

# RADIAÇÕES GLOBAL, DIFUSA, PAR-GLOBAL E PAR-DIFUSA EM AMBIENTE PROTEGIDO COM POLIETILENO.

Lia da Silva Marchi, João Francisco Escobedo, Eduardo Nardini Gomes- Agronomia- Departamento de Recursos Naturais- Faculdade de Ciências Agrônômicas- Campus Botucatu

## 1. INTRODUÇÃO

Ambiente protegido com polietileno tem se tornado freqüente em cultivo agrícola. A grande vantagem do uso deste microsistema consiste no aumento de produção de hortaliças, flores e mudas, principalmente nos períodos de entressafras, permitindo maior regularização de oferta e melhor qualidade dos produtos. Os fatores que favorecem o melhor desenvolvimento da cultura são: diminuição de efeitos adversos como fortes ventos que normalmente provocam danos às plantas; diminuição de pragas; obtenção de temperaturas ideais que permitem maior rapidez no crescimento, e o aumento da fração da radiação difusa em relação à global ( $K_d = H_d/H_G$ ), que é considerada a componente mais eficiente para a fotossíntese por atingir área foliar mais homogeneamente (Weiss & Norman, 1985).

Dada a importância para agricultores e pesquisadores e que as modificações climáticas são fundamentais para um melhor planejamento do cultivo nas estufas, este trabalho teve por objetivo efetuar medidas das radiações global, difusa, PAR global e PAR difusa, dentro e fora da estufa, e, a partir destas, obter através de regressão linear equações de estimativa das radiações internas a partir das medidas das radiações externas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP, da UNESP (latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m). O clima do município de Botucatu é classificado segundo o Sistema Köppen, como Cwa: clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. O ambiente protegido é constituído por uma estufa tipo arco 7 x 40, coberta com filme de polietileno transparente (100 µm de espessura) e laterais de tela de nylon (sombreamento de 50%), com as seguintes dimensões: 7 m largura, 20 m comprimento e 3,5 m de altura.

As irradiâncias global foram medidas por piranômetro Eppley PSP e Kipp-Zonen CM 3, enquanto as irradiâncias PAR global por detectores quânticos Li-Cor. As irradiâncias difusas foram monitoradas através de anéis de sombreamento ME nas seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura e 1mm de espessura, usando os piranômetro Kipp-Zonen e Eppley PSP na medida das irradiâncias e sensores quânticos Li-Cor na medida de. O fator FC usado para compensar a irradiação difusa barrada pelo anel é determinado pela expressão:

$FC = [1 - (H'_d / H_d)]^{-1}$ , onde  $H_d$  é a irradiação difusa e  $H'_d$ , a irradiação difusa interceptada durante o dia. A razão  $H'_d / H_d$  foi calculada pela equação:

$$H'_d / H_d = \left( \frac{2b}{\pi R} \right) \cos(\delta) \left[ \frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \int_0^{\omega_p} \cos(z) d\omega$$

