

ANÁLISE DA FRAÇÃO PAR-DIFUSA NA RADIAÇÃO DIFUSA NO INTERIOR E EXTERIOR DA ESTUFA DE POLIETILENO.

DOUGLAS RODRIGUES¹, JOÃO F. ESCOBEDO²

1 Tecnólogo em Informática para Gestão de Negócios, Técnico de Nível Superior do Depto. de Recursos Naturais/FCA/UNESP/Botucatu.
2 Físico, Prof. Dr. Associado, Depto. de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP, escobedo@fca.unesp.br

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

RESUMO: Objetivou-se no trabalho a obtenção das correlações das frações difusa e PAR-difusa das radiações difusa e PAR-difusa no interior e exterior de uma estufa de polietileno tipo túnel, sazonalmente e por coberturas de céu. As equações de estimativa da PAR-difusa em função da radiação difusa no interior $Q_{Pd}^{in} = 0,504H_d^{in}$ e exterior $Q_{Pd}^{ex} = 0,460H_d^{ex}$ da estufa, obtidas por regressão linear tipo $Y=aX$ apresentaram elevados coeficientes de determinação $R^2 = 0,9203$ e $R^2 = 0,9842$. Em função da cobertura de céu as frações Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} e Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} decresceram da cobertura de céu aberto de $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 62,2\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 59,1\%$ para céu nublado com $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 51,7\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 47,3\%$. Sazonalmente, as frações Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} e Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} decrescem no sentido do inverno $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 54,0\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 49,8\%$ para o verão com $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 48,5\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 44,2\%$.

Palavras-chave: radiação solar, radiação difusa, estufa de polietileno.

ANALYSIS OF THE DIFFUSE FRACTION OF PAR-DIFFUSE RADIATION INSIDE AND OUTSIDE OF POLYETHYLENE GREENHOUSE.

ABSTRACT: The objective of the work to obtain the correlations of the diffuse and PAR-diffuse fraction of the diffuse and PAR-diffuse radiation inside and outside of a polyethylene tunnel type greenhouse, seasonally and sky coverage. The equations for estimating PAR-diffuse due to the diffuse radiation inside $Q_{Pd}^{in} = 0,504H_d^{in}$ and outside $Q_{Pd}^{ex} = 0,460H_d^{ex}$ the greenhouse, obtained by linear regression $Y = aX$ type showed high coefficients of determination $R^2 = 0.9203$ and $R^2 = 0,9842$. Depending on the sky coverage, the fractions Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} and Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} decreased of the clear sky coverage $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 62,2\%$ and $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 59,1\%$ for cloudy skies with $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 51,7\%$ and $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 47,3\%$. Seasonally, the fractions Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} and Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} decrease towards winter $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 54,0\%$ and $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 49,8\%$ for the summer with $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 48,5\%$ and $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 44,2\%$.

Keywords: solar radiation, diffuse radiation, polyethylene greenhouse.

INTRODUÇÃO: Um dos principais fatores que favorecem o melhor desenvolvimento da cultura em meio protegido é o aumento da fração difusa da radiação global ($K_d = H_d/H_G$) provocado pelo espalhamento das radiações direta e difusa na cobertura do polietileno. A radiação difusa por atingir área foliar mais homogênea é considerada a componente solar mais eficiente no processo de conversão fotossintética (Weiss & Norman, 1985).

Alterações microclimáticas em ambientes protegidos como temperatura, umidade, radiação solar global, refletida, PAR, e saldo de radiação, entre outros, têm sido estudadas com objetivo de compreender melhor processos físicos e agrometeorológicos responsáveis pelo aumento do rendimento e produtividade das culturas (Steidle Neto *et al.*, 2008; Galvani & Escobedo, 2001; Souza & Escobedo, 1997). No entanto, são muito restritas pesquisas relacionadas com a radiação difusa e a PAR-difusa, muito provavelmente, devido aos custos dos equipamentos de medidas (Alados-Arboledas *et al.*, 2000; Alados *et al.*, 2000). Estudos com essas duas radiações, são mais escassas em estufas e há poucas informações disponíveis na literatura especializada (Escobedo *et al.* 2000; Frisina *et al.*, 2000).

Considerada a importância atual dos ambientes protegidos na produção agrícola, esse trabalho teve por objetivo medir as radiações difusa e PAR difusa no interior e exterior de uma estufa tipo túnel para obter por meio de regressão linear, as equações de estimativa das radiações do espectro PAR em função das radiações do espectro total nos dois meios.

