

EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DAS RADIAÇÕES ESPECTRAIS UV, PAR E IV DIÁRIAS EM ESTUFAS DE POLIETILENO

ENZO DAL PAI¹, JOÃO F. ESCOBEDO²

¹Engenheiro Agrônomo, Pós-graduando, Departamento de Recursos Ambientais, FCA-UNESP/Botucatu-SP-email: edalpai@fca.unesp.br

²Físico, Prof. Adjunto, Departamento de Recursos ambientais, FCA/UNESP-Botucatu – SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GrandDarrel Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte – MG

RESUMO: O trabalho apresenta equações de estimativa lineares para as radiações, ultravioleta (UV), fotossintética (PAR) e infravermelha (IV), em função global total interna (Gin.) diária em uma estufa de polietileno, para dois agrupamentos dos dados.

No primeiro (modelo-1), as radiações UV, PAR e IV foram relacionadas em função da radiação Gin em um único bloco de dados, e no segundo (modelo 2), as radiações foram relacionadas sazonalmente por estação do ano. Os coeficientes angulares do modelo-1 quantificaram percentualmente dentro da estufa as frações espectrais das radiações UV, PAR e IV na radiação global: UV/G= 2.6%; PAR/G= 50.8% e IV/G= 46,7%. Os coeficientes angulares do modelo-2 quantificaram percentualmente dentro da estufa as frações espectrais sazonais das radiações UV, PAR e IV na radiação global: Primavera UV/G= 2,5%; PAR/G= 51,7% e IV/G= 45,7% Verão UV/G= 2.7%; PAR/G= 51.8% e IV/G= 45,4%, Outono UV/G= 2,5%; PAR/G= 49,0% e IV/G= 48,3% e Inverno, UV/G= 2,3%; PAR/G= 48,3% e IV/G= 49,8%. Os coeficientes de determinação obtidos nas equações de estimativas mostram que as radiações UV, PAR e IV, estão bem correlacionadas com as radiações Gin. Nos dois modelos, os r^2 foram superiores a 0,99 nas correlações (PAR x Gin) e (IV x Gin) , e superior a 0,97 para a correlação entre (UV x Gin).

PALAVRAS-CHAVE: radiação espectral, equações de estimativas, ambiente protegido.

TÍTULO EM INGLÊS: ESTIMATIVE EQUATIONS OF UV, PAR AND NIR SPECTRAL RADIATIONS INSIDE POLYETHYLENE GREENHOUSES

ABSTRACT: This paper presents linear equations to estimate ultraviolet (UV), photosynthetically active (PAR) and near infrared (NIR) radiations as function of daily total global radiation (Gin.) inside a polyethylene greenhouse for two groups of data. In the first (model-1), the UV, PAR and NIR radiations were related with daily global solar radiation Gin in a single block of data, and the second model (model 2), the radiation were seasonally related. The angular coefficients of model-1 quantified the spectral fractions percentage of UV radiation, PAR and NIR from global radiation inside the greenhouse: UV / G = 2.6%; PAR / G = 50.8% and NIR / G = 46.7% .The angular coefficients of model-2 quantified the seasonal spectral fractions percentage of UV radiation, PAR and NIR from global radiation inside the greenhouse: Spring UV / G = 2.5%; PAR / G = 51.7% and NIR / G = 45.7% summer UV / G = 2.7%; PAR / G = 51.8% and NIR / G = 45.4%, autumn UV / G = 2.5%; PAR / G = 49.0% and NIR / G = 48.3% and winter, UV / G = 2.3%; PAR / G = 48.3% and NIR / G = 49.8%. The determination coefficients obtained from estimate equations showed

that the UV, PAR, and NIR radiations are well correlated with the Gin radiation. In both models, the r^2 was higher than 0.99 in the correlations between PAR x Gin and NIR x Gin, and higher than 0.97 for the correlation between UV x Gin.

