

SALDO DE RADIAÇÃO EM ESTUFA DE POLIETILENO

E. Dal Pai, L.C. Lenz, J. F. Escobedo

Dep. Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP. Botucatu/SP/Brasil.
Rua José Barbosa de Barros, 1780 - CEP 18610-307 - Tel. (14) 3880-7100 - Fax (14) 3815-3438
e-mail:escobedo@fca.unesp.br

Recibido: 12/08/13; Aceptado: 29/9/13

RESUMO.- O trabalho descreve uma análise climática e estatística do Saldo de Radiação (SR) em estufa de polietileno tipo túnel, para uma base de dados de radiações de ondas curtas global ($G\downarrow^{in}$) e refletida ($R\uparrow^{in}$), e das radiações de ondas longas atmosférica ($\downarrow^{in}LW_{atm}$) e terrestre ($\uparrow^{in}LW_{terr}$), medidas no período de 01/03/2008 a 28/03/2009 no campus da FCA, UNESP de Botucatu. Os valores de $G\downarrow^{in}$, $R\uparrow^{in}$, $\downarrow^{in}LW_{atm}$ e $\uparrow^{in}LW_{terr}$ apresentam variações sazonais ao longo do ano: os valores médios mensais das radiações são maiores no período chuvoso, verão e primavera, nos quais são maiores as concentrações de nuvens e vapor de água dentro da estufa, e menores no outono e inverno, no período da seca, onde são menores as concentrações de nuvens e vapor de água na estufa. Para uma transmissividade média mensal da radiação global variando entre 79,4% em março a 71,2% em Julho (média total de 75,6%), os valores médios mensais das radiações de ondas curtas foram: $G\downarrow^{in} = 12,7 MJ/m^2$ e $R\uparrow^{in} = 1,67 MJ/m^2$, enquanto que as radiações de ondas longas foram: $\downarrow^{in}LW_{atm} = 36,3 MJ/m^2$ e $\uparrow^{in}LW_{terr} = -40,8 MJ/m^2$. O valor do saldo de radiação de ondas curtas $SR_{OC} = (G\downarrow^{in} - R\uparrow^{in})$ médio anual obtido foi de $11,2 MJ/m^2$, enquanto que o saldo de radiação de ondas longas $SR_{OL} = (\downarrow^{in}LW_{atm} - \uparrow^{in}LW_{terr})$ médio anual obtido foi de $-3,7 MJ/m^2$. Portanto, o Saldo de Radiação total $SR = (SR_{OC} - SR_{OL}) =$ médio anual obtido foi de $8,5 MJ/m^2$.

Palavras-chaves: balanço de energia; estufa de polietileno; radiação de ondas longas

NET RADIATION INSIDE POLYETHYLENE GREENHOUSE

ABSTRACT.- This paper describes an analysis of climate and statistical Net Radiation (NR) in a polyethylene tunnel type greenhouse, for a database of global shortwave radiation ($G\downarrow^{in}$) and reflected ($R\uparrow^{in}$), and atmospheric longwave radiation (LW_{atm}) and terrestrial (LW_{terr}), measures the period of 01/03/2008 to 28/03/2009 on the campus of FCA, UNESP Botucatu-Brazil. Values of $G\downarrow^{in}$, $R\uparrow^{in}$, LW_{atm} and LW_{terr} show seasonal variations throughout the year: the average monthly values of radiation are higher in the rainy season, spring and summer, in which there are larger concentrations of clouds and water vapor inside the greenhouse, and lower in autumn and winter, the period of drought, which there are smaller concentrations of clouds and water vapor in the greenhouse. Transmissivity for a monthly average of global radiation ranging from 79.4% in March to 71.2% in July (average total of 75.6%), the average monthly values of shortwave radiation were in $G\downarrow^{in} = 12,7 MJ/m^2$ and $R\uparrow^{in} = 1.67$ in MJ/m^2 , while the long wave radiation were $LW_{atm} = 36.3 MJ/m^2$ and $LW_{terr} = -40.8 MJ/m^2$. The balance amount of shortwave radiation $SR_{OC} = (G\downarrow^{in} - R\uparrow^{in})$ annual average obtained was $11.2 MJ/m^2$, while the balance of longwave radiation $SR_{OL} = (LW_{atm} - LW_{terr})$ average annual obtained was $-3.7 MJ/m^2$. Therefore, the Net radiation $SR = (SR_{OC} - SR_{OL}) =$ annual average obtained was $8.5 MJ/m^2$.

Keywords: Net radiation; polyethylene greenhouse; longwave radiations

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o cultivo em estufas de polietileno vem aumentando consideravelmente, em vários países como meio de proteção às plantas e culturas agrônômicas contra adversidades e variações climáticas. A grande vantagem desta técnica consiste na possibilidade de produção, principalmente de hortaliças e flores, nos períodos de entressafra, permitindo maior regularização de oferta e melhor qualidade dos produtos. As estufas de polietileno levam à obtenção de produtos de alta qualidade e podem alcançar aumento de produtividade em torno de 30% a 50% maior em relação ao ambiente externo, como mostram estudos com pepino, pimentão, feijão e tomate (Galvani *et*

al., 2000; Cunha *et al.*, 2003; Souza & Escobedo, 1997; Heldwein *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2005).

No Brasil, o uso de estufas de polietileno apresenta diversas funções considerando a extensão e localização geográfica. Nas regiões Sul e Sudeste, por exemplo, a estufa de polietileno atua como regulador térmico, diminuindo o efeito danoso causadas em algumas culturas por baixas temperaturas e geadas. Em regiões onde as temperaturas são elevadas, como na região do Nordeste e Centro-Oeste as estufas de polietileno proporcionam alterações microclimáticas por meio de variações das radiações solares global, difusa, fotossinteticamente ativa (PAR), temperatura, umidade e balanço de energia, entre outras. Simultaneamente, a estufa de polietileno minimiza efeitos

adversos dos ventos fortes e chuvas intensas e de granizos, que normalmente provocam danos às plantas, não só fisiológicos como mecânicos, além de diminuir a incidência de pragas (Khoshnevisan *et al*, 2013).