METODOLOGIA: As medidas foram realizadas no período de Junho de 1999 a Setembro de 2000, 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 ambiente protegido é constituído por uma estufa tipo túnel, orientada na direção leste - oeste, coberta com filme de polietileno transparente (100m de espessura) de baixa densidade e lateral de tela de nylon (sombreamento de 50%) com as seguintes dimensões: 7m largura, 20m comprimento e 3,5m de altura.

As irradiâncias global I_G^{in} e I_G^{ex} foram medidas por meio de piranômetro Eppley PSP e Kipp-Zonen CM3 enquanto que as irradiâncias PAR global (I_{PG}^{in} e I_{PG}^{ex}) por detectores quânticos Li-Cor. As irradiâncias difusas (I_d^{in} , I_d^{ex} , I_{Pd}^{in} e I_{Pd}^{ex}) foram monitoradas por anéis de sombreamento **MEO** (Melo & Escobedo, 1994) nas seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura e 1mm de espessura, usando os piranômetro Kipp-Zonen e Eppley PSP para a medida das irradiâncias I_d^{in} e I_d^{ex} e sensores quânticos Li-Cor para a medida de I_{Pd}^{in} e I_{Pd}^{ex} .

Para a aquisição dos dados, utilizou-se um Datalogger Campbell 23X, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A figura (1), mostra as correlações entre as radiações PAR-difusa externa (Q_{Pd}^{ex}) e a radiação difusa externa (H_d^{ex}) e entre as radiações PAR-difusa interna (Q_{Pd}^{in}) e a radiação difusa interna (H_d^{in}) em unidades de energia e em unidade fotobiológica.

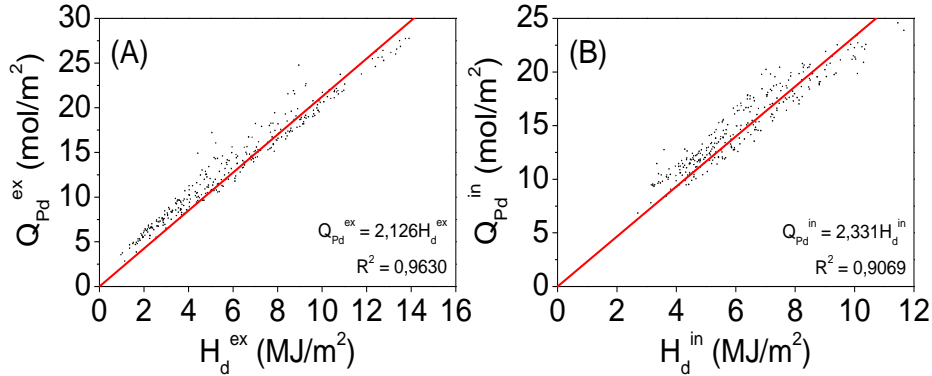


Figura 1. a) PAR-difusa externa (Q_{Pd}^{ex}) e difusa externa (H_d^{ex}); b) PAR-difusa interna (Q_{Pd}^{in}) e difusa interna (H_d^{in}).

As equações (1, 2) obtidas por regressão linear entre Q_{Pd}^{ex} versus H_d^{ex} e Q_{Pd}^{in} versus H_d^{in} com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9630$ e $R^2 = 0,9069$ respectivamente, expressam alta correlação entre as duas radiações dentro e fora da estufa. O valor da fração PAR-difusa $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 0,501$ mostra que 50,1% da radiação difusa do espectro total que atingiu a superfície é fotossinteticamente ativa. Similarmente para dentro da estufa, a correlação da figura (1b) expressa alta correlação entre as duas radiações, porém a fração PAR-difusa dentro da estufa é superior a mesma correlação no meio externo. O resultado do coeficiente de determinação próximo de 100% para a correlação Q_{Pd}^{in} e H_d^{in} foi altamente significativo estatisticamente, se considerado os efeitos por espalhamento que as duas radiações difusas passam na transmissão da cobertura de polietileno.

$$Q_{Pd}^{ex}(\text{mol.MJ}^{-1}) = 2,12H_d^{ex} \quad (1) \quad Q_{Pd}^{in}(\text{mol.MJ}^{-1}) = 2,331H_d^{in} \quad (2)$$

Os resultados das equações (1) e (2) mostram que o valor da fração $Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 55,0\%$ dentro da estufa é superior em torno 5,0% ao da fração $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 50,1\%$ externa. Essa diferença de 5,0% no valor da fração PAR-difusa interna a estufa em relação a fração PAR-difusa externa é devido ao processo de espalhamento não proporcional das radiações difusa e PAR-difusa na cobertura de polietileno. A cobertura de polietileno possui um comportamento similar a uma atmosfera de céu claro com alta concentração de aerossóis. Nesta cobertura de céu, os comprimentos de onda curtos são preferencialmente espalhados, influenciando a distribuição espectral difusa.

