

RADIAÇÕES UV, PAR E IV EM ESTUFA DE POLIETILENO.

Enzo Dal Pai – edalpai@fca.unesp.br

João Francisco Escobedo – escobedo@fca.unesp.br

Departamento de Recursos Naturais, UNESP/FCA, Botucatu, São Paulo, Brasil

Resumo. No trabalho são apresentadas as evoluções anuais das radiações \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} e das frações \bar{K}_{UV} , \bar{K}_{PAR} e \bar{K}_{IV} médias mensais em estufa de polietileno para uma base de dados das irradiações diárias medidas no período de março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu/SP/Brasil. São apresentadas também as correlações anual e sazonal lineares tipo $Y = aX$ das irradiações diárias ultravioleta interna (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global interna (H_G^{IN}) e global externa (H_G^{EX}) com seus respectivos coeficientes de determinação.

Palavras-chave: Radiações solares global, ultravioleta, fotossinteticamente ativa e infravermelha, estufa de polietileno.

1. INTRODUÇÃO

A vantagem da utilização de estufas ou ambiente protegido com polietileno na agricultura consiste no aumento de produção de hortaliças e flores, principalmente nos períodos de entressafra, permitindo maior regularização de oferta e melhor qualidade dos produtos. Através do manejo correto deste micro ambiente, o produtor pode alcançar aumento significativo do rendimento e produtividade das culturas. A literatura tem mostrado que países que dependiam de volumosas importações passaram a ocupar lugares de destaque tanto na produção agrícola interna quanto na exportação. (Frisina, 2002, Loges, *et. al.*, 2005).

Estudos com a radiação solar espectral ultravioleta (0,29 a 0,385 μ m), fotossintética ativa -PAR (0,385-0,7 μ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 μ m), em estufas de polietileno são restritos a poucos trabalhos divulgados na literatura. Dentre as três componentes, a radiação PAR é a mais estudada pois compreende a faixa de comprimento de onda capaz de ativar o processo de fotossíntese (Kittas *et al.*, 1999; Aguiar e Silva *et al.*, 2000; Frisina *et al.*, 2002; Dal Pai e Escobedo, 2009; Abdel-Ghany & Al-Helal, 2011). A radiação UV embora tenha importância biológica, ainda foi pouco estudada em estufa de polietileno. É conhecido que os efeitos específicos da UV causados nas plantas na faixa entre 0,40 μ m e 0,32 μ m são nocivos na formação do vegetal, resultando em plantas mais baixas e com folhas mais espessas; na faixa entre 0,32 μ m e 0,28 μ m, é considerado intervalo prejudicial à maioria das plantas, e abaixo de 0,28 μ m, exercem efeitos letais, matando rapidamente as plantas (CECHIN *et al.*, 2007; TAIZ & ZEIGER, 2009). Não há informações de medidas da radiação solar IV em estufa de polietileno. É conhecido apenas que esta faixa espectral na superfície terrestre representa 47,0% do espectro total ou radiação global, e depende fortemente do vapor de água da atmosfera local (Escobedo *et al.*, 2011b, Abdel-Ghany & Al-Helal, 2011).

Considerando a pouca disponibilidade de informações sobre as radiações espectrais simultaneamente dentro de estufa e a importância atual dos ambientes protegidos na produção agrícola, esse trabalho teve por objetivo efetuar medidas dessas radiações dentro de estufa de polietileno, para analisar a sazonalidade das radiações e frações em função das variações climáticas local, e obter por meio de regressão linear, as equações de estimativa para as radiações UV, PAR e IV interna a partir da radiação global interna e externa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na FCA/UNESP em Botucatu (latitude 22°50'47,4" Sul e longitude 48°25'54,14" O. A Fig. 1 mostra uma fotografia da estufa utilizada no trabalho, com área de 35m², tipo túnel alto sem ventilação (áreas laterais fechadas com polietileno), com cobertura de polietileno (100 μ m). Suas dimensões: 24m de comprimento, 7m de largura, 2m de pé direito e 1,7 m de altura da concavidade, e orientação Norte-Sul.

Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e mais frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2°C e 17,1°C, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com umidade relativa de 78,2% e 61,80% respectivamente. A precipitação é constituída de dois períodos distintos: chuvoso e seco, onde o limite entre os períodos é o valor da precipitação de 100mm, aproximadamente. A maior altura pluviométrica média mensal ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm. A cidade de Botucatu com 130 mil habitantes não possui grandes indústrias poluidoras, mas esta inserida em uma região rural de cultivo da cultura da cana de açúcar e produção de álcool. Nos meses do período da seca e início do período chuvoso, de julho a novembro, a atmosfera local apresenta elevada concentração de materiais particulados proveniente das queimadas da cana-de-açúcar e das usinas que produzem o álcool e açúcar localizadas num raio de 100 Km do centro da cidade.



Figura 1 - Estufa de polietileno utilizada no estudo da FCA /UNESP/Botucatu.

Na Fig. 2 são mostrados os equipamentos de medidas das irradiâncias global, UV e IV na estufa de polietileno. Todos os equipamentos foram instalados na região central da estufa para evitar possíveis efeitos de bordadura, interferências espaciais e multireflexões.



Figura 2 - a) Disposição dos equipamentos no interior da estufa; b) Equipamentos para medição das radiações ultravioleta e infravermelha, em detalhe.