Pesquisas realizadas em diversas regiões do Brasil a partir dos anos 90 e em outros locais, mostram que as alterações microclimáticas são os principais fatores responsáveis pelo aumento de produtividade das culturas (Farias *et al.*, 1993; Escobedo *et al.*, 1994; Frisina & Escobedo, 1999; Holcman & Sentelhas, 2012; Galvani *et al*, 2001, Cunha *et al*, 2002; Pezzopane *et al*, 1995; Costa *et al*, 2010; Beckmann *et al*, 2006). Outros resultados mostram ainda que a cobertura de polietileno também é responsável pelo aumento da produtividade das culturas, pois no processo de interação das radiações direta na incidência normal e difusa do espectro total, há um aumento das frações PAR-global e PAR-difusa do espectro PAR(Escobedo *et al*, 2011). O aumento das radiações PAR-global e PAR-difusa, faixa espectral de comprimentos de onda de 0,4 a 0,7 μm , faz com que as plantas absorvam mais energia solar e a convertam em matéria orgânica através do processo de fotossíntese. As radiações difusa e PAR-difusa por atingirem área foliar mais homogêneas são mais eficientes no processo de fotossíntese (Huawei *et al*, 2010).

Em ambientes protegidos vários autores já fizeram estudos sobre a relação do balanço de radiação com as culturas agrícolas (Souza *et al*, 1997; Frisina *et al*, 1999; Galvani *et al*, 2001, Cunha *et al*, 2002, Pereira *et al*, 2007). Nestes estudos os valores do saldo de radiação ou de suas componentes foram estimados por métodos como Bowen(1926) e Brunt(1932) a partir de outros elementos meteorológicos (como temperatura, radiação global, fluxo de calor no solo, pressão de vapor d'água). Não há medição direta das quatro componentes do balanço de radiação (Global, refletida, onda longa atmosférica e onda longa terrestre) com o uso destes métodos.

Considerando que o conhecimento do saldo de radiação é importante para qualquer cultura agrícola por fornecer a energia para o processo de evapotranspiração e afetando diretamente a demanda hídrica, este trabalho tem por objetivo apresentar resultados da medição realizadas durante um ano dentro de uma estufa de polietileno sem cultura. A partir dos resultados efetuar uma análise climática média mensal para a análise da sazonalidade, não só das radiações como dos balanços de ondas curtas, ondas longas e do saldo de radiação total.

2. BALANÇO DE RADIAÇÃO NA ESTUFA DE POLIETILENO

2.1. Balanço de ondas curtas.

O espectro de radiação que incide sobre a superfície terrestre é predominantemente constituído de ondas curtas, ou seja, comprimentos de ondas entre 300 e 2800 nm. Esta faixa do espectro é a responsável pelo fornecimento de energia para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Para o estudo do balanço de energia no espectro de ondas curtas é necessário o entendimento das interações sofridas por essa radiação. Antes de atingir a superfície terrestre sofre atenuação, causada por absorção, difusão e reflexão de constituintes atmosféricos. Do total da energia incidente no topo da atmosfera (G_o), apenas uma parte atinge a superfície ($G\downarrow$). A radiação global $G\downarrow$ ao atingir a superfície sofrerá

uma reflexão ($R\uparrow$). Essa reflexão $R\uparrow$ será subtraída do total $G\downarrow$ para a elaboração do saldo de ondas curtas, conforme a equação:

$$SR_{oc} = G\downarrow - R\uparrow \quad (1)$$

A magnitude dessa perda por reflexão $R\uparrow$ dependerá de propriedades da superfície, como rugosidade e cor. Essa característica da superfície de refletir é conhecida como poder de reflexão ou Albedo (α), definido por:

$$\alpha = \frac{R\uparrow}{G\downarrow} \quad (2)$$

Valores do coeficiente de reflexão (α) já foram muito estudados sobre inúmeros tipos de superfícies vegetadas (Pinker *et al*, 1980; Assis *et al*, 1997; Souza *et al*, 2010). Com o conhecimento do albedo e da radiação global medida na superfície é possível se estimar a radiação refletida $R\uparrow$ pela equação:

$$R\uparrow = G\downarrow * \alpha \quad (3)$$

e conseqüentemente, o balanço de ondas curtas:

$$SR_{oc} = G\downarrow - (G\downarrow * \alpha) \quad (4)$$

Ou

$$SR_{oc} = G\downarrow * (1 - \alpha) \quad (5)$$

2.2. Balanço de ondas longas

O balanço de ondas curtas não representa o total de energia radiante sobre a superfície terrestre. As radiações $G\downarrow$ e $R\uparrow$ interagem com a atmosfera e com a superfície, que ao adquirirem essa energia (na forma de calor) e passam a emití-la. Essa energia da superfície e atmosfera é emitida na faixa do espectro de ondas longas (3 a 45 μm). Essa energia, também conhecida como radiação termal é disponível para processos biológicos, processos térmicos do metabolismo vegetal, principalmente ao fornecimento de energia para o processo de evapotranspiração. (Pereira *et al*, 2007, Rana & Katerji, 2000).

A superfície e a atmosfera emitem energia em forma de ondas longas seguindo a equação de Stefan-Boltzman, onde essa emissão depende principalmente se sua própria capacidade de emitir energia e de sua temperatura elevada à quarta potência:

$$E = \varepsilon * \sigma * T^4 \quad (6)$$

onde E é a energia emitida por um corpo com temperatura acima de 0 K; ε é a emitância do corpo, σ é a constante de Stefan-Boltzman e T é a temperatura do corpo.

