

## ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM ESTUFA DE POLIETILENO A PARTIR DO BRILHO SOLAR<sup>1</sup>

ENZO DAL PAI<sup>2</sup> & JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO<sup>3</sup>

---

**RESUMO:** O trabalho descreve uma análise da transmissividade da radiação global, o brilho solar em estufa de polietileno, e a obtenção da equação de estimativa da radiação global ( $H_G^{IN}$ ) em função da razão da insolação interna  $(n/N)^{IN}$  e externa  $(n/N)^{EX}$ . As bases de dados da radiação global e número de horas de brilho solar nos dois meios, foram medidas no período de março de 2008 e fevereiro de 2009 em Botucatu/SP/Brasil. A correlação (tipo  $Y = aX$ ) obtida para a radiação global foi  $H_G^{IN} = 0,762 H_G^{EX}$ , com coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,9948$ , enquanto o brilho solar  $(n/N)^{IN} = 0,768 (n/N)^{EX}$  com  $R^2 = 0,9384$ . As equações de Ångström- Prescott tipo  $Y = a + b X$  obtidas por regressão linear em função da razão de insolação interna e externa foram:

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN}$$

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,28 (n/N)^{EX}$$

com coeficientes de determinação  $R^2 = 0,9104$  e  $R^2 = 0,8543$  respectivamente.

**Palavras-chave:** Ambiente protegido, equação de Ångström- Prescott, razão de insolação.

---

<sup>1</sup> Trabalho extraído da dissertação “Radiações e frações solares UV, PAR, IV em estufa de polietileno: evolução anual média mensal diária e equações de estimativa” defendida no curso de pós-graduação da Energia na agricultura da Faculdade de Ciências agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista/FCA-Lageado, Departamento de Recursos Ambientais: [enzodalpai@yahoo.com.br](mailto:enzodalpai@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista/FCA-Lageado, Departamento de Recursos Ambientais: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

## GLOBAL SOLAR RADIATION ESTIMATION INSIDE POLYETHYLENE GREENHOUSES FROM THE SUNSHINE DURATION

**SUMMARY:** *This paper describes the study of the hours of bright sunshine ( $n^{IN}$ ) inside a polyethylene tunnel type greenhouse, and their relations to the hours of bright sunshine outside ( $n^{EX}$ ), astronomic day duration ( $N$ ), global radiation inside ( $H_G^{IN}$ ) and global outside ( $H_G^{EX}$ ) for a database of measurement in the period from March 2008 to February 2009 in Botucatu. It was calculated the annual evolution of the mean monthly clearness index  $K_t$  atmosphere of that ranged from 39.6% to 62.7%, with an annual average of 50.0%; the transmissivity of global radiation in polyethylene cover ( $\tau_G = G^{IN} / G^{EX}$ ), which ranged from 79.4% to 71.2%, with an annual average of 75.6%; the ratio of the number of hours of bright sunshine inside and outside the greenhouse of polyethylene ( $N^{IN} / N^{EX}$ ), which ranged from 65.0% to 82.0% with an annual average of 76.0%; and the relationship between relative sunshine inside and outside the greenhouse of polyethylene ( $n / N$ )<sup>IN</sup> / ( $n / N$ )<sup>EX</sup>, which ranged from 65.0% to 82.0% with an annual average of 75.0%. For the annual collation of data per day, was determined to estimate a linear equation between the relative sunshine inside and outside the greenhouse as polyethylene ( $n / N$ )<sup>IN</sup> = 0.768 ( $n / N$ )<sup>EX</sup>, with a high degree of correlation  $R^2 = 0.9384$ . It was also obtained by linear regression equation for Ångström  $H_G^{IN}$  depending on the ratio relative sunshine inside ( $n / N$ )<sup>IN</sup> and outside ( $n / N$ )<sup>EX</sup> as:  $H_G^{IN} / H_0 = 0.23 + 0.35 (n / N)^{IN}$  and  $H_G^{IN} / H_0 = 0.23 + 0.28 (n / N)^{EX}$  with a coefficient of determination  $R^2 = 0.9104$  and  $R^2 = 0.8543$  respectively.*