A radiação global externa G^{EX} é medida rotineiramente na Estação de Radiometria solar por um piranômetro Eppley PSP. Na medida da irradiância global interna foi utilizado um piranômetro CM da Kipp-Zonen3; 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 0,695 a 2,8 μm . No processamento dos dados, conforme sugestão do fabricante, as irradiâncias do infravermelho foram multiplicadas por um fator de correção igual a 0,92 para o efeito de transmissão da cúpula no sensor. A irradiância PAR (I_{PAR}) utilizada neste trabalho é gerada pelo método indireto, ou seja, pela diferença entre a irradiância I_G e a soma das irradiâncias I_{UV} e I_{IV} medidas na mesma frequência, por meio da equação: $I_{PAR} = I_G - (I_{UV} + I_{IV})$. Neste trabalho, as irradiâncias I_G , I_{UV} e I_{IV} medidas será expressa em W/m^2 e os valores integrados no dia em MJ/m^2 . Aqui a PAR será expressa em Wm^{-2} para irradiância e MJm^{-2} para irradiações diárias. O erro da estimativa da radiação PAR está associado à imprecisão das medidas da radiação global e infravermelha pelos piranômetros da Eppley e do radiômetro UV da Kipp & Zonen: o piranômetro PSP possui uma incerteza da ordem de 1,5% a 2,0%, enquanto que, o radiômetro UV da Kipp & Zonen de 5,0% (Huang *et al*, 2011). Assim a radiação PAR que foi obtida por diferença por meio da equação: $I_{PAR} = I_G - (I_{UV} + I_{IV})$ possui uma incerteza estimada de 9,0%. A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas através de um sensor HMP45C da marca Campbell Scientific Inc. 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. Os dados de radiação passaram por um controle de qualidade, com eliminação de valores discrepantes e horários antes do nascer e após o por do sol.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. Evolução anual das radiações \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} na estufa de polietileno.

Na Fig. 3 é mostrado os valores das radiações internas \bar{H}_G^{EX} , \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} médias mensais diárias interna da estufa e a evolução da radiação global externa \bar{H}_G^{EX} médias mensais diária externo a estufa. As variações sazonais de \bar{H}_G^{EX} e conseqüentemente, de \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} , são resultantes das variações astronômicas e climáticas ao longo do ano. Os valores de \bar{H}_G^{EX} , \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} , no geral são maiores quando o sol declinou mais próximo da latitude local (declinação solar negativa) nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Nestes meses, período chuvoso, as concentrações de nuvens e vapor de água na atmosfera, são maiores no ano. Ao contrario, os valores das radiações foram menores nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro quando o sol declinou mais distante da latitude local. Nesses meses do período seco, as concentrações de nuvens e vapor de água são as menores, e a concentração de ar seco é aerossóis é maior no ano. A exceção ocorreu nos meses de setembro e de janeiro para \bar{H}_G^{EX} , e conseqüentemente para as demais radiações, cujos valores de energia

foram maior e menor, respectivamente que os valores da serie normal que são 17,7 MJ/m² e 19,3 MJ/m² (ESCOBEDO et al, 2011a). A variabilidade de \bar{H}_G^{EX} , \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} do período chuvoso, está fortemente associada as variações da nebulosidade, precipitação e vapor d’água na atmosfera originadas pelas variações microclimáticas e pelos fenômenos sinóticos macro-climáticos denominado *Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)*. O ZCAS gera aumento da nebulosidade com ocorrência de chuvas intensas e persistentes, na frequência de duas a quatro vezes ao ano e com duração média de até 8 dias nos meses janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro (Carvalho et al., 2002).

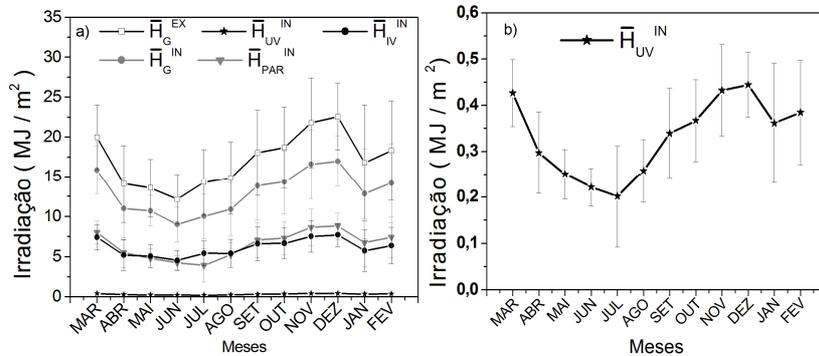


Figura 3 - a) Evolução anual das radiações \bar{H}_G^{EX} , \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu; b) Evolução anual da radiação \bar{H}_{UV}^{IN} dentro da estufa em outra escala no mesmo período.