O balanço de radiação de ondas longas é constituído por duas componentes: a radiação de ondas longas oriundas do aquecimento da atmosfera, chamada radiação de onda longa atmosférica LW_{atm} ; e a radiação solar de onda longa terrestre LW_{terr} , oriunda do aquecimento da superfície (solo ou

solo+cultura). Convencionou-se o uso de sinais na explicação do direcionamento do fluxo dessas radiações: a radiação de ondas longas atmosféricas LW_{atm} leva o sinal positivo pois na superfície sua presença é predominantemente no sentido para baixo (ganho de energia da superfície). A radiação solar de ondas longas terrestres LW_{terr} leva o sinal negativo por seu sentido ser preferencialmente para cima (perda de energia). Logo, a equação que explica o saldo de radiação de ondas longas:

$$SR_{OL} = \downarrow^{in} LW_{atm} + \uparrow^{in} LW_{terr} \quad (7)$$

onde SR_{OL} é o saldo de radiação de ondas longas, $\downarrow^{in} LW_{atm}$ é a radiação de ondas longas atmosféricas e $\uparrow^{in} LW_{terr}$ é a radiação de ondas longas terrestres.

2.3. Saldo de radiação.

O balanço de radiação é a contabilização dos ganhos e perdas no fluxo de radiação que incide sobre uma superfície terrestre. Também conhecido como saldo de radiação, é constituído por todo o espectro solar: ondas curtas e ondas longas.

O saldo de toda a energia incidente na faixa do espectro de ondas curtas adicionado ao saldo da energia incidente na faixa do espectro de ondas longas constitui o saldo de radiação, com a equação:

$$SR_{TOTAL} = SR_{OC} + SR_{OL} \quad (8)$$

onde SR é o saldo de radiação ou balanço de radiação; SR_{OC} é o balanço de ondas curtas e SR_{OL} é o balanço de ondas longas. Fazendo-se a substituição do SR_{OC} e do SR_{OL} com suas próprias equações apresentam-se as quatro componentes do saldo total de radiação:

$$SR_{TOTAL} = G \downarrow - R \uparrow + \downarrow^{in} LW_{atm} + \uparrow^{in} LW_{terr} \quad (9)$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP, Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu – Campus Lageado, da UNESP no período de 01/03/2008 a 28/03/2009.

A figura 1a mostra uma fotografia da estufa utilizada no trabalho. Área de 168m², tipo túnel alto, com cobertura de polietileno (100µm). Suas dimensões: 24m de comprimento, 7m de largura, 2m de pé direito e 1,7 m de altura da concavidade.

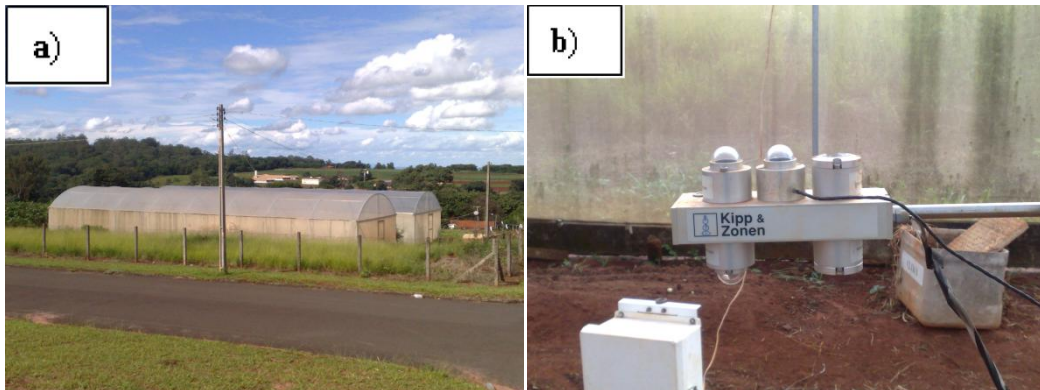


Fig 1: a) Estufa vista de fora; b) Saldoradiômetro CNRI Net Radiometer.

O clima de Botucatu (latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m) é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco (Cunha *et al.*, 1999). 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.

A figura 2 a, b, c e, d, mostra as series climáticas do período de 30 anos da temperatura, umidade relativa, nebulosidade e precipitação, do período de 1970 a 2000 em Botucatu. A evolução anual da temperatura e umidade relativa média mensal seguem a variação astronômica da declinação sol, e a geográfica. A temperatura é mais elevada quando o sol declina mais próximo da latitude local, onde os valores da radiação são maiores, e menores valores quando declina no hemisfério norte mais distante da latitude local. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2C⁰ e 17,1C⁰, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e

o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente.

A nebulosidade (figura 2b), calculada pela expressão $f = 1 - n/N$, expressa a fração do número de horas em que o sol fica encoberto por nuvens no dia, onde n/N é a razão de insolação, n é o número de horas de brilho solar e N é o fotoperíodo. A evolução anual da nebulosidade, na grande maioria dos meses, segue as series 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 arrastam 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.