KEYWORDS: spectral radiation, estimative equations, polyethylene greenhouses

INTRODUÇÃO: A expansão de ambientes agrícolas controlados no Brasil vem aumentando devido não só a maior disponibilidade de materiais com filmes seletivos, como também provoca alterações em elementos meteorológicos de modo a favorecer o desenvolvimento e maturação das plantas, sua fotossíntese, evapotranspiração, entre outros aumentando sua produção (SCHNEIDER, 1993). Um elemento meteorológico bastante importante neste desenvolvimento é a radiação solar, principalmente as radiações espectrais ultravioleta (UV) de 0,29 a 0,385 μm , radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 0,385 a 0,7 μm , e a radiação infravermelha próxima (IV) de 0,7 a 3,0 μm . Muito pouco é conhecido sobre essas radiações em um mesmo local (Escobedo et al, 2009). A grande maioria dessas divulgações são com as radiações PAR ou UV (ASSIS, 1989; FRANÇA et al, 1997; FRISINA et al, 2000, SCHNEIDER et al, 1993). Dentro de estufas são raros os trabalhos que tratam das radiações UV e IV e muito menos ainda do espectro total. Dada a importância atual dos ambientes protegidos na produção agrícola, esse trabalho teve por objetivo medir as radiações espectrais UV, PAR e IV dentro da estufa e a global, dentro e fora de estufas, para obter por meio de regressão linear, as equações de estimativa das radiações UV, PAR e IV em função da global interna e externa a estufa.

MATERIAIS E MÉTODOS: O experimento foi realizado no Departamento de Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu – Camus Lageado, no período de 01/03/2008 a 01/03/2009. O clima local é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco. O dia mais longo (solstício de verão) tem 13,4 horas em dezembro, e o mais curto (solstício de inverno) tem 10,6 horas em junho. O estudo foi realizado em uma casa de vegetação de 35 m^2 , tipo túnel alto com cobertura de polietileno (100 μm). Suas dimensões: 7m de comprimento, 5m de largura, 2m de pé direito e 1,7 m de altura da concavidade. Dentro da estufa foram montados equipamentos de medição de irradiâncias global, UV e IV. Para a irradiância global foi utilizado um piranômetro CM3; para UV um radiômetro CUV-3 da Kipp-Zonen e para a irradiância infravermelha um piranômetro Eppley PSP com uma cúpula seletiva de transmissão na faixa espectral de 0,7 a 3 μm . A irradiância PAR foi obtida do método indireto, que consiste em se obter a irradiância PAR por diferença entre a irradiância global e a soma das irradiâncias UV e IV ($I_{\text{PAR}} = I_{\text{Global}} - (I_{\text{UV}} + I_{\text{IV}})$). Na aquisição dos dados foi utilizado um datalogger da marca Campbell CR21X, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos ou 300 segundos. As características operacionais referentes ao fator de calibração, intervalo espectral, tempo de resposta, linearidade, resposta ao co-seno e a temperatura dos detectores da radiação global (Eppley PSP), radiômetro ultravioleta (CUV-3 da Kipp-Zonen) e do piranômetro infravermelho da (Eppley) estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1: Principais características operacionais dos sensores

	Global	Ultravioleta	Infravermelho
Marca	Kipp & Zonen	Kipp & Zonen	Eppley
Fator de Calibração	$\pm 10,06 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$	$290 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$	$\pm 8,12 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$

Range Espectral	305-2800nm	290-400nm	695-2800nm
Tempo de resposta	18s	5ms	2s
Linearidade	<2,5% (de 0 a 1000W/m ²)	< 1%	±1% (de 0 a 700W/m ²)
Co-seno	±10%	<±10%	±5%
Resposta a temperatura	<±2K	<±0,1/K	±1% de -20°C a 40°C