No período seco, os valores de \bar{H}_G^{EX} , \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} também foram afetados pelas variações da nebulosidade, precipitação e vapor d’água na atmosfera, originadas pelo fenômeno sinótico macro-climático denominado *Sistema Frontal Polar* e por aerossóis originadas nas queimadas da cana-de-açúcar. O *Sistema Frontal Polar* é resultante de passagem de frentes frias vindas da região polar que geram aumento na nebulosidade e ocorrência de chuvas de média e baixa intensidade nos meses de maio e junho. A frequência das frentes frias média de 5 eventos por mês no Estado de São Paulo (Satyamurty et al., 1998). Os aerossóis são originados anualmente nas queimadas da cana-de-açúcar nos meses entre julho a novembro. Na Fig. (4a) está representada a evolução anual das médias mensais diárias da AOD (profundidade ótica de aerossóis) obtidas pelo satélite TERRA e mostra que o material particulado máximo ocorre em setembro. Na Fig. (4b) é mostrado os resultados da calibração entre dados de satélite e as medidas para o ano de 2004 mostram que o valor máximo de AOD = 0,45 em setembro é equivalente a concentração PM₁₀ de 70,0 µg m⁻³ (Codato et al 2008).

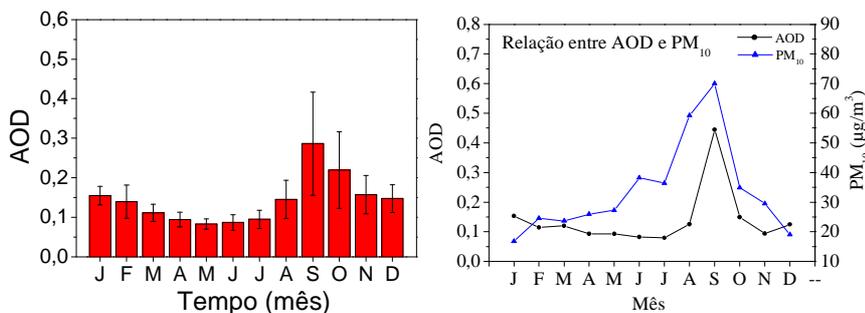


Figura 4 - a) Evolução anual da profundidade ótica de aerossóis AOD médias mensais (obtidas do satélite TERRA) no ano de 2001 a 2005. b) Relação entre a AOD e a concentração de materiais particulados PM₁₀ em ug.m⁻³.

A Fig. 3 mostra que a evolução anual de \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} acompanhou a da \bar{H}_G^{IN} . Nos meses do período úmido: outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, a radiação PAR foi maior que a IV, e nos meses do período seco, abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, a radiação IV foi maior ou igual a PAR. No período úmido, a radiação IV é menor que a PAR devido a forte absorção da radiação IV pelo vapor de água, enquanto que no período seco, a alta concentração de ar seco e aerossóis, espalha e absorve mais a radiação PAR que a IV. A evolução anual da \bar{H}_{UV}^{IN} (fig 3b) mostra o efeito da presença do ar seco (decréscimo do vapor de água) e de aerossóis, no mês de março a julho, na absorção e espalhamento da UV, que reduziu \bar{H}_{UV}^{IN} do maior valor (março) até o menor valor (julho). É evidente que os valores \bar{H}_G^{IN} são inferiores aos valores de \bar{H}_G^{EX} devido a absorção e espalhamento na cobertura de polietileno.

3.2. Evolução anual das Frações média mensal \bar{K}_{UV}^{IN} , \bar{K}_{PAR}^{IN} e \bar{K}_{IV}^{IN} na estufa de polietileno.

Na Fig. 5 é mostrada a evolução temporal das frações ultravioleta, fotossintética ativa e infravermelha da radiação global calculadas por meio das relações: $\bar{K}_{UV}^{IN} = \bar{H}_{UV}^{IN} / \bar{H}_G^{IN}$, $\bar{K}_{PAR}^{IN} = \bar{H}_{PAR}^{IN} / \bar{H}_G^{IN}$ e $\bar{K}_{IV}^{IN} = \bar{H}_{IV}^{IN} / \bar{H}_G^{IN}$ médias mensais, respectivamente.

A normalização das irradiações \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} e \bar{H}_{IV}^{IN} pela irradiação \bar{H}_G^{IN} eliminou a dependência astronômica (declinação solar) e geográfica (latitude), respectivamente, do dia e local. Portanto, as variações sazonais nos valores das frações observadas na Fig. 5 são resultantes das variações climáticas como nuvens, vapor d'água, ar seco e aerossóis na atmosfera, bem como das variações do vapor d'água, aerossóis, dentro da estufa.