**Keywords:** *Greenhouse; Ångström equation; relative sunshine.*

### 1 INTRODUÇÃO

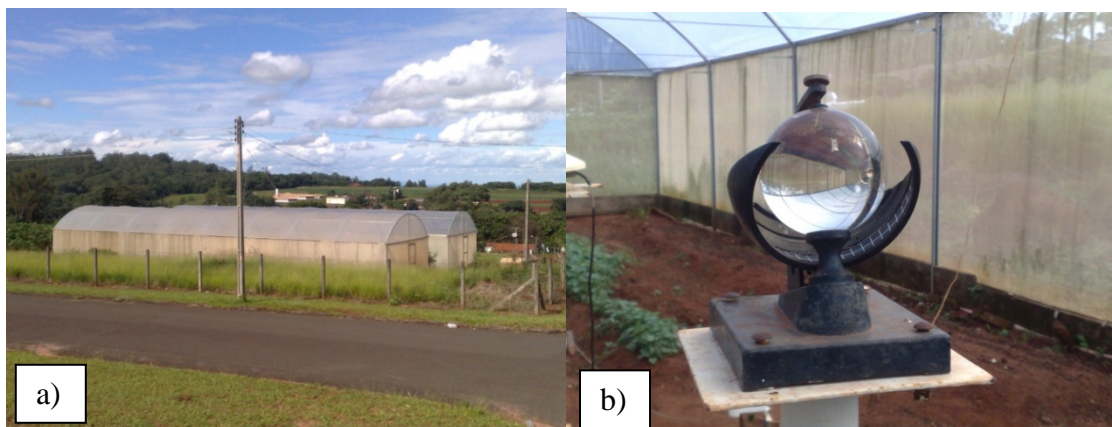
A vantagem da utilização de estufas de polietileno na agricultura consiste em aumentar a produção de hortaliças e flores, principalmente nos períodos de entressafra, permitindo maior regularização da oferta e melhor qualidade dos produtos. Através do manejo correto deste micro ambiente, o produtor pode alcançar aumento de produtividade em torno de 30% a 50% em relação ao ambiente externo de culturas como mostram estudos com pimentão, feijão e tomate (SOUZA & ESCOBEDO, 1997; STEIDLE NETO et al., 2008).

Alterações microclimáticas nas temperaturas, umidade, e nas componentes da radiação solar global, refletida, PAR, e saldo de radiação, provocadas pelo polietileno têm sido estudadas por muitos pesquisadores com objetivo de compreender os processos físicos e climáticos responsáveis pelo aumento da produtividade das culturas como mostram os trabalhos de Critten(1993); Guiselini et al.(2004); Pezzopane et al.(2004); Beckmann et al.(2006); Steidle Neto et al.(2008). No entanto, pesquisas com o brilho solar(n) ainda são escassas e há poucas informações disponíveis na literatura especializada. O conhecimento do número de horas de brilho solar n em estufa de polietileno é de fundamental importância na área da plásticultura, pois, permite rápida estimativa da radiação global a partir da equação de Ångström- Prescott, sem necessidade da medição da radiação global, que ainda não é de prática comum em todas as estações meteorológicas do Brasil.

A equação de Ångström- Prescott (ÅNGSTRÖM, 1924; PRESCOTT, 1940), associa a transmissividade atmosférica da radiação global ( $K_t = H_G / H_0$ ) com a razão de insolação  $n/N$ , numa equação do tipo linear tipo  $K_t = a + b (n/N)$ . Neste modelo, a estimativa da radiação  $H_G$  em função de  $n/N$  elimina a dependência do local e dia, e assim a variação de  $H_G$  é resultante apenas da variação dos parâmetros climáticos (nebulosidade, vapor de água, aerossóis e outros) de um local para o outro. Os coeficientes  $a$  e  $b$  variam predominantemente em função dos seguintes fatores: latitude; altitude, albedo da superfície, elevação solar, concentração de vapor d'água na atmosfera e concentração de aerossóis (poluição) na atmosfera (MARTÍNEZ-LOZANO et al., 1984). Considerando a importância da estufa na produção agrícola, este trabalho teve como objetivo efetuar medidas do número de horas de brilho solar e das radiações globais, dentro e fora da estufa de polietileno para determinar as relações da radiação global, do número de horas de brilho solar e razão de insolação nos dois meios, e obter as equações de Ångström- Prescott a partir da razões de insolação interna e externa.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