Todos os equipamentos foram instalados na região central da estufa para evitar possíveis interferências espaciais, como temperatura e multireflexões. No processamento dos dados, as irradiâncias do infravermelho foram multiplicadas por um fator de correção para o efeito de transmissão da cúpula no elemento sensível. Esse fator foi de 0,92. A radiação global externa foi obtida da estação de Radiometria do Departamento de Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu. Esta radiação é medida rotineiramente de modo similar ao descrito dentro da estufa. Todos os dados passaram por um controle de qualidade, com eliminação de valores discrepantes e horários antes do nascer e após o por do sol. Os dados de irradiância, em W/m², foram integrados na partição diária em MJ/m² dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A figura (1a,b,c) mostram as relações das radiações UV, PAR e IV em função da radiação global interna H_G^{IN} e figura(1d) a relação da radiação da radiação H_G^{IN} e a radiação H_G^{EX} . É evidente que as relações entre as radiações UV, PAR e IV são lineares com a radiação H_G^{IN} , e entre as radiações H_G^{IN} e H_G^{EX} . As equações de estimativas para o agrupamento total ou anual do modelo 1 são apresentadas na tabela 2, juntamente com os respectivos coeficientes de determinação R^2 .

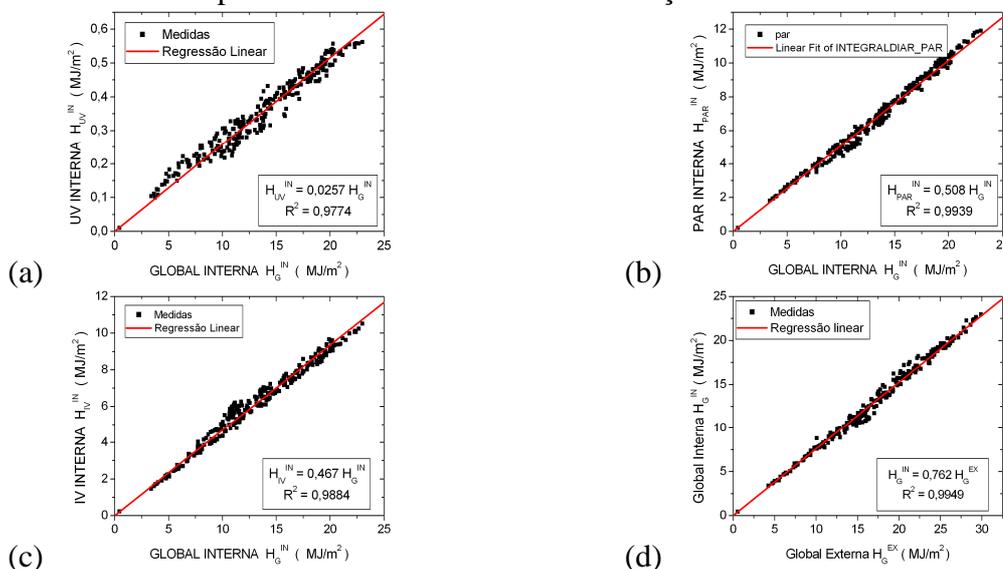


Figura (1a,b,c): Relações entre as radiações UV, PAR e IV em função da radiação global interna (H_G^{IN}); Figura(1d). Relações entre as radiações H_G^{IN} e H_G^{EX} .

Os coeficientes de determinação para as três relações da UV, PAR e IV com H_G^{IN} superiores a 0.9774 mostram que as radiações estão muito bem correlacionadas com a radiação global dentro da estufa. O ajuste foi melhor na seqüência para as radiações: PAR, IV e UV. O resultado esta em concordância com a ajuste obtido por ESCOBEDO et al(2009) para as mesmas relações dessas radiações fora da estufa de polietileno. Os valores diferentes dos coeficientes de determinação nas relações expressam a dependência que as radiações UV, PAR e IV possuem das condições climáticas ou de cobertura de céu, mais especificamente da presença de nuvens, vapor d'água e aerossóis na atmosfera. Segundo Escobedo et al(2009), o efeito das nuvens, vapor d'água e aerossóis, é muito mais intenso para a radiação UV que

para as radiações PAR e IV, razão pela qual, a amplitude de variação da fração UV/G é superior aos das frações PAR/G e IV/G. A atmosfera com nuvens e vapor d'água (período úmido) elevam os valores das frações UV/G e PAR/G, e diminui o valor da fração IV/G, enquanto que, a atmosfera seca e sem nuvens, com aerossóis (período da seca), diminui os valores das frações UV/G e PAR/G, e aumenta o valor da fração IV/G. Para mesmos valores de G, quanto maior a diferença sazonal entre as duas coberturas de céu, maior é a amplitude de variação das frações, e conseqüentemente, maior é a dispersão da correlação mostradas na figura(1).