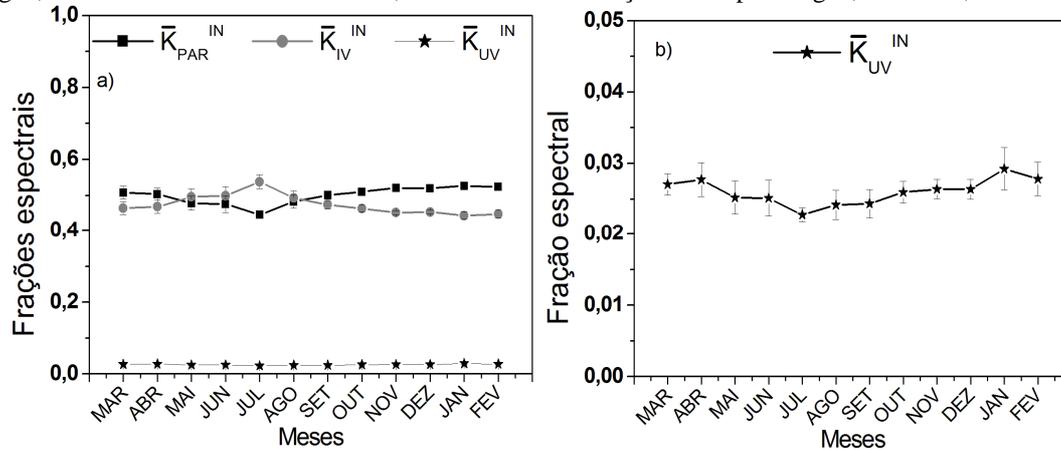


Figura 5 - a) Evolução anual das Frações \bar{K}_{UV}^{IN} e \bar{K}_{PAR}^{IN} dentro da estufa entre março de 2008 a fevereiro de 2009 em Botucatu; b) Evolução anual da fração \bar{K}_{UV}^{IN} dentro da estufa em outra escala no mesmo período.

Os valores médios mensais das frações \bar{K}_{UV}^{IN} , \bar{K}_{PAR}^{IN} e \bar{K}_{IV}^{IN} , variaram em cada mês em função da nebulosidade (frequência do número de dias com $Kt < 0,55$ ou seja cobertura de céu nublado e parcialmente nublado com dominância para céu difuso) e da umidade relativa. Quanto maior foi o número de dias com $Kt < 0,55$ e maior valor de umidade relativa, maiores foram os valores médios \bar{K}_{UV}^{IN} e \bar{K}_{PAR}^{IN} , e menor foi o valor médios da fração e \bar{K}_{IV}^{IN} .

O valor de $\bar{K}_{UV}^{IN} = 2,9\%$ foi maior no mês mais nebuloso e úmido (janeiro) com percentual de dias (68,5%) de $Kt < 0,55$ e umidade relativa de 81,2%, enquanto que o valor de $\bar{K}_{UV}^{IN} = 2,3\%$ foi menor em julho um dos meses mais claro e seco, com percentuais de dias (21,5%) de $Kt < 0,55$ e umidade relativa de 72,7%. Similarmente, o valor de $\bar{K}_{PAR}^{IN} = 52,7\%$ foi maior em janeiro, para 51,8% de dias com $Kt < 0,55$ e umidade relativa de 84,0%, enquanto que o valor $\bar{K}_{PAR}^{IN} = 44,6\%$ foi menor em julho para 21,5% de dias com $Kt < 0,55$ e umidade relativa de 72,7%. Ao contrário, o valor $\bar{K}_{IV}^{IN} = 44,0\%$ foi menor em janeiro, com maiores percentuais de dias (68,5%) com $Kt < 0,55$ e umidade relativa diária de 81,2% respectivamente, enquanto que o valor de $\bar{K}_{IV}^{IN} = 53,8\%$ foi em julho com 21,5% dos dias com $Kt < 0,55$ e umidade relativa de 70,3%. Os resultados médios anual de $\bar{K}_{UV}^{IN} = 2,6\%$, $\bar{K}_{PAR}^{IN} = 50,6\%$ e $\bar{K}_{IV}^{IN} = 47,1\%$ dentro da estufa mostra que as frações UV da radiação global é a metade do valor ao meio exterior $\bar{K}_{UV}^{EX} = 4,2\%$, enquanto que as frações PAR e IV da radiação global são estatisticamente iguais, pois $\bar{K}_{PAR}^{EX} = 49,5\%$ e $\bar{K}_{IV}^{EX} = 47,0\%$ (Escobedo *et al.*, 2011b).

Comparando os valores das frações médios mensais com os valores da fração media anual é possível notar que nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, o valor de \bar{H}_{UV}^{IN} anual subestima os mensais em até -11,5%. Nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, o anual superestima aos mensais em até 11,5%. Nos meses de outubro, novembro e dezembro, o valor para \bar{H}_{UV}^{IN} anual é igual aos mensais. O valor \bar{H}_{PAR}^{IN} anual subestima os mensais em janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro em até -4,1%. Nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, o valor \bar{H}_{PAR}^{IN} anual superestima as mensais em até 5,7%. O valor \bar{H}_{IV}^{IN} anual superestima os valores mensais de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro em até 5,7%. Nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, o valor anual \bar{H}_{IV}^{IN} subestima as equações \bar{H}_{IV}^{IN} mensais em até -14,2%.

3.3 Equações de estimativa das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da global interna H_G^{IN} .

A Fig. (6 a, b e c) mostra que as relações das irradiações diárias ultravioleta interna UV (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna PAR (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha IV interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global interna G (H_G^{IN}) são lineares com elevados coeficientes de determinação R^2 . As equações de estimativas para o agrupamento dos dados anual (modelo 1) e agrupamento sazonal ou estações do ano (modelo 2) são apresentadas na Tab. 1, juntamente com os respectivos coeficientes de determinação R^2 . Os coeficientes de determinação para as três relações da H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} superiores a 0,9774 mostram que as irradiações estão muito bem correlacionadas com a irradiação global dentro da estufa. O ajuste foi melhor na sequência para as radiações: PAR, IV e UV.