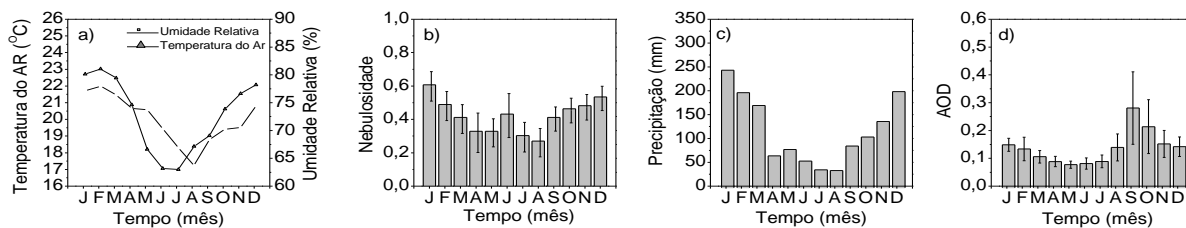


Fig. 2: a,b,c,d. Series Climáticas da temperatura(a), Umidade(a), Nebulosidade(b), Precipitação(c) do período de 1970 a 2000 em Botucatu; d) Serie de 10 anos do período de 1998 a 2007 da concentração de aerossóis em Botucatu.

A evolução anual da precipitação segue a evolução da nebulosidade (Figura 2c). É constituída de dois períodos distintos: chuvoso e seco, onde o limite entre os períodos é o valor da precipitação de 100mm, aproximadamente. No período chuvoso, de outubro a março (estações primavera e verão) a precipitação é de natureza convectiva, originada do processo de convecção livre. No período seco, de abril a setembro (estações outono e inverno), a precipitação é do tipo frontal, originada do encontro das massas frias e secas vindas da região sul com as massas quentes e úmidas, da região sudeste. A maior precipitação 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.

A evolução anual das médias mensais diárias da AOD (profundidade ótica de aerossóis) obtidas pelo satélite TERRA do período de 1998 a 2007 (figura 2d), mostra que a partir do início das queimadas da cana de açúcar em julho, a concentração de aerossóis mensal aumenta consideravelmente passando por um valor máximo de $AOD=0,35$ em setembro, o que é equivalente à concentração PM_{10} de $70,0 \text{ ug.m}^{-3}$ (Codato, 2008). Nos meses de outubro a dezembro, com a entrada do período chuvoso, a concentração de aerossóis decresce gradativamente, aos valores da ordem de $AOD=0,16$ ou $20,0 \text{ ug.m}^{-3}$. Nos meses do ano seguinte, de janeiro até junho, a concentração de aerossóis continua a decrescer até atingir, no mês de maio, o menor nível de concentração PM_{10} , antes de iniciar o novo ciclo.

Para a medida do saldo de radiação foi utilizado um saldo-radiômetro modelo CNR1 da Campbell Scientific. Este aparelho (figura 1b) tem a capacidade de medir as quatro componentes ao mesmo tempo: tem dois sensores capazes de medir a radiação no espectro de ondas curtas, um medindo a radiação global (voltado para cima) e outro medindo a radiação refletida (voltado para baixo); e dois sensores sensíveis no espectro de ondas longas, um medindo a radiação de onda longa atmosférica (voltado para cima) e outro medindo a radiação de onda longa terrestre (voltado para baixo). Na Figura 1b o saldo radiômetro está em período de calibração, tendo sua medida comparada a outro piranômetro referencial. A calibração foi aferida antes e no final do experimento. Durante o experimento o equipamento foi instalado na região central da estufa para evitar possíveis

interferências espaciais e multireflexões. Para o acompanhamento dos elementos meteorológicos temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado um sensor tipo HMP45C da marca Vaisala. Na aquisição dos dados foi utilizado um datalogger da marca Campbell CR21X, operando na frequência de 0,2 Hz e armazenando médias de 5 minutos ou 300 segundos.

A radiação global externa G^{ex} é medida rotineiramente na estação de radiometria solar da Faculdade de Ciências Agrárias-FCA-UNESP-Botucatu-SP, por um piranômetro Eppley PSP. Seus valores foram disponibilizados para este trabalho durante o período do experimento. Tanto as medições dentro da estufa de polietileno quanto as medidas externas usaram a mesma frequência de aquisição de dados.

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, em W/m^2 , foram integrados na partição diária, tendo como unidade o MJ/m^2 dia. Sendo assim, todos os valores de radiação representam valores diários de energia incidente sobre a superfície (Chaves & Escobedo, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Evolução anual das radiações global externa e índice de claridade kt

As figuras 3a e 3b mostram a evolução anual das radiações extraterrestre (I_0), global externa à estufa de polietileno G^{ex} e o índice de claridade (transmissividade) Kt médias mensais diárias em Botucatu, no período entre março de 2008 a fevereiro de 2009. O A índice de claridade da atmosfera Kt foi calculado pela relação entre as radiações I_0 e G^{ex} ($K_t = I_0 / G^{ex}$), o qual define a transmissividade atmosférica da radiação global, durante o período experimental.

Por meio da figura 3a, fica evidente que as radiações I_0 e G^{ex} apresentam variações sazonais ao longo do ano: os valores médios mensais das radiações são mais elevados no período chuvoso, verão e primavera, e menos elevados, no outono e inverno, no período da seca. A sazonalidade é devido à variação astronômica do sol (declinação do sol), latitude (local), e principalmente, devido às variações climáticas das nuvens e vapor d'água, características de cada mês, ou estação do ano. No verão e primavera, a energia da radiação é mais elevada, porque o sol declina no hemisfério sul mais próximo da latitude local ($-23, 51^0$) em relação ao período em que declina no hemisfério norte, durante o outono e inverno.