O resultado percentual de $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 50,1\%$ para o meio externo é inferior ao valor de $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 57,4\%$ encontrado por (Jacovides *et al.*, 2007) em Atenas na Grécia. Diversos trabalhos mostram que a fração PAR-difusa depende da cobertura do céu, principalmente das nuvens e aerossóis (Alados & Alados-Arboledas, 1999; Jacovides *et al.*, 2007). Ao contrário da fração PAR-global que aumenta com as condições de céu variando de claro para nublada (Escobedo *et al.*, 2009), devido a absorção não proporcional das radiações global e PAR-global pelo vapor de água, os resultados dos estudos com as radiações difusa e PAR-difusa mostram que, a fração difusa decresce da cobertura de céu claro para a nublada, devido a espalhamento não proporcional das radiações difusa e Par-difusa. Sob condições de céu claro, o processo de espalhamento dos aerossóis é maior para a radiação PAR-difusa do que a radiação difusa do espectro total, aumentando assim a fração Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} . Por outro lado, na cobertura de céu nublado, as gotículas de água provenientes das nuvens são muito maiores que as partículas de aerossóis, e o espalhamento é maior para a radiação difusa do espectro total do que para a PAR-difusa, diminuindo assim a fração Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} . Resultados obtidos para as frações Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} e

Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} para agrupamentos sazonal e anual, bem como, para quatro coberturas de céu, dentro e fora da estufa de polietileno, são mostrados na tabela (1).

Tabela 1. Agrupamento anual e sazonal para as quatro coberturas de céu.

	Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} ($\mu\text{mol J}^{-1}$)	Energia	R ²	Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} ($\mu\text{mol J}^{-1}$)	Energia	R ²
Cobertura						
CA	2,506	0,591	0,949	2,637	0,622	0,947
CPN II	2,281	0,538	0,965	2,430	0,573	0,935
CPN I	2,056	0,485	0,957	2,234	0,527	0,926
CN	2,006	0,473	0,995	2,192	0,517	0,951
Sazonal						
Verão	1,874	0,442	0,971	2,056	0,485	0,893
Outono	1,925	0,454	0,985	2,086	0,492	0,851
Inverno	2,112	0,498	0,946	2,290	0,540	0,884
Primavera	1,963	0,463	0,937	2,188	0,516	0,868
Anual	2,124	0,501	0,963	2,332	0,550	0,907

As frações PAR-difusa Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} e Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} decresceram nas condições de céu variando da cobertura de céu aberto para nublado. Os valores diários das frações Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} variaram de $2,506\mu\text{mol.J}^{-1}$ a $2,006\mu\text{mol.J}^{-1}$ ou em unidades de energia de 59,1% a 47,3% mostrando que as frações difusa em dias de céu aberto é 11,8% maior que em dias de céu nublado. Os valores diários das frações Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} variaram de $2,637\mu\text{mol.J}^{-1}$ a $2,2192\mu\text{mol.J}^{-1}$ ou em unidades de energia de 62,2% a 51,7% mostrando que dentro da estufa, a fração difusa em dias de céu aberto é 10,5 % maior que em dias de céu nublado. Similarmente para as variações sazonal das frações os resultados obtidos para as estações do ano mostram que as frações PAR-difusa Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} e Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} decresceram do inverno para o verão, cujas estações apresentam maior frequência de dias céu aberto e nublado respectivamente. Os valores diários das frações Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} variaram no inverno de $2,112\mu\text{mol.J}^{-1}$ a $1,874\mu\text{mol.J}^{-1}$ ou em unidades de energia de 49,8% a 44,2% mostrando que as frações difusa em dias no inverno é 5,6% maior que em dias no verão. Os valores diários das frações Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} dentro da estufa variaram de $2,23\mu\text{mol.J}^{-1}$ a $2,052\mu\text{mol.J}^{-1}$ ou em unidades de energia de 54,0% a 48,5% mostrando que dentro da estufa, a fração difusa em dias no inverno é 5,5 % maior que em dias no verão.