O resultado das correlações é da mesma ordem de grandeza ao ajuste obtido por (Escobedo *et al.*, 2008) para as mesmas relações dessas radiações fora da estufa de polietileno. Os valores dos coeficientes de determinação nas

relações externas expressam a dependência que as radiações UV, PAR e IV possuem das condições da cobertura de céu, mais especificamente da presença de nuvens, vapor de água e aerossóis na atmosfera. Os efeitos das nuvens, apor de água, ar seco e aerossóis, são mais intensos para a radiação UV que para as radiações PAR e IV, razão pela qual, a amplitude de variação ou dispersão da relação H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} na Fig. 7a foi superior as das frações H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} e H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} nas Fig. 7b e 7c respectivamente.

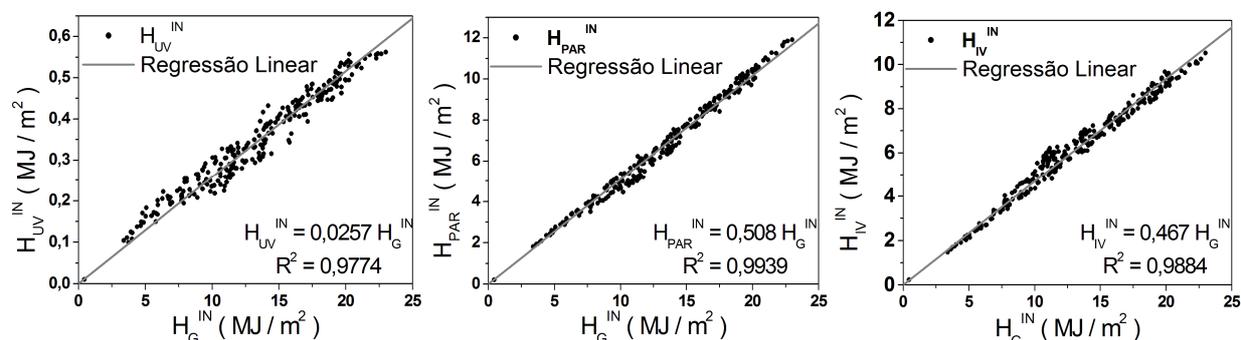


Figura 6 - Relações entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} .

A atmosfera com nuvens e vapor d’água (período úmido) aumenta os valores das frações H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} , e diminui o valor da fração H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} , enquanto que, a atmosfera com ar seco, sem nuvens e com aerossóis (período da seca), diminui os valores das frações H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} , e aumenta o valor da fração H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} . Quanto maior a diferença entre duas coberturas de céu : atmosfera com nuvens e vapor de água, da atmosfera com ar seco, sem nuvens e aerossóis, maior é a amplitude de variação das frações, e conseqüentemente, maior foi a dispersão das correlações ou coeficientes de correlações, mostradas na Fig. 6.

Tabela 1. Equações das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} anual e sazonais.

		Global interna	
		Equação	R ²
Modelo 1	Anual	$H_{UV}^{IN} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9774
		$H_{PAR}^{IN} = 0,508 H_G^{IN}$	0,9939
		$H_{IV}^{IN} = 0,467 H_G^{IN}$	0,9884
Modelo 2	Primavera	$H_{UV}^{IN} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9903
		$H_{PAR}^{IN} = 0,517 H_G^{IN}$	0,9980
		$H_{IV}^{IN} = 0,457 H_G^{IN}$	0,9972
	Verão	$H_{UV}^{IN} = 0,027 H_G^{IN}$	0,9920
		$H_{PAR}^{IN} = 0,518 H_G^{IN}$	0,9971
		$H_{IV}^{IN} = 0,454 H_G^{IN}$	0,9966
	Outono	$H_{UV}^{IN} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9673
		$H_{PAR}^{IN} = 0,490 H_G^{IN}$	0,9899
		$H_{IV}^{IN} = 0,483 H_G^{IN}$	0,9874
Inverno	$H_{UV}^{IN} = 0,023 H_G^{IN}$	0,9888	
	$H_{PAR}^{IN} = 0,483 H_G^{IN}$	0,9953	
	$H_{IV}^{IN} = 0,498 H_G^{IN}$	0,9891	

As equações de estimativas lineares do modelo 1 (Tab. 1) passam pela origem, portanto os coeficientes angulares $H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} = 0,025$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} = 0,508$; $H_{IV} / H_G^{IN} = 0,467$, representam as frações médias de $H_{UV}^{IN} = 2,5\%$, $H_{PAR}^{IN} = 50,8\%$ e $H_{IV}^{IN} = 46,7\%$ da radiação H_G^{IN} . Na Tab. 1 é mostrada ainda as equações sazonais das irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} obtidas em função de H_G^{IN} , no verão, outono, inverno e primavera, bem como, os coeficientes de determinação R². Os elevados coeficiente de determinação R² das equações de estimativa s próximos dos 100,0%, mostram que as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{IN} nas quatro estações do ano. Entre as estações, no geral, o coeficiente de determinação R² foi mais elevado em seqüência para verão, primavera, inverno e outono. A fração H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} é maior na seqüência para as estações: verão com 2,7%, primavera 2,5%, outono 2,5% e inverno 2,3%; a fração H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} foi maior no verão com 51,8%, primavera 51,7%, outono 49,0% e inverno 48,3%; e a fração H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} foi maior no inverno com 49,8%, outono 48,3%, primavera 45,7% e verão 45,4%.