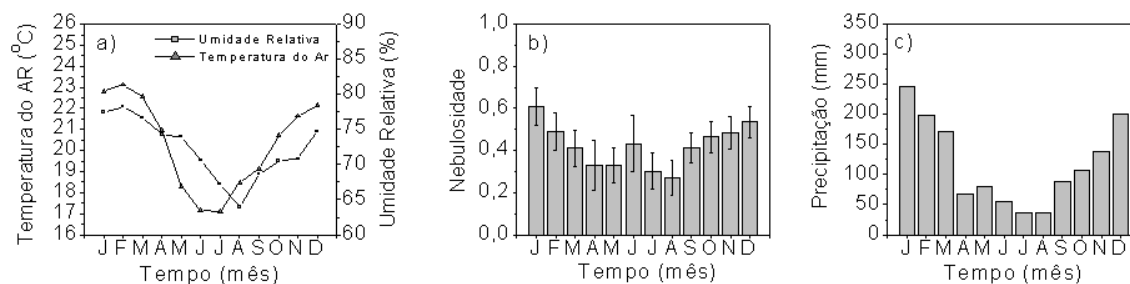
O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar da FCA/ UNESP no período de 01/03/2008 e 28/02/2009 em Botucatu (latitude 22°50'47,4" Sul e longitude 48°25'54,14" Oeste e altitude de 786 m). A estufa utilizada no trabalho é do tipo túnel alto com polietileno de 100µm, sem ventilação (áreas laterais fechadas com polietileno) com dimensões: 24m de comprimento, 7m de largura, 2m de pé direito e 1,7m de altura. A figura 1 mostra a estufa e o heliógrafo instalado em seu interior.



**Figura 1** - a) Vista externa da estufa;

b) Heliógrafo instalado no interior da estufa.

O clima de Botucatu é temperado quente (mesotérmico), com o verão quente e úmido e o inverno 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. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de  $23,2^{\circ}\text{C}$  e  $17,1^{\circ}\text{C}$ , enquanto que, fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente.



**Figura 1.1** - Séries Climáticas da Temperatura e Umidade Relativa (a), Nebulosidade (b), Precipitação(c), do período de 1970 a 2000 em Botucatu.

A evolução anual da nebulosidade, na grande maioria dos meses, segue as séries climáticas da temperatura e umidade relativa. É mais elevada nos meses de janeiro ( $f=0,61$ ) e menor em agosto ( $f=0,27$ ). A exceção ocorre nos meses de maio e junho, nos quais a temperatura e umidade relativa decrescem, e a nebulosidade permanece constante em maio com relação a abril, e aumenta em junho comparado a maio. Essa singularidade existe por conta de entradas das frentes frias vindas do sul e sudeste do país, que arrasam grandes quantidades de massas de ar frio para a região nordeste no outono, nos meses de abril e maio.

Contrastando a nebulosidade, os meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 229h e 175,28h, respectivamente.

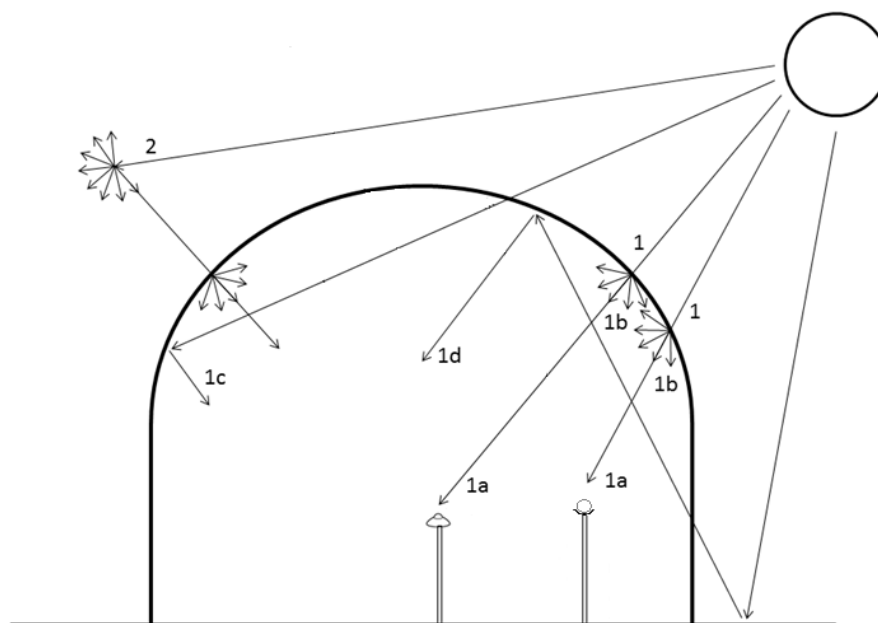
O número de horas de brilho solar foi medido dentro ( $n^{IN}$ ) e fora ( $n^{EX}$ ) da estufa por dois heliógrafos de marca - Campbell Stokes. Na medição da radiação global interna ( $I_G^{IN}$ ) e externa ( $I_G^{EX}$ ) foram usados piranômetros Kipp & Zonen e Eppley, respectivamente. Para minimizar os efeitos de bordas nas medidas todos os equipamentos foram instalados na região central da estufa. A razão de insolação foi calculada pela relação  $n/N$ , onde  $N$  é o fotoperíodo.