Os resultados obtidos e apresentados na tabela (1) estão de acordo com os resultados obtidos por (Jacovides *et al.*, 2007) em Atenas na Grécia, quanto as tendências variacionais em função da cobertura de céu ou sazonalidade, no entanto, os valores das frações Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} que maiores que os obtidos em Botucatu. Uma análise da diferença percentual nos valores das frações nas coberturas de céu dos dois locais: 1,2% para céu claro e 9,8% em céu nublado, mostram que a maior contribuição na diferença anual entre as frações Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} que é de 5,0% aproximadamente, vem dos dias de coberturas de céu nublado e parcialmente nublado ($K_t < 0,55$). Os menores valores das frações Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} de Atenas são maiores que Botucatu. É conclusivo que o efeito de aerossóis no valor da fração PAR-difusa é aproximadamente igual nas duas cidades, portanto, se a frequência de cobertura nebulosa de Atenas, devido à proximidade do mar, é maior que de Botucatu, a nebulosidade deve ser o fator responsável pela diferença observada.

CONCLUSÕES: As equações de estimativa da PAR-difusa em função da radiação difusa, dentro $Q_{Pd}^{in} = 0,50H_d^{in}$ e fora $Q_{Pd}^{ex} = 0,46H_d^{ex}$ da estufa, obtidas por regressão linear tipo $Y = aX$

apresentaram elevados coeficientes de determinação $R^2 = 0,9203$ e $R^2 = 0,9842$. A fração da PAR-difusa na radiação difusa dentro (50,4%) é maior que a fração da PAR-difusa na radiação difusa (46%) fora da estufa.

As equações de estimativa da PAR-difusa em função da radiação difusa, dentro e fora da estufa tipo $Y = aX$ para agrupamentos dos dados por coberturas de céu, mostram que as frações Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} e Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} decrescem no sentido da cobertura de céu aberto ($Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 62,2\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 59,1\%$) para céu nublado ($Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 51,7\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 47,3\%$).

Similarmente, as equações de estimativa da PAR-difusa em função da radiação difusa, dentro e fora da estufa tipo $Y = aX$ para agrupamentos dos dados de radiações sazonal as frações Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} e Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} decrescem no sentido da estação do ano inverno ($Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 54,0\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 49,8\%$) para estação do ano verão ($Q_{Pd}^{in}/H_d^{in} = 48,5\%$ e $Q_{Pd}^{ex}/H_d^{ex} = 44,2\%$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. and For. Meteorol.* [S.I.], v. 93, p. 27-38, 1999.
- ALADOS-ARBOLEDAS, L.; OLMO, F. J.; ALADOS, I.; PÉREZ, I. Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain. *Agric. and For. Meteorol.* [S.I.], v. 101, p. 187-201, 2000.
- ESCOBEDO, J.F.; GALVANI, E.; OLIVEIRA, A.P.; CHAVES, M.A. Models to estimate daily diffuse irradiation inside polyethylene greenhouse lined east-west and north-south. *World Renewable Energy Congress VI*, v. IV, p. 2481-2484, 2000.
- ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N.; OLIVEIRA, A.P.; SORAES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, v.86, p.299-309, 2009.
- FRISINA, V.A.; ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N. Instantaneous estimates of global, diffuse and reflected photosynthetically active radiation (PAR) inside a polyethylene greenhouse. *World Renewable Energy Congress VI*, v. IV, p. 2394-2397, 2000.
- GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de energia em cultura de pepineiro em ambiente natural e protegido. *Bragantia* (São Paulo), Campinas, v. 60, n. 2, p. 127-137, 2001.
- JACOVIDES, C. P.; TYMVIOS, F. S.; ASSIMAKOPOULOS, V. D.; KALTSOUNIDES, N. A. The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. *Agr. Forest. Meteorol.* [S.I.], v. 143, p. 277-287, 2007.
- MELO, J. M. D.; ESCOBEDO, J. F. Uso do Anel de Sombreamento para Medida Contínua da Radiação Solar Difusa. *Energia na Agricultura*, v. 9, p. 1-13, 1994.
- SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de Radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 32, n. 1, p. 1-15, 1997.
- STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [S.I.], v. 12, p. 626-631, 2008.
- 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.

Agradecemos à FAPESP e ao CNPq pela ajuda financeira.