diferenciada absorção na faixa do infravermelho de ondas curtas. Quando a razão de insolação tende a valores máximos, H_G representa cerca de 72% de H_0 (fig. 1a), e H_{Gp} é cerca de 33% H_0 (fig. 1b), indicando que a transmissividade atmosférica da PAR global é em torno de 46% da global.

A figura 2 mostra a correlação entre a razão de insolação (n/N) e as frações radiométricas K_{Dp} (fig. 2a) e K_{dp} (fig. 2b) no período de junho de 1999 a maio de 2000, além dos modelos propostos III (fig. 2a) e IV (fig. 2b). Estes modelos (III e IV) permitem a estimativa das componentes H_{Dp} e H_{dp} através de medidas experimentais do número de horas de brilho solar, da radiação global (que pode também ser estimada pelo modelo I), e do fotoperíodo calculado diariamente. A figura mostrou também que as frações radiométricas K_{Dp} (fig. 2a) e K_{dp} (fig. 2b) apresentaram dependência inversa com relação a n/N . Quando n/N é alto (tendendo a 1), K_{Dp} é elevado (33%) e K_{dp} baixo (15%), já quando n/N é baixo, K_{Dp} tende a valores mínimos (próximos de zero) e K_{dp} tende a valores máximos (50%).

¹ Doutorando do Curso de Irrigação e Drenagem da FCA / UNESP, câmpus de Botucatu, SP. E-mail: engomes@fca.unesp.br

² Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, SP. E-mail: escobedo@fca.unesp.br

³ Departamento de Recursos Naturais da FCA / UNESP, câmpus de Botucatu, SP.

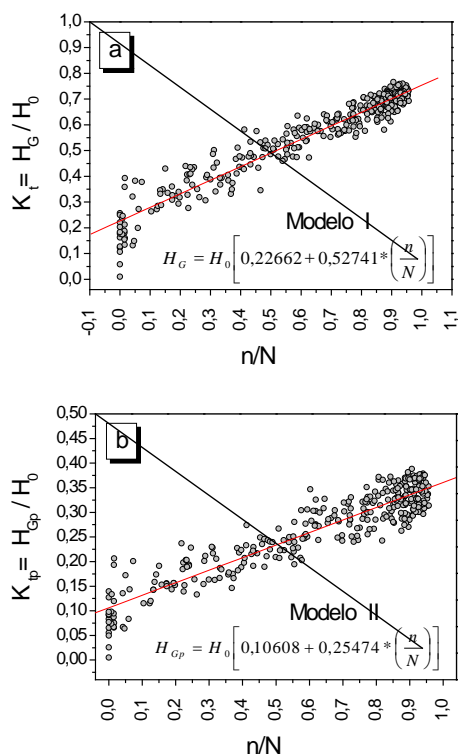


Fig. 1. Correlação entre a razão de insolação (n/N) e as transmissividades atmosféricas da global (K_t) (a) e PAR global (K_{tp}) (b) e modelos estatísticos I e II ajustados através de regressão linear simples.

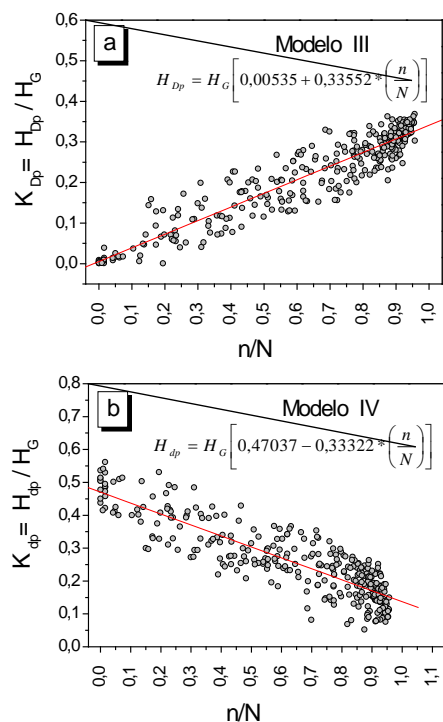


Fig. 2 Correlação entre a razão de insolação (n/N) e as frações radiométricas K_{Dp} (a) e K_{dp} (b) e modelos estatísticos III e IV ajustados através de regressão linear simples.

A avaliação dos modelos propostos (tabela 1) mostrou os modelos I e II subestimam os valores experimentais de H_G e H_{Gp} em 1,07% e 0,62%, respectivamente, enquanto que os modelos III e IV superestimaram os valores experimentais de H_{Dp} e H_{dp} em 1% e 0,11%, respectivamente.

Tabela 1: Resultados estatísticos da validação dos Modelos I, II, III e IV, utilizando uma base de dados de junho a agosto de 2000.

	MBE(%)	RMSE(%)	d
Modelo I	-1,07	8,99	0,983
Modelo II	-0,62	12,45	0,963
Modelo III	1,07	20,79	0,973
Modelo IV	0,11	28,12	0,819

O índice de ajustamento dos modelos propostos foi elevado, sendo em geral superior a 96%, o que mostra a qualidade da modelagem. O modelo IV apresentou índice de ajustamento ligeiramente pior (81,9%), devido principalmente ao efeito da anisotropia da radiação solar difusa.

CONCLUSÃO

Os modelos propostos apresentaram elevado índice de ajustamento, e mostraram-se eficientes na estimativa das componentes H_{Gp} , H_{Dp} e H_{dp} através de medidas experimentais do número de horas de brilho solar, com resultados próximos aos obtidos pelo modelo de Ångström para a estimativa da radiação solar global.

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.
- ÅNGSTÖM, A. Solar and terrestrial radiation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, v.50, p.121-25, 1924.
- 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 "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BROCK, T.D. Calculating solar radiation for ecological studies. *Ecological Modelling*, v. 14, p. 1-19, 1981.
- FRISINA, V.A., ESCOBEDO, J.F., GOMES, E.N. Equações de estimativas diárias das componentes global, difusa e refletida da radiação solar total e fotossinteticamente ativa (PAR) em estufa de polietileno. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. CD..Rio de Janeiro: CBA, 2000.
- 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.
- HASSIKA, P., BERBIGIER, P. Annual cycle of photosynthetically active radiation in maritime pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 90, p. 157-71, 1998.
- IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983. 390 p.
- KARALIS, J.D. Characteristics of direct photosynthetically active radiation. *Agric. For. Meteorol.*, v.48, p.225-34, 1989.
- MÖTTUS, 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.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. *Trans. R. Soc. Sci. Aust.*, v. 64, p. 114-25, 1940.
- SILVA, E. T., ASMUS, M. L. A dynamic simulation model of the wideopen grass *Ruppia maritima* and its epiphytes in the estuary of the Patos Lagoon, RS, Brazil. *Ecological Modelling*, v. 137, p. 161-79, 2001.
- STIGTER, C.J., MUSABILHA, M.M. The conservative ratio of photosynthetically active to total radiation in the tropics. *J. Appl. Ecol.*, v.19, p.853-8, 1982.
- 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) e FAPESP.