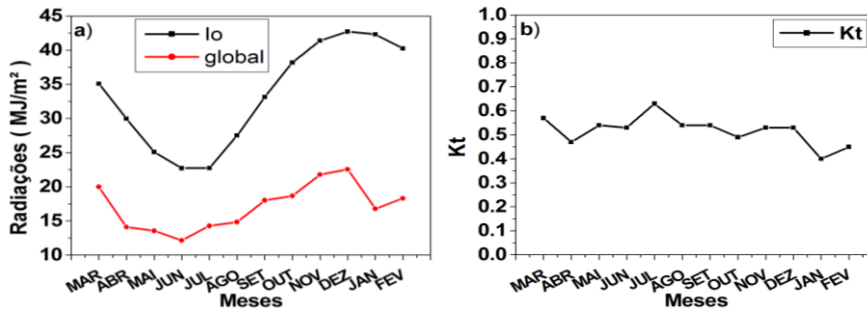


Fig. 3: a) Evolução média mensal das radiações no topo da atmosfera I_0 e global externa G^{ex} , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.; b) Evolução média mensal do índice de claridade K_t no mesmo período.

As variações climáticas influenciam nos valores de G^{ex} por meio das variações do vapor d'água, nuvens e aerossóis na atmosfera, característicos de cada mês do ano. Os parâmetros meteorológicos responsáveis, na atenuação da radiação global, por absorção e espalhamento na atmosfera, mais acentuadamente foram: vapor de água e nuvens, os quais são mais elevados no período úmido no verão e primavera. Os aerossóis atenuam a radiação global no período da seca, nas estações do inverno e outono, com menos intensidade que as nuvens e vapor de água, no verão e primavera.

A radiação global média mensal variou de 12,15 MJ/m² em junho a 22,55 MJ/m² em dezembro, com um valor médio total de 17,21 MJ/m². O resultado da evolução anual da radiação global expressa a dependência astronômica, geográfica e principalmente, com as variações climáticas típicas de cada mês do ano. A evolução anual da radiação global G^{ex} acompanhou sazonalmente as variações da radiação do topo I_0 da atmosfera de março a dezembro. A exceção ocorreu nos meses de janeiro a fevereiro, onde o efeito da nebulosidade e precipitação, ou nuvens e vapor de água, foram muito intensos e reduziram desproporcionalmente, a radiação global G^{ex} na superfície terrestre, nos dois meses.

A radiação global obtida quando comparada com o valor da serie de 10 anos da radiação global (Inácio, 2009), foi próxima do valor esperado, porem em alguns meses houve uma diminuição nos valores médios, devido a eventos climáticos atípicos, como a forte precipitação em janeiro e fevereiro de 2009, e a entrada de frente fria que aumentaram a nebulosidade, em abril de 2008. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2009 os valores obtidos de 16,8 MJ/m² e 18,3 MJ/m² foram abaixo do normal, quando comparados com os valores da serie de 10 anos da radiação global que é de 19,0 MJ/m² e 19,6 MJ/m², respectivamente. Houve uma redução dos níveis de energias da radiação global de 11,6% no mês de janeiro, e 6,6% em fevereiro, em relação a média climática de 10 anos. Os baixos valores do índice de claridade K_t , 39,3% e 45,5%, nestes dois meses foram os menores do ano, e muito abaixo do valor esperado 45,0% e 49,0%, respectivamente. Em abril, que é caracteristicamente um mês com cobertura de céu aberto com valor de $17,7 \pm 1,50$ MJ/m² para a radiação global media mensal e transmissão atmosférica de $K_t= 59,0\%$, o valor de energia obtido igual a $14,11 \pm 4,83$ MJ/m² e transmissão atmosférica de $K_t= 47,0\%$, foi também abaixo do esperado.

A figura 3b mostra a evolução anual do índice de claridade K_t para cada mês. O valor médio mensal de K_t apresenta variações sazonais decorrentes da sazonalidade da medida

da radiação global na superfície terrestre. No geral, os valores de K_t são menores nos meses do verão e primavera, em função da forte absorção e espalhamento da radiação global por nuvens e vapor de água na atmosfera, e mais elevados nos meses outono e inverno, período seco e sem nuvens. O menor K_t ocorreu em janeiro com 39,6% e o maior K_t em julho com 62,7%. O valor médio de K_t anual foi de 50,0%. Esse valor permitiu classificar a cobertura de céu durante o período experimental, como sendo de parcialmente nublado com dominância para céu difuso.

4.2. Transmissividade média mensal da radiação global (τ_g), na estufa de polietileno

As radiações direta e difusa do espectro total (0,285 a 4,0µm) ao interagirem com a cobertura de polietileno tipo túnel são transmitidas para dentro da estufa, como mostra o esquema na figura 4 (Farkas et al 2001).

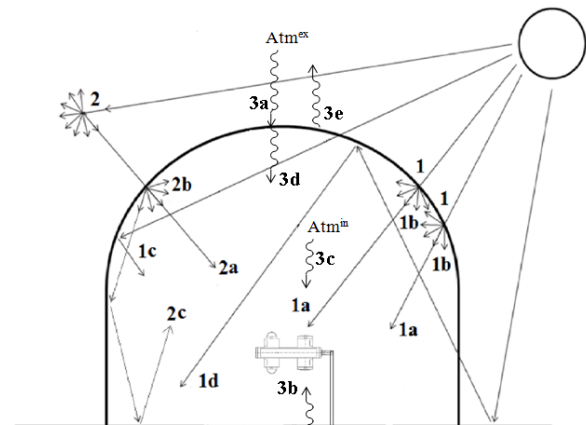


Fig. 4. Esquema da interação das radiações direta e difusa na estufa de polietileno.

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. A radiação difusa contribui na medida da radiação 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 da radiação refletida

solar somente a componente 1b- direta espalhada; 1c- refletida; 1d- multirefletidas das superfícies horizontal interna e externa, e então espalhada ou refletida novamente na cobertura. Contribuem nas medidas das radiações de ondas longas (3) atmosféricas e terrestre: 3a- radiação atmosférica externa; 3b- radiação terrestre interna; 3c- radiação atmosférica interna; 3d- radiação atmosférica interna emitida pela cobertura de polietileno; 3e- emissão da radiação de ondas longas pela cobertura para o lado de fora da estufa. As radiações emitidas pela atmosfera e a radiação emitida pela superfície terrestre, ambas dentro da estufa, influenciam as temperaturas interna do ar e do solo.