Para as estimativas da irradiação H_{UV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no inverno em 8,0% e subestima no verão em -8,0%, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} . Na primavera e outono, a equação anual estima H_{UV}^{IN} igualmente as estimativas das equações sazonais, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} . Para as estimativas da irradiação H_{PAR}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no outono e no inverno em 2,0% e 5,0%,

respectivamente, e subestima na primavera e verão em -1,8% e -2,0%, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} . Para as estimativas da irradiação H_{IV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais na primavera e verão em 2,1% e 2,8%, respectivamente, e subestima no outono e inverno em -3,5% e -6,7%, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} .

3.4 Equações de estimativa das irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da radiação global externa H_G^{EX} .

Na Fig. (7 a, b, c) são mostradas as relações das irradiações diárias H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da irradiação global externa H_G^{EX} . Essa relação é importante porque permite estimar as radiações diárias UV, PAR e IV dentro da estufa a partir da radiação global diária G externa. A relação entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} com a radiação H_G^{EX} é linear, para o agrupamento anual (modelo 1) e agrupamento sazonal (modelo 2). Na Tab. 2, são apresentadas as equações juntamente com os respectivos coeficientes de determinação R^2 .

O coeficiente angular das equações de estimativas para as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} dentro da estufa a partir da radiação global externa H_G^{EX} , tanto para o modelo 1 como para o modelo 2, são menores que os das equações de estimativas para H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} a partir da global interna H_G^{IN} . A razão deste decréscimo está na atenuação na cobertura de polietileno que reduziu a radiação global em aproximadamente 76,0% ao ser transmitido na estufa.

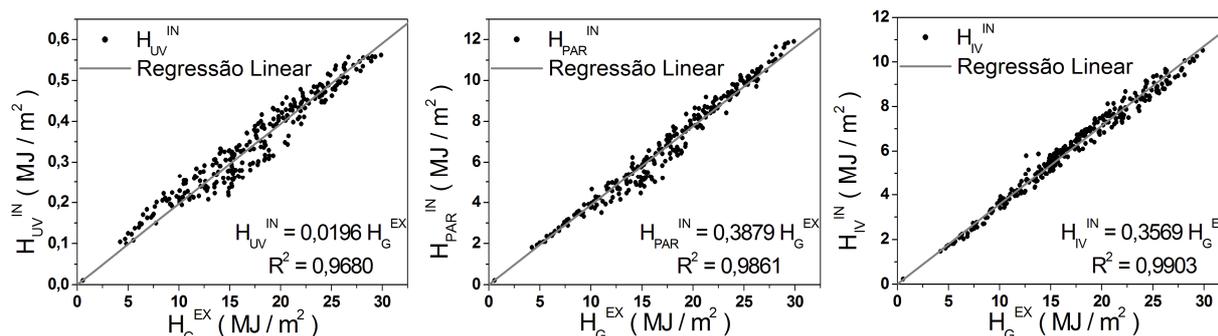


Figura 7 - Relações entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da irradiação H_G^{EX} ;

Na Tab. 2 são mostradas as equações sazonais entre as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} obtidas em função de H_G^{EX} , no verão, outono, inverno e primavera, bem como, os coeficientes de determinação R^2 . Os coeficientes de determinação R^2 das equações de estimativas H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da radiação global externa H_G^{EX} , no geral foram inferiores as das equações de estimativas em função de H_G^{IN} .

Tabela 2. Equações das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função radiação H_G^{EX} anual e sazonal

		Global Externa	
		Equação	R^2
Modelo 1	Anual	$H_{UV}^{IN} = 0,0196 H_G^{EX}$	0,9680
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3879 H_G^{EX}$	0,9861
		$H_{IV}^{IN} = 0,3569 H_G^{EX}$	0,9903
Modelo 2	Primavera	$H_{UV}^{IN} = 0,0195 H_G^{EX}$	0,9925
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3933 H_G^{EX}$	0,9981
		$H_{IV}^{IN} = 0,3476 H_G^{EX}$	0,9925
	Verão	$H_{UV}^{IN} = 0,0208 H_G^{EX}$	0,9936
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3991 H_G^{EX}$	0,9933
		$H_{IV}^{IN} = 0,3497 H_G^{EX}$	0,9962
Outono	$H_{UV}^{IN} = 0,0198 H_G^{EX}$	0,9318	
	$H_{PAR}^{IN} = 0,3783 H_G^{EX}$	0,9625	
	$H_{IV}^{IN} = 0,3740 H_G^{EX}$	0,9971	
Inverno	$H_{UV}^{IN} = 0,0175 H_G^{EX}$	0,9802	
	$H_{PAR}^{IN} = 0,3605 H_G^{EX}$	0,9820	
	$H_{IV}^{IN} = 0,3688 H_G^{EX}$	0,9985	

Essa singularidade ocorreu porque as radiações das correlações ($H_{UV}^{IN} \times H_G^{EX}$), ($H_{PAR}^{IN} \times H_G^{EX}$) e ($H_{IV}^{IN} \times H_G^{EX}$) são de meios diferentes, sendo as radiações internas estão sujeitas às reflexões e multireflexões dentro da estufa. Para um mesmo valor da radiação global externa pode haver muitos valores da radiação global interna, aumentando a dispersão, e diminuído a correlação entre as duas radiações na regressão linear. Na Tab. 2 é mostrado ainda que as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{EX} 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 verão, primavera, outono e inverno. Os valores das frações H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX}

decrecem e o valor de H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} cresce em seqüência nas estações no verão, primavera, outono e inverno, no sentido de decréscimo da nebulosidade e umidade nas estações. A Tab. 2 mostra que o valor da fração H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} é maior para as estações na seqüência verão com 2,1%, primavera 1,95%, outono 1,98% e inverno ,75%; o valor da fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} foi maior para as estações em seqüência verão com 39,9%, primavera 39,3% , outono 37,4% e inverno 36,0%; e o valor da fração H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} foi maior para as estações em seqüência inverno com 36,9%, outono 37,4%, primavera 34,8% e verão 35,0%.