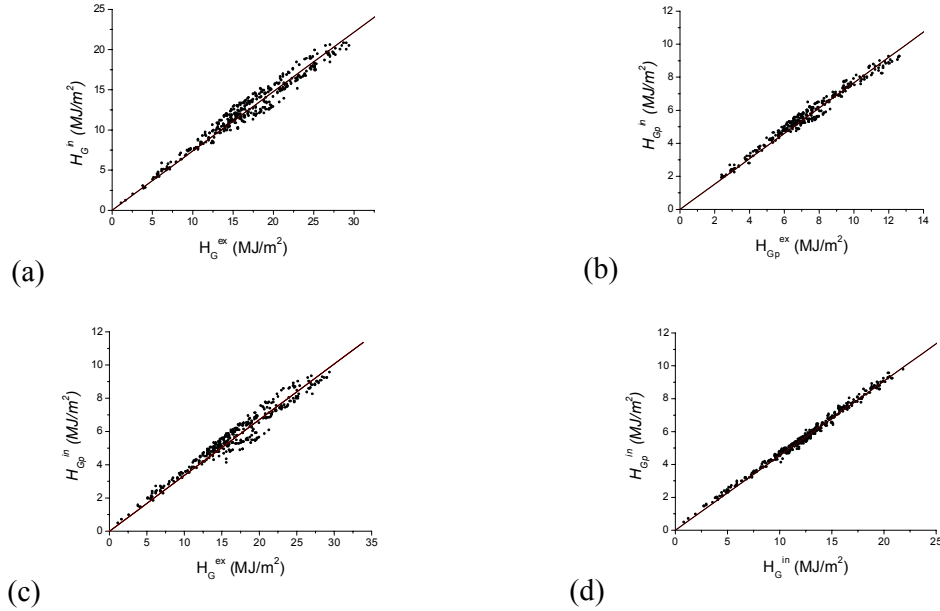
onde: b e R são a largura e raio do anel;  $\delta$  é a declinação solar;  $\phi$  é a latitude; z é o ângulo zenital e  $\omega$  é o ângulo horário do sol, variando do nascer até o pôr do sol.

Na aquisição dos dados, foi utilizado um Datalogger Campbell 23X, operando na freqüência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos. A base de dados, para a obtenção dos modelos de estimativa é constituída por irradiações (em MJ/m<sup>2</sup>) obtidas a partir da integração diária das irradiâncias (em W/m<sup>2</sup>), dentro e fora da estufa, no período de 01/06/1999 a 31/05/2000 e a validação, do período de 01/06/2000 a 31/08/2000.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Equações de Estimativa para as Radiações Global e PAR Global Interna.

Para estimativas das radiações global( $H_G^{in}$ ) e PAR-global( $H_{Gp}^{in}$ ), no interior da estufa, foram ajustadas quatro equações em função das radiações PAR-global externa( $H_{Gp}^{ex}$ ), global externa ( $H_G^{ex}$ ), global interna( $H_G^{in}$ ), as quais são mostradas na figura 1 (a, b, c, d).



**Figura 1.** Correlações das radiações  $H_G^{in}$  e  $H_{Gp}^{in}$  em função de  $H_{Gp}^{ex}$ ,  $H_G^{ex}$  e  $H_G^{in}$ .

Na tabela 1 é apresentados as equações de estimativa com seus coeficientes de correlação. As funções são lineares e com coeficientes de correlação ( $r$ ) superiores a 0,9750 mostram que as variações das radiações  $H_{Gp}^{in}$  estão muito bem correlacionadas com as variações das radiações  $H_{Gp}^{ex}$ ,  $H_G^{ex}$  e  $H_G^{in}$ .

**Tabela 1.** Equações de estimativa para  $H_{Gp}^{in}$ ,  $H_G^{in}$  e  $H_{Gp}^{ex}$  em função  $H_G^{ex}$ ,  $H_{Gp}^{ex}$  e  $H_G^{in}$

Equação 1	$H_G^{in} = 0,73901 H_G^{ex}$	$R = 0,9800$
Equação 2	$H_{Gp}^{in} = 0,76684 H_{Gp}^{ex}$	$R = 0,9882$
Equação 3	$H_{Gp}^{in} = 0,3854 H_G^{ex}$	$R = 0,9751$
Equação 4	$H_{Gp}^{in} = 0,49358 H_G^{in}$	$R = 0,9965$
Equação 5	$H_{Gp}^{ex} = 0,49532 H_G^{ex}$	$R = 0,9923$

A correlação entre as radiações global interna  $H_G^{in}$  e global externa  $H_G^{ex}$  (fig 1a) define para o meio protegido a transmissividade da radiação global na cobertura de polietileno. O resultado obtido de 0,7391 para o coeficiente angular encontra-se em concordância com vários pesquisadores em Botucatu, que obtiveram transmissividade da ordem de 74% para ambientes protegidos com cobertura de polietileno de mesma espessura.(Escobedo, et al., 1994).As equações foram validadas, comparando-se as medidas e as estimativas, por meio dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e d, quais estão apresentados no tabela 2 .