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 (Sousa *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 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 (τ_G) diária foi calculada por meio da relação entre as radiações global interna e a global externa, pela equação $\tau_G = H_g^{in} / H_g^{ex}$. A evolução anual da transmissividade da radiação global média mensal também apresentou variações sazonais, com valores entre 79,4% em março a 71,2% em Julho, com valor médio total de 75,6%. Normalmente, a redução da radiação global neste tipo de polietileno (100um) é da ordem entre 20,0% a 30,0% dependendo do tempo de uso, qualidade e até da sujeira acumulada no polietileno. Esse resultado foi considerado normal quando comparado com os obtidos por outros pesquisadores: Sentelhas *et al.*, 1997; Souza *et al.*, 2004, Buriol *et al.*, 1995, Beckmann *et al.*, 2006; Pollet & Pieters, 1999; Steidle Neto *et al.*, 2008, que encontraram transmitâncias ao redor de 70 a 90 %.

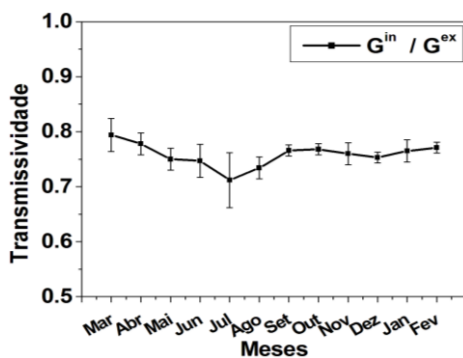


Fig. 5) Transmissividade da estufa da radiação global média mensal entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

No geral, para a radiação global, os valores da transmissividade foram mais elevados nos meses do verão e primavera, comparados aos valores mensais do outono e inverno. A diferença na transmissividade sazonal é provavelmente devido à variação do ângulo de incidência da radiação na cobertura de polietileno, em função da

declinação solar. Quando a declinação solar é negativa (sol declinando no hemisfério sul) nas estações de verão e primavera, têm-se os menores ângulos de incidências (menores reflexões) e maiores transmissões no polietileno, caso dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. E quando a declinação é positiva (sol declinando no hemisfério norte) nas estações inverno e outono, têm-se os maiores ângulos de incidências (maiores reflexões) e menores transmissões no polietileno, casos dos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

4.3. Evolução anual das radiações de ondas curtas: global interna e refletida.

A figura 6 mostra a evolução anual das radiações global interna G_{\downarrow}^{in} e a refletida R_{\uparrow}^{in} médias mensais diárias dentro da estufa de polietileno em Botucatu, no período entre março de 2008 a fevereiro de 2009. É evidente que as radiações G_{\downarrow}^{in} e R_{\uparrow}^{in} segue as variações sazonais de G_{\downarrow}^{ex} ao longo do ano: em geral os valores médios mensais das radiações G_{\downarrow}^{in} e R_{\uparrow}^{in} são mais elevados no período chuvoso, verão e primavera, e menos elevados, no outono e inverno, no período da seca. A sazonalidade é devido à variação astronômica do sol (declinação do sol), latitude (local), e principalmente, devido às variações climáticas das nuvens e vapor d'água, características de cada mês, ou estação do ano. No verão e primavera, a energia da radiação é mais elevada, porque o sol declina no hemisfério sul mais próximo da latitude local ($-23,51^{\circ}$) que quando declina no hemisfério norte, durante o outono e inverno.

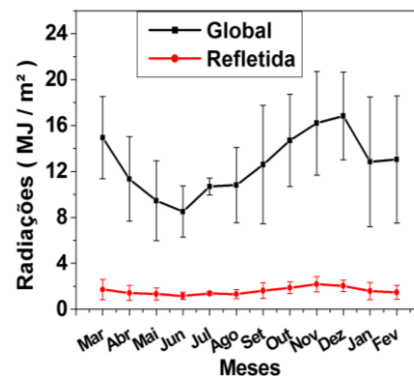


Fig. 6. Evoluções anuais das radiações global G_{\downarrow}^{in} e refletida R_{\uparrow}^{in} dentro de estufa no período de 01/03/2008 a 28/03/2009

O valor de G_{\downarrow}^{in} variou de 8,5 MJ/m² no mês de junho a 16,8 MJ/m² no mês de dezembro enquanto que, a o valor de R_{\uparrow}^{in} variou de 1,2 MJ/m² no mês de junho a 2,18 MJ/m² no mês de novembro. O valor médio anual de G_{\downarrow}^{in} foi igual a 12,7 MJ/m², enquanto que o valor médio anual de R_{\uparrow}^{in} de 1,67 MJ/m².

A figura 6 mostra a evolução anual das radiações global interna G_{\downarrow}^{in} e a refletida R_{\uparrow}^{in} médias mensais diárias em Botucatu, no período entre março de 2008 a fevereiro de 2009, enquanto a figura 7a mostra os valores médios anual do albedo (α) e a figura 7b mostra os valores médios anual do Balanço de Ondas Curtas (SR_{OC}). Os valores do albedo diário foi calculados por meio da relação $\alpha = R_{\uparrow}^{in} / G_{\downarrow}^{in}$ enquanto que os valores do $SR_{OC} = G_{\downarrow}^{in} - R_{\uparrow}^{in}$. A evolução anual na figura 7a mostra que as variações do Albedo médio mensal são sazonais e dependem das variações climáticas: os valores de (α) são menores no período úmido, meses de

outubro a março, nos quais a nebulosidade e a concentração do vapor de água são mais elevadas no ano. Ao contrario são menores no período seco, meses de abril a setembro, nos quais a nebulosidade e concentração do vapor de água são menores no ano. No período seco a frequência de dias de céu claro e concentração de aerossóis na atmosfera são maiores no ano. A presença de material particulado na cobertura de polietileno, bem como no ar dentro da estufa de polietileno é um fator de espalhamento das radiações, diminuindo a radiação refletida direcionadas anisotropicamente. No período úmido os valores do Albedo variaram de 11,3% em fevereiro a 13,4% em novembro, e no período seco de 12,5% em Agosto a 13,7% em julho. Nos meses de abril, maio e julho em que a concentração de aerossóis é menor da seca, aos valores do albedo, foram superiores aos valores do Albedo nos meses de agosto e setembro, com maior concentração de aerossóis. No total o valor do Albedo médio anual foi de 12,6%.