Para as estimativas da irradiação H_{UV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no inverno em 8,0% e no outono em 3,70% e subestima no verão em -9,5%, e 2,0% na primavera em todo intervalo de variação de H_G^{EX} . Para as estimativas da irradiação H_{PAR}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no outono e no inverno em 2,5% e 7,0%, respectivamente, e subestima na primavera e verão em -1,5% e -3,0%, em todo intervalo de variação de H_G^{EX} . Para as estimativas da irradiação H_{IV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais na primavera e verão em 2,5% e 2,0%, respectivamente, e subestima no outono e inverno em -4,8% e -3,5%, em todo intervalo de variação de H_G^{EX} .

4. CONCLUSÕES

A evolução anual das irradiações \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} médias mensais no interior é inferior as do exterior a estufa, devido à atenuação por absorção e reflexão das irradiações na cobertura do polietileno. A sazonalidade das irradiações, devido as variações astronômicas e climáticas ao longo do ano, são iguais do meio exterior a estufa, com valores das irradiações maiores no verão e primavera, e menores no outono e inverno. As frações \bar{K}_{UV} , \bar{K}_{PAR} e \bar{K}_{IV} médias mensais dentro de estufa, variaram em cada mês do ano em função da nebulosidade e da umidade relativa dentro da estufa. As frações \bar{K}_{UV} , \bar{K}_{PAR} e \bar{K}_{IV} médias mensais obtidas dentro de estufa de polietileno iguais a $K_{UV}^{IN} = 2,5\%$ e $K_{PAR}^{IN} = 50,8\%$ diferiram das frações fora da estufa. A fração UV/G diminuiu de 4,2 % para 2,5% , ou seja, a fração UV/G foi reduzida em 40,4 % ou transmitida em 59,5%. A fração PAR/G aumentou de 48,9% para 50,8%, ou seja, transmitida em 103,4%. A fração $K_{IV}^{IN} = 46,7\%$ foi transmitida em 100%.

As correlações anual das irradiações diárias ultravioleta interna (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global interna (H_G^{IN}) são lineares tipo ($Y = aX$), e com elevados coeficiente de determinação R^2 . Os coeficientes angulares representam as frações média de H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} da radiação H_G^{IN} ou seja, $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 0,025$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 0,508$; $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 0,467$ respectivamente. Percentualmente, a irradiação ultravioleta UV na global é igual $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,5\%$; a irradiação fotossinteticamente ativa PAR da global é $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 50,8\%$ e a irradiação infravermelha IV da global e $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 46,7\%$. Sazonalmente, as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão bem correlacionadas com a irradiação H_G^{IN} , com melhores resultados em seqüência 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. As frações H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} são decrescentes e H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} é crescente na seqüência das estações verão, primavera, outono e inverno. A fração H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} é maior no verão com 2,7%, primavera com 2,5%, outono com 2,5% e inverno com 2,3%; a fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no verão com 51,8%, primavera com 51,7% , outono com 49,0% e inverno com 48,3%; e a fração H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no inverno com 49,8%, outono com 48,3%, primavera com 45,7% e verão com 45,4%.

As correlações anual das irradiações diárias ultravioleta interna (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global externa (H_G^{EX}) são lineares e com elevados coeficiente de determinação R^2 . Similarmente, os coeficientes angulares representam as frações média de H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} da radiação H_G^{EX} , ou seja, $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 0,019$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 0,388$; $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 0,357$ respectivamente. Percentualmente, a irradiação ultravioleta UV na global é igual $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 1,9\%$; a irradiação fotossinteticamente ativa PAR da global é $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 38,8\%$ e a irradiação infravermelha IV da global e $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 35,7\%$. Sazonalmente as irradiações internas H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{EX} 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. As frações H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} são decrescentes e H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} é crescente no verão, primavera, outono e inverno. A fração H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} é maior verão com 2,1%, primavera com 1,95%, outono com 1,98% e inverno com 1,75%; a fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no verão com 39,9%, primavera com 39,3% , outono com 37,4% e inverno com 36,0%; e a fração H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no inverno com 36,9%, outono com 37,4%, primavera com 34,8% e verão com 35,0%.

Agradecimentos

Agradecimentos CNPq e FAPESP pelo auxilio financeiro da pesquisa

REFERÊNCIAS

- Abdel-Ghany, A. M., Al-Helal, I. M. Solar energy utilization by a greenhouse: General relations, Renewable Energy, Volume 36, Issue 1, January 2011, Pages 189-196, ISSN 0960-1481, 10.1016/j.renene.2010.06.020.
- Aguiar e Silva, M.; Escobedo, J. F.; Galvain, E. Saldo de radiação em ambientes protegidos - modelos de estimativa. *Revista Horticultura Brasileira*, v. 18, p. 189-191, 2000.