Tabela 2: Equações anual e sazonais das radiações UV, PAR e IV em função da Global

		Global interna		Global Externa	
		Equação	R ²	Equação	R ²
Modelo 1	Anual	$H_{UV} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9774	$H_{UV} = 0,019 H_G^{EX}$	0,9680
		$H_{PAR} = 0,508 H_G^{IN}$	0,9939	$H_{PAR} = 0,3879 H_G^{EX}$	0,9861
		$H_{IV} = 0,467 H_G^{IN}$	0,9884	$H_{IV} = 0,3569 H_G^{EX}$	0,9903
Modelo 2	Primavera	$H_{UV} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9903	$H_{UV} = 0,0195 H_G^{EX}$	0,9925
		$H_{PAR} = 0,517 H_G^{IN}$	0,9980	$H_{PAR} = 0,3933 H_G^{EX}$	0,9981
		$H_{IV} = 0,457 H_G^{IN}$	0,9972	$H_{IV} = 0,3476 H_G^{EX}$	0,9925
	Verão	$H_{UV} = 0,027 H_G^{IN}$	0,9920	$H_{UV} = 0,0208 H_G^{EX}$	0,9936
		$H_{PAR} = 0,518 H_G^{IN}$	0,9971	$H_{PAR} = 0,3991 H_G^{EX}$	0,9933
		$H_{IV} = 0,454 H_G^{IN}$	0,9966	$H_{IV} = 0,3497 H_G^{EX}$	0,9962
	Outono	$H_{UV} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9673	$H_{UV} = 0,0198 H_G^{EX}$	0,9318
		$H_{PAR} = 0,490 H_G^{IN}$	0,9899	$H_{PAR} = 0,3783 H_G^{EX}$	0,9625
		$H_{IV} = 0,483 H_G^{IN}$	0,9874	$H_{IV} = 0,3740 H_G^{EX}$	0,9971
	Inverno	$H_{UV} = 0,023 H_G^{IN}$	0,9888	$H_{UV} = 0,0175 H_G^{EX}$	0,9802
		$H_{PAR} = 0,483 H_G^{IN}$	0,9953	$H_{PAR} = 0,3605 H_G^{EX}$	0,9820
		$H_{IV} = 0,498 H_G^{IN}$	0,9891	$H_{IV} = 0,3688 H_G^{EX}$	0,9985

Como as equações de estimativas lineares do modelo 1 (tab2) passam pela origem, os coeficientes angulares representam as frações média de UV, PAR e IV de H_G^{IN} dentro da estufa ou seja: $H_{UV}/H_G^{IN} = 0.025$; $H_{PAR}/H_G^{IN} = 0.508$; $H_{IV}/H_G^{IN} = 0.467$ ou frações médias percentuais: $H_{UV}/H_G^{IN} = 2.5\%$; $H_{PAR}/H_G^{IN} = 50.8\%$ e $H_{IV}/H_G^{IN} = 46.7\%$. Para efeitos de comparação, não foi encontrado na literatura especializada resultados dessas três radiações, principalmente, medidas simultâneas, dentro da estufa de polietileno. No entanto, fora da estufa em Botucatu, as frações encontradas por ESCOBEDO et al(2009) foram: $H_{UV}/H_G^{IN} = 4.2\%$; $H_{PAR}/H_G^{IN} = 49.8\%$ e $H_{IV}/H_G^{IN} = 46.7\%$. Os valores mostram que a cobertura de polietileno praticamente não alterou a fração IV da global pois as frações IV/G foram iguais dentro e fora da estufa. A fração PAR da global dentro da estufa cresceu de 1.0% e a fração UV da global diminuiu de 4.2% para 2.5%, ou seja, o polietileno reduziu a fração UV/G de 1.7%.