Na aquisição dos dados foi utilizado um datalogger da marca Campbell CR21X, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos. 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. Os dados de irradiância global  $I_G^{IN}$  e  $I_G^{EX}$  em  $W/m^2$  foram integrados na partição diária e estão sendo representadas por  $H_G^{IN}$  e  $H_G^{EX}$  respectivamente, tendo como unidade o  $MJ/m^2$  dia.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

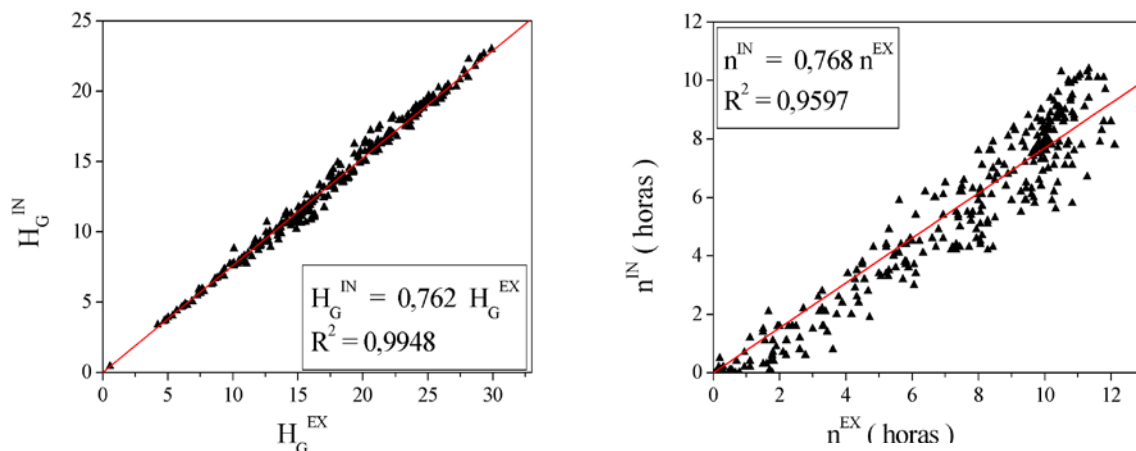
#### 3.1 Transmissividade da radiação global e brilho solar na Cobertura de Polietileno.

As radiações direta e difusa do espectro total (0,285 a 4,0 $\mu$ m) ao interagirem com a cobertura de polietileno tipo túnel são transmitidas para dentro da estufa, como mostra o esquema na figura 3 (FARKAS et al., 2001). As radiações direta e difusa, após interagirem com a cobertura de polietileno, contribuem nas medidas das radiações global com as seguintes componentes: 1) – 1a- direta transmitida; 1b- direta espalhada; 1c- refletida; 1d- multirefletidas das superfícies horizontal interna e externa, e então espalhada ou refletida novamente na cobertura, e 1e- multirefletidas na cultura e então espalhada ou refletida novamente na cobertura. A radiação difusa contribui na medida das radiações global dentro da estufa com as componentes: 2) 2a- radiação difusa externa transmitida direcionalmente, 2b- difusa espalhada e 2c- difusas refletidas na cobertura e todas as demais irradiancias difusas que sofreram múltiplas reflexões na superfície horizontal e na cultura. Similarmente, as radiações direta e difusa após interagirem com a cobertura de polietileno contribuem nas medidas do brilho solar somente a componente 1a: direta transmitida;