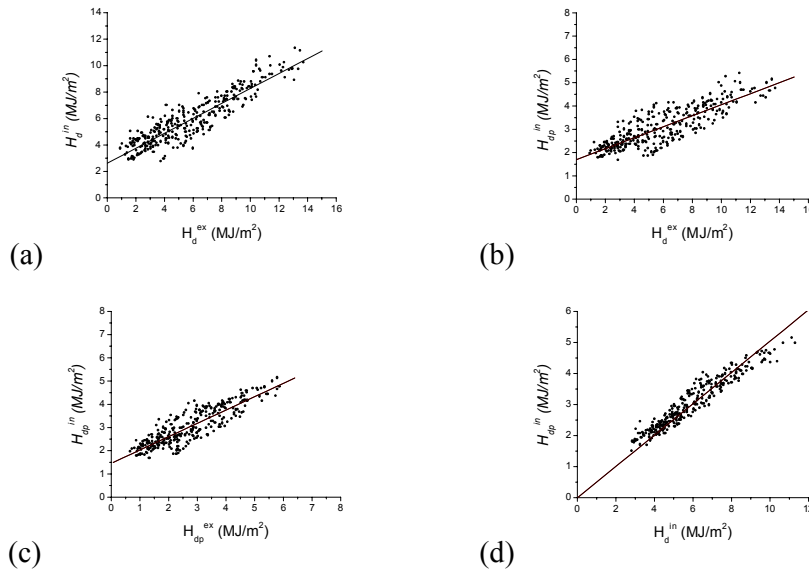
**Tabela 2.** Índices estatísticos obtidos na validação das equações de estimativa.

Equações	MBE%	RMSE%	d
$H_G^{in} = 0,73901 H_G^{ex}$	-4,3291	7,3878	0,9522
$H_{Gp}^{in} = 0,76684 H_{Gp}^{ex}$	-2,3761	4,6508	0,9796
$H_{Gp}^{in} = 0,3854 H_G^{ex}$	-2,7826	4,9695	0,9770
$H_{Gp}^{in} = 0,49358 H_G^{in}$	4,3349	5,6767	0,9893
$H_{Gp}^{ex} = 0,49532 H_G^{ex}$	-0,6164	2,2320	0,9957

Quantitativamente, MBE inferior a +5,0% mostra que o erro da estimativa é estatisticamente positivo, pois se encontra na mesma ordem de grandeza do erro experimental. O indicativo RMSE inferiores a 5,0%, para a validação das equações (2,3,4) mostra que espalhamento ou a dispersão  $H_{Gp}^{in}$  em função de  $H_G^{ex}$ ,  $H_{Gp}^{ex}$  ou  $H_G^{in}$  são aproximadamente iguais e portanto pode ser estimada com mesma eficiência por meio das três radiações. O indicativo d de Willmott para as cinco equações, superiores a 0.9500 foi considerado positivo estatisticamente e refletem o nível de exatidão entre a medida e a estimativa das equações.

### 3.2. Equações de Estimativa para as Radiações Difusa e PAR-Difusa Interna.

Para estimativa das radiações difusa ( $H_d^{in}$ ) e PAR-difusa ( $H_{dp}^{in}$ ), no interior da estufa, foram ajustadas quatro equações em função das radiações difusa externa ( $H_d^{ex}$ ), PAR-difusa externa ( $H_{dp}^{ex}$ ), difusa interna ( $H_d^{in}$ ), as quais são mostradas na figura 2 (a, b, c, d).

**Figura 2.** Correlações das radiações  $H_d^{in}$  e  $H_{dp}^{in}$  em função  $H_d^{ex}$ ,  $H_{dp}^{ex}$  e  $H_d^{in}$ 

Na tabela 3 é apresentada as quatro equações de estimativa com seus respectivos coeficientes de determinação, geradas a partir de regressões lineares simples.