A tabela (2) mostra as equações sazonais entre as irradiações H_{UV} , H_{PAR} e H_{IV} em função de H_G^{IN} , no verão, outono, inverno e primavera, e os coeficientes de determinação R^2 . O coeficiente de determinação R^2 das equações de estimativa horária mostradas na tabela (2) são elevados e mostram que as irradiações H_{UV} , H_{PAR} e H_{IV} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{IN} nas quatro estações do ano, com melhores resultados para as radiações PAR, IV e UV. No geral, entre as estações, o coeficiente de determinação R^2 foi mais elevado para primavera, verão, outono e inverno.

Como as equações de estimativa lineares passam pela origem, os coeficientes angulares representam a fração média de cada radiação nas estações do ano. De acordo com a tabela (2) a fração UV/G é maior para as estações na seqüência verão com 2.7%, primavera com 2.5%, outono com 2.5% e inverno com 2.3%; a fração PAR/G foi maior para as estações na seqüência verão com 51.8%, primavera com 51.7%, outono com 49.0% e inverno com 48.3%; e a fração IV/G foi maior para as estações na seqüência inverno com 49.8%, outono com 48.3%, primavera com 45.7% e verão com 45.4%. As frações UV/G e PAR/G são

decrecente e IV/G é crescente na seqüência nas estações com maior numero de radiações diária na cobertura de céu com nuvens ou seja no verão, primavera, outono e inverno.

A figura (1 d) mostra a relação das radiações H_G^{IN} e H_G^{EX} . A relação linear quantifica por meio do coeficiente angular da reta a transmissividade da radiação global na cobertura do polietileno como sendo igual a $H_G^{IN}/H_G^{EX} = 0.76$ ou 76.0% , com elevada correlação $r = 0.9974$. Essa relação é importante porque permite associar as duas radiações globais, dentro e fora da estufa, e estimar as radiações UV, PAR e IV dentro da estufa a partir da radiação global externa, como mostra as equações de estimativa da tabela(2). Obviamente, que os coeficientes angulares das novas equações de estimativas para UV, PAR e IV dentro da estufa a partir da radiação global externa, tanto para o modelo 1 como para o modelo 2, são menores que os das equações de estimativas para UV, PAR e IV a partir da global interna, porque a cobertura de polietileno que reduziu a radiação global em 76.0% ao ser transmitida na estufa. Os coeficientes de determinação R^2 das equações de estimativas UV, PAR e IV em função da radiação global externa H_G^{EX} , no geral foram inferiores as das equações de estimativas em função de H_G^{IN} . Essa singularidade ocorre porque as radiações são de meios diferentes, onde as radiações internas estão sujeitas as radiações refletidas e multirefletidas dentro da estufa que acabam sendo medidas pelos radiômetros de forma aleatória. Assim para um mesmo valor da radiação global externa pode haver muitos valores da radiação global interna, aumentando a dispersão e diminuindo a correlação entre as duas radiações na regressão.

CONCLUSÃO: Diante dos resultados obtidos e discutidos pode-se concluir que as frações solares UV, PAR e IV da radiação global dentro de estufas de polietileno iguais a UV/G = 2.5%, PAR/G= 50.8% e IV/G= 46.7% difere das mesmas relações fora da estufa, a fração UV/G diminui de 1.7% e a PAR/G aumenta 1.0%. As equações lineares obtidas para agrupamento dos dados total e sazonal podem ser utilizados nas estimativas das radiações UV, PAR e IV a partir das radiações global interna ou global externa com elevados coeficientes de determinação.

REFERÊNCIAS:

- ASSIS, F.N. de, MENDEZ, M.E.G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.24, n.7, p.797-800, 1989.
- ESCOBEDO, JF. Et al., 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.
- FRANÇA, S., ROSA, L.M.G., BERGAMASCHI, H., NABINGER, C., SPANENBERG, P. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.2, p. 147-153, 1997.
- 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.
- SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A.; ANDRIOLO, J.L.; ESTEFANEL, V.; STRECK, N.A. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, p.37-42, 1993.