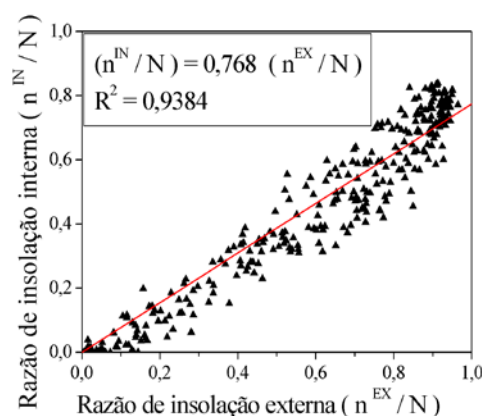


**Figura 3** - Esquema da interação das radiações direta e difusa dos espectros total e PAR na

Estudos com a radiação global em estufas de polietileno em condições de campo mostram que a transmissividade na cobertura depende de vários fatores como: tipo e espessura da cobertura (SOUZA et al., 2004), tempo de uso e quantidade de sujeiras depositadas na cobertura (BECKMANN et al., 2006), ângulo de incidência (POLLET & PIETERS, 1999) e concentração de vapor de água na cobertura (BURIOL et al., 1995; FARKAS et al. 2001), entre outros. A transmissividade depende ainda das condições do céu: a transmissão em dias de céu nublado de 80,0% é maior que em dias de céu claro 78,0% (FARKAS et al. 2001). No geral, resultados mostram que a transmissividade da radiação global ( $H_g^{in}/H_g^{ex}$ ) na cobertura de polietileno situa-se entre os valores de 70,0% a 80,0% (SOUSA et al., 2004;). Neste trabalho a transmissividade da radiação global ( $\tau_G$ ) diária foi calculada por meio da relação entre as radiações global interna e a global externa, pela equação  $\tau_G = H_G^{IN} / H_G^{EX}$



**Figura 4** - a) Relação da radiação global interna ( $H_G^{IN}$ ) com a radiação global externa ( $H_G^{EX}$ ); b) relação do número de horas de brilho solar interno e externo.



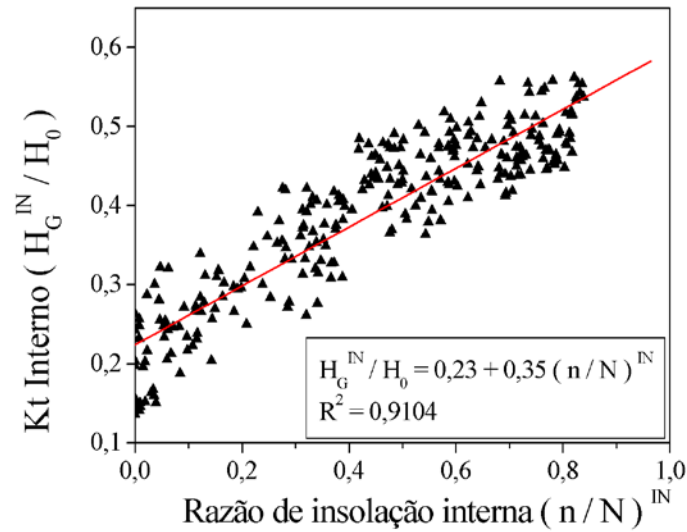
**Figura 5** - Relação entre a razão de insolação ( $(n/N)^{IN}$ ) dentro e fora da ( $(n/N)^{EX}$ ) da estufa de polietileno.

### 3.2 Equação de Ångström na estufa de polietileno.

A equação de Ångström na estufa de polietileno obtida por regressão linear por meio da relação entre  $Kt^{IN} = H_G^{IN} / H_0$  e a razão de insolação ( $n/N$ )<sup>IN</sup> dentro da estufa de polietileno foi:

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN} \quad \text{com} \quad R^2 = 0,9104$$

O coeficiente de determinação  $R^2$  igual a 0,9104 mostra que a radiação global está muito bem correlacionada com o número de horas de brilho dentro da estufa pela equação de Ångström.



**Figura 6** - Relação entre o índice Kt e a razão de insolação  $(n/N)^{IN}$  dentro da estufa;

O coeficiente de intercepto  $a = 0,23$  representa a transmissividade mínima, enquanto que a soma dos coeficientes de intercepto e angular:  $0,23 + 0,35 = 0,58$  representam a transmissividade máxima da radiação global dentro da estufa. A comparação da equação de Ångström dentro da estufa (Equação 4) com a Equação(5) obtida para o meio exterior da estufa para uma base de dados de 10 anos medida no período de 1996 a 2005 (ESCOBEDO et al. 2007), mostra que os coeficientes de Ångström  $a$  e  $b$  da equação dentro da estufa são inferiores aos da equação fora da estufa.

$$H_G^{EX} / H_0 = 0,26 + 0,47 (n/N)^{EX} \quad (5)$$

$$R^2 = 0,98375$$

A transmissividade mínima foi reduzida de 0,26 para 0,23 enquanto que a transmissividade máxima de 0,73 para 0,58 numa redução percentual de  $a$  e  $a+b$ , de 11,5% e 20,5% respectivamente.