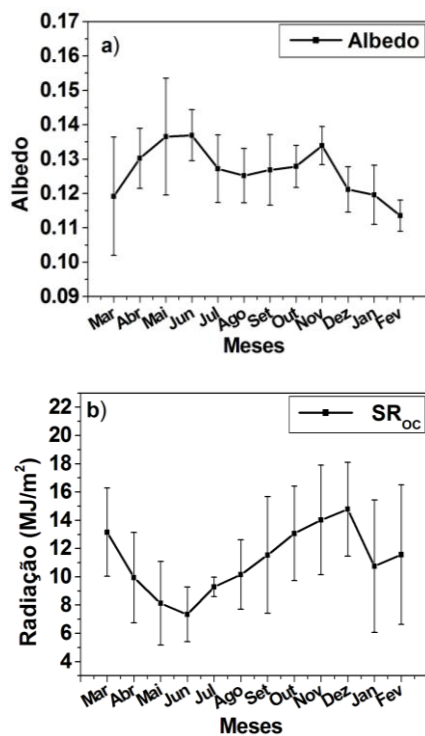


Fig.7: a) Evolução anual do albedo; b) Evolução anual do saldo de radiação de ondas curtas no período de 01/03/2008 a 28/03/2009.

Similarmente, a evolução anual na figura 7b mostra que as variações do SR_{OC} médio mensal são sazonais e dependem das variações climáticas: os valores do SR_{OC} são maiores no período úmido, meses de outubro a março, nos quais a nebulosidade e a concentração do vapor de água são mais elevadas no ano. Por outro lado, são menores no período seco, meses de abril a setembro, nos quais a nebulosidade e concentração do vapor de água são menores no ano. No período seco os valores do SR_{OC} variaram de 7,3 MJ/m² em junho a 11,5 MJ/m² em setembro, e no período úmido de 14,8 MJ/m² em dezembro a 10,7 MJ/m² em janeiro. No total o valor do SR_{OC} médio anual foi de 11,2 MJ/m².

4.4. Evolução anual das radiações de ondas longas: atmosférica e terrestre

A figura 9a mostra a evolução anual das radiações de ondas longas: atmosférica (LW_{atm}) e terrestre (LW_{terr}) médias

mensais diárias dentro da estufa de polietileno em Botucatu, no período entre março de 2008 a fevereiro de 2009. Os valores em MJ/m² no eixo vertical positivo de LW_{atm} expressam que há entrada de fluxo de energia na superfície terrestre originadas da atmosfera, enquanto que os valores negativos de LW_{terr} há saída do fluxo de energia da superfície terrestre para a atmosfera.

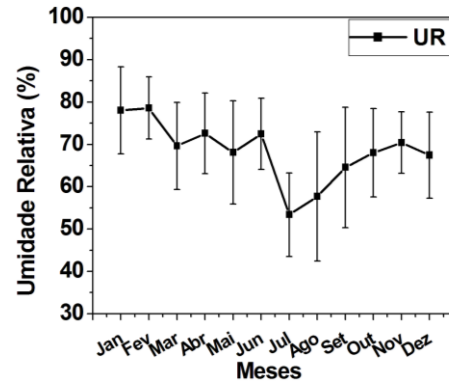


Fig. 8: Umidade relativa entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

Os valores das radiações LW_{atm} emitida pela atmosfera e LW_{terr} emitida pela superfície terrestre, médias mensais são maiores positivamente e negativamente, respectivamente no período chuvoso, verão e primavera, e menores no outono e inverno, no período da seca. A sazonalidade é devido às variações climáticas da temperatura, nebulosidade e vapor d'água, características de cada mês, ou estação do ano. No verão e primavera, a temperatura ambiente, as concentrações de nuvens e vapor de água são maiores no ano, enquanto que no outono e inverno, as temperaturas, concentrações de nuvens e vapor de água na atmosfera são menores do ano.

A evolução anual de LW_{atm} apresentada na figura 8a acompanhou as evoluções anuais da temperatura, umidade e nebulosidade mostrada na figura 2. O valor de $LW_{atm} = 40,6$ MJ/m² decresceu de março, no qual a temperatura e umidade são elevadas, até agosto no qual a temperatura e umidade são menores no ano atingindo o menor valor de $LW_{atm} = 21,9$ MJ/m².

Posteriormente, a radiação atmosférica cresceu até atingir o maior valor de $LW_{atm} = 41,1$ MJ/m² em fevereiro, mês mais quente e mais úmido do ano. O valor de LW_{atm} médio anual foi 36,3 MJ/m².

Por outro lado, a evolução anual de LW_{terr} apresentada na figura 9a acompanhou as evoluções anuais da temperatura e umidade, porem de forma inversa a evolução de LW_{atm} . O valor de $LW_{terr} = -42,7$ MJ/m² cresceu de março, no qual a temperatura e umidade são elevadas, até agosto no qual a temperatura e umidade são menores no ano atingindo o menor valor de $LW_{terr} = -32,8$ MJ/m². Posteriormente, a radiação terrestre decresceu até atingir o maior valor de $LW_{terr} = -44,7$ MJ/m² em fevereiro, mês mais quente e úmido do ano. O valor de LW_{terr} médio anual foi $LW_{terr} = -40,8$ MJ/m².