**Tabela 3.** Equações de estimativa de  $H_{dp}^{in}$  em função das radiações  $H_{dp}^{ex}$ ,  $H_d^{ex}$  e  $H_d^{in}$ 

Equação 6	$H_d^{in} = 2,61931 + 0,56519 H_d^{ex}$	$R = 0,9105$
-----------	---	--------------

Equação 7	$H_{dp}^{in} = 1,45803 + 0,57392 H_{dp}^{ex}$	R = 0,8799
Equação 8	$H_{dp}^{in} = 1,69109 + 0,23631 H_d^{ex}$	R = 0,8465
Equação 9	$H_{dp}^{in} = 0,5042 H_d^{in}$	R = 0,9594
Equação 10	$H_{dp}^{ex} = 0,45994 H_d^{ex}$	R = 0,9843

As equações de estimativas apresentam coeficientes de correlação entre 0,85 a 0,96. Os melhores resultados foram para as equações em que as radiações são do mesmo meio, como é o caso das equações (9) e (10), e menos favoráveis para as equações (8), (7) e (6), respectivamente, de meios diferentes. A tabela 4 mostra que o indicativo MBE variou entre -1,4% a 5,0%, onde as estimativas das equações (7), (8) e (9) superestimam, enquanto que, as equações (6) e (19) subestimam a medidas.

**Tabela 4.** Indicativos Estatísticos MBE, RMSE e d.

estimado	MBE%	RMSE%	d
$H_d^{in} = 2,61931 + 0,56519 H_d^{ex}$	-0,4078	8,0934	0,8990
$H_{dp}^{in} = 1,45803 + 0,57392 H_{dp}^{ex}$	2,9208	8,9405	0,7968
$H_{dp}^{in} = 1,69109 + 0,23631 H_d^{ex}$	4,8836	12,0329	0,7202
$H_{dp}^{in} = 0,5042 H_d^{in}$	5,0213	8,9142	0,9403
$H_{dp}^{ex} = 0,45994 H_d^{ex}$	-1,3909	6,8751	0,9847

O limite de 5,0% para MBE é considerado positivo estatisticamente. O indicativo RMSE variou de 6,8% 12% onde o melhor desempenho foi pela ordem para as equações (10), (6), (9), (7) e (8) respectivamente. O indicativo RMSE inferior a 12,0% é considerado bom estatisticamente. O índice de ajustamento “d” variou de 0,72 a 0,99 e mostra que o ajuste para as correlações de pares de radiações do mesmo meio é consideravelmente superior às correlações de pares de radiações de meio diferentes.

#### 4. CONCLUSÕES

As radiações global, PAR-global, difusa e PAR-difusa dentro da estufa estão bem correlacionadas com a radiação global, PAR global, difusa e PAR difusa externa. A validação por meio dos indicativos estatísticos: MBE inferior a 5,0% para as radiações global, PAR-global, difusa e PAR-difusa; RMSE inferiores a 8,0% para as radiações global, PAR-global e 12,0% para as radiações difusa e PAR-difusa, e “d” de “Willmott superiores a 0,95 para as radiações global, PAR-global e 0,72 para as radiações difusa e PAR-difusa, mostram que as equações de estimativas podem ser utilizadas com precisão e exatidão.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESCOBEDO, J.F., MELO, J.M.D., FRISINA, V.A. Radiações solar global e fração da global refletida em estufa tipo túnel em cobertura de polietileno. In: CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, 7, 1994. Energias Limpas en Progreso... Vigo, 1994. v.1, p.53-58.
- GEOOLA, F., PEIPER, U.M., GEOOLA, F. Outdoor testing of the condensation characteristics of plastic film covering materials a model greenhouse. J. Agric. Eng. Res.v.57, p.167-72, 1994.
- WEISS, A., NORMAN, J.M. Partitioning solar radiation into direct and diffuse, visible and near-infrared components. Agric. and For. Meteorol, v.34, p.205-13, 1985.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. Physic. Geogr. v.2, p.184-94, 1981.

**Agradecimento:** À FAPESP, e ao CNPq pelo apoio financeiro.