Na Figura 5 é apresentada a relação entre a razão de insolação  $(n/N)^{IN}$  dentro e a razão de insolação  $(n/N)^{EX}$  fora da estufa de polietileno para o agrupamento total dos dados diários. A relação entre as razões de insolação é linear e com elevado nível de correlação. A equação de regressão linear obtida passando pela origem ajustada na distribuição dos pontos experimentais é:

$$(n/N)^{IN} = 0,768 (n/N)^{EX} \quad (6)$$

$$R^2 = 0,9384$$



O coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9384$ , mostra que a razão de insolação  $(n/N)^{IN}$  dentro e a razão de insolação  $(n/N)^{EX}$  fora da estufa de polietileno próximo dos 100% estão bem correlacionadas. O resultado obtido para a razão de insolação interna igual a 76,8% da externa, está em concordância com o resultado obtido para a transmissão da radiação global na estufa de polietileno, descrito na secção anterior, que foi em média de 76,0%.

Expressando a razão de insolação dentro e fora da estufa  $(n/N)^{IN} = 0,76 (n/N)^{EX}$  na equação de Ångström dentro da estufa  $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN}$  temos:

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + (0,35 \times 0,76) (n/N)^{EX} \quad (7)$$

ou

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,28 (n/N)^{EX} \quad (8)$$

A equação de Ångström permite estimar a radiação global interna  $H_G^{IN} / H_0$  a partir da razão de insolação  $(n/N)^{EX}$  medida externamente a estufa, com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,8543$ .

#### 4 CONCLUSÕES

Existe uma relação da transmissividade da radiação global e do brilho solar no interior e exterior da estufa de polietileno tipo túnel com elevada correlação: a equação linear (tipo  $Y = a X$ ) obtida para a radiação global  $H_G^{IN} = 0,762 H_G^{EX}$  e para a razão de insolação  $(n/N)^{IN} = 0,768 (n/N)^{EX}$  permitem estimar a radiação global e o número de horas de brilho solar dentro da estufa com elevados coeficientes de determinações de  $R^2 = 0,9948$  e  $R^2 = 0,9384$  respectivamente, a partir das medidas da radiação global e o número de horas de brilho solar fora da estufa. A equação de Ångström obtida dentro da estufa:  $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN}$  permite estimar a radiação global interna a partir da razão de insolação interna com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9104$ , enquanto que, a equação de Ångström:  $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,28 (n/N)^{EX}$  permite estimar a radiação global interna a partir da razão de insolação externa com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,8543$ .

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo auxílio pelo auxílio financeiro.

#### 6 REFERÊNCIAS

ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.50, p. 121-126, 1924.

- BECKMANN et al.. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 86-92, 2006.
- BURIOL et al.. Transmissividade da radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, p. 1-4, 1995.
- CRITTEN, D. L. A review of the light transmission into greenhouse crops. **Acta Hortic.**, Wageningen, v. 38, p. 9-31, 1993.
- ESCOBEDO, J. F. et al.. Equações de Estimativa diária para as radiações UV, PAR e IV em função da Global para cobertura atmosférica total e discreta. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**, n. 1, 2007, Fortaleza. Anais.
- FARKAS, I. et al.. Modelling of radiative PAR transfer in a tunnel greenhouse. **Mathematics and Computers in Simulation**, New Brunswick, v. 56, n. 4-5, p. 357-368, 2001.
- GUISELINI, C. et al.. Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido - II: Efeito sobre a radiação solar global e a fotossinteticamente ativa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v. 12, n. 1, p. 19-26, 2004.
- MARTÍNEZ-LOZANO, J. A. et al.. The historical evolution of the Ångström formula and its modifications: Review and bibliography. **Agricultural and Forest Meteorology**, Columbus, v. 33, n. 2-3, p. 109-128, 1984.
- PEZZOPANE, J. E. M. et al.. Alterações microclimáticas causadas pelo uso de tela plástica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 9-15, 2004
- POLLET, I. V.; & PIETERS, J. G. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, Columbus, v. 93, n. 2, p. 149-152, 1999.
- PRESCOTT, J. A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transaction of the Royal Society Science Australian**, Adelaide, v. 64, p. 114-118, 1940.

SOUZA, J. L. et al.. Balanço de Radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 1-15, 1997.

SOUZA, J. W. et al.. Efeito do polietileno difusor de luz, sobre a radiação solar global, em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v. 12, p. 211-217, 2004.

STEIDLE NETO, A. J. et al.. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 626-631, 2008.