- Beckmann, M. Z., G. R. B. Duarte, et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul, *Ciência Rural*, vol. 36, n., pp. 86-92. 2006.
- Buriol, G. A., N. A. Streck, et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas, *Ciência Rural*, vol. 25, n., pp. 1-4. 1995.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B.. Extreme precipitation events in sputheastern South America and large-scale convective patters in the South Atlantic Convergence Zone. *Jornal of Climate*, v. 15, p. 2377-2394, 2002.
- Cechin, I.; Fumis, T. de F.; Dokkedal, A. L. Growth and physiological responses of sunflower plants exposed to ultraviolet-B radiation. *Cienc. Rural* [online]. 2007, vol.37, n.1 [cited 2012-04-05], pp. 85-90 . Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000100014&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0103-8478. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000100014>.
- Codato, G. Oliveira A. P. Soares J. Escobedo, J. F. Gomes, E. N. Pai, A. D. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast Brazil, *Theoretical and Applied Climatology*, **93** pag. 57-73. 2008.
- Dal pai, E.; Escobedo, J. F. Equações de Estimativa das Radiações espectrais UV, PAR e IV diárias em estufas de polietileno. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. v. 16. Belo Horizonte-MG, Brasil. 2009.
- Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. Variações Mensais das Frações Solares UV, PAR e IV da radiação Global em Botucatu. *II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES*. Florianópolis-SC, Brasil. 2008.
- Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, 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, n. 3, p. 299-309, 2009.
- Escobedo, J. F. ; Rodrigues, D.; Oliveira, A. P.; Soares, J. . Annual and monyhly mean global, direct and diffuse solar irradiation in Botucatu/SP/Brasil. In: ISES Solar World Congress, 2011, Kassel, v. 1. p. 93-104, 2011a.
- Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira; A. P. Soares, J. R. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy*, v. 36, p. 169-178, 2011b.
- Farkas, I.; Weihs, P.; Biró, A.; Laube, W.; Eitzinger, J.; Wójcicki, A. Modelling of radiative PAR transfer in a tunnel greenhouse, *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 56, n. 4–5, p. 357-368, 2001. ISSN 0378-4754, 10.1016/S0378-4754(01)00307-X.
- Frisina, V. A. *Modelagem das Radiações Global, Difusa e Fotossinteticamente ativa em Ambiente protegido e suas relações com o crescimento e produtividade da cultura de Pimentão (Capsicum annum L.)*. Botucatu: FCA, UNESP. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2002.
- Huang, M., Jiang, H.; Ju, W.; Xiao, Z. Ultraviolet. Radiation over Two Lakes in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China: An Innovative Model for UV Estimation. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, v. 22, n. 5, p. 491-506, outubro 2011.
- Kittas, C.; Baille, A.; Giaglaras, P. Influence of Covering Material and Shading on the Espectral Distribution of Light in Greenhouses. *J. Agric. Engng. Res.*, v. 73, p. 341-351, 1999.
- Loges, V. et al . Colheita, pós-colheita e embalagem de flores tropicais em Pernambuco. *Hortic. Bras.*, Brasília, v. 23, n. 3, Julho 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362005000300001&lng=en&nrm=iso>.
- Pollet, I. V. and J. G. Pieters, 1999. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. **93**, n. 2, pp. 149-152
- Satyamurty, P, Mattos L.F., Nobre, C. A. & Silva Dias, P. L. 1998. Tropics - South America. In : *Meteorology of the Southern Hemisphere*, Ed. Kauly, D. J. and Vincent, D. G., Meteorological Monograph. American Meteorological Society, Boston, 119-139.
- Sentelhas, P. C.; Borsatto, R. S.; Minami, K. transmissividade da radiação solar em estufas cobertas com filmes de PVC azul e transparente. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v. 7, n. 2, p. 157-162, 1999.
- Souza, J.W., Martins, D., Ribeiro, A. da C., Escobedo, J.F., Lunardi, M.A. Efeito do polietileno difusor de luz, sobre a radiação solar global, em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. v. 12, n. 2, p. 211-217, 2004.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. - Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

UV, PAR AND NIR SOLAR RADIATIONS INSIDE A POLYETHYLENE GREENHOUSE

Abstract. This work presents annual and monthly evolutions of \bar{H}_G^{IN} , \bar{H}_{UV}^{IN} , \bar{H}_{PAR}^{IN} , \bar{H}_{IV}^{IN} solar radiations and \bar{K}_{UV} , \bar{K}_{PAR} e \bar{K}_{IV} ratios inside a polyethylene greenhouse. The measurements were performed from March 2008 to February 2009 in Botucatu/SP/Brazil. We presented either the annual linear relations (type $Y = a X$) of ultraviolet (\bar{H}_{UV}^{IN}), photosynthetically active radiation (\bar{H}_{PAR}^{IN}) and near infrared (\bar{H}_{IV}^{IN}) daily irradiances with global inside irradiation (H_G^{IN}) and global outside irradiation (H_G^{EX}) and its respective coefficients of determination.

Key Words: Global, ultraviolet, photosynthetically active and near infrared solar radiations ,polyethylene greenhouse.