A evolução anual do balanço de radiação de ondas longas obtido por meio da equação $SR_{OL} = LW_{atm} - LW_{terr}$ (figura 9b) mostra que o fluxo de energia resultante é negativo em todos os meses dentro da estufa de polietileno, e portanto há de perda de energia no sentido da superfície terrestre para a

atmosfera. O valor do SR_{OL} variou de $-2,8 \text{ MJ/m}^2$ em junho a $-4,6 \text{ MJ/m}^2$ em dezembro. O valor de LW_{terr} médio anual foi $-40,8 \text{ MJ/m}^2$. O valor do $SR_{OL} = LW_{atm} - LW_{terr}$ médio anual foi $-3,7 \text{ MJ/m}^2$.

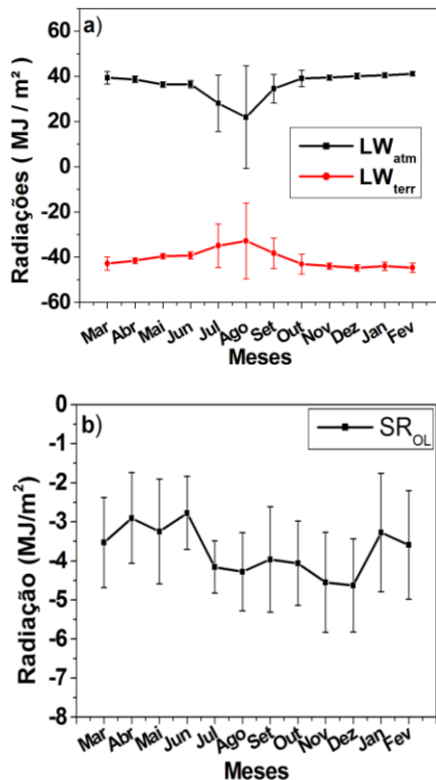


Fig. 9. a) Evoluções anuais da onda longa atmosférica e terrestre b) Evolução anual do Balanço de Ondas Longas dentro de estufa, no período de 01/03/2008 a 28/03/2009

4.5. Evolução anual do saldo de radiação.

A figura 10a mostra a evolução anual dos balanços de Radiações de Ondas Curtas (SR_{OC}) e de Radiações de Ondas Longas (SR_{OL}) médias mensais diárias dentro da estufa de polietileno em Botucatu, no período entre março de 2008 a fevereiro de 2009. Como mencionado anteriormente, o SR_{OC} com valores positivos expressa entrada de energia da atmosfera em todos os meses no ano para dentro da estufa de polietileno, enquanto que o SR_{OL} com valores negativos expressa a saída de energia da superfície terrestre de dentro da estufa em todos os meses no ano. O Saldo de Radiação (SR) mostrado na Figura 10b foi calculado pela soma entre os dois balanços de radiação: $SR = \text{Ondas Curtas} + \text{Ondas Longas} = SR_{OC} + SR_{OL}$.

Os valores positivos de SR em todos os meses do ano expressa entrada de energia na estufa de polietileno. A evolução anual de SR segue as tendências sazonais do SR_{OC} e depende das variações climáticas: os valores de SR são maiores nos meses de outubro a março do período úmido, nos quais as concentrações de nuvens e de vapor de água são maiores ano.

Ao contrário SR são menores no período seco, meses de abril a setembro, nos quais a nebulosidade e concentração do vapor de água são menores no ano. No período úmido os valores de SR variaram de $10,2 \text{ MJ/m}^2$ em dezembro a $9,6 \text{ MJ/m}^2$ em março, enquanto que no período seco os

valores de SR variaram de $4,6 \text{ MJ/m}^2$ em junho a $7,6 \text{ MJ/m}^2$ em agosto. No total o valor do SR médio anual foi de $7,4 \text{ MJ/m}^2$.

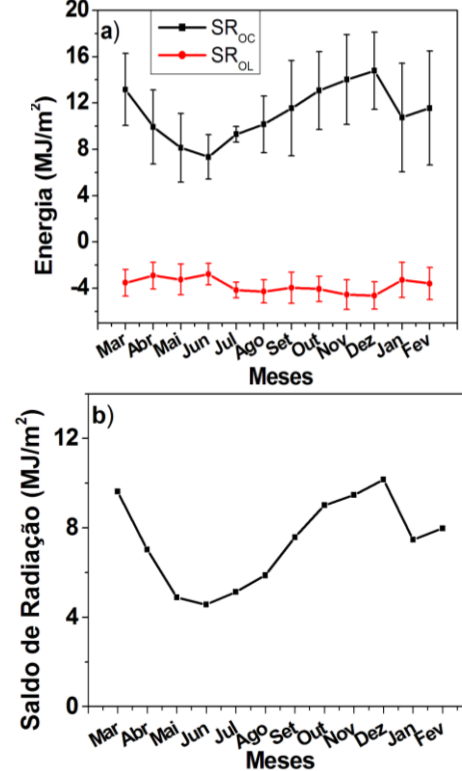


Fig.10. a) evoluções anuais do Saldo de Radiação de Ondas Curtas e do Saldo de Radiação de Ondas Longas; b) Evolução anual do Saldo de Radiação dentro de estufa no período de 01/03/2008 a 28/03/2009.

5. CONCLUSÕES

Dos resultados discutidos neste trabalho, concluímos que no período experimental de 01/03/2008 a 28/03/2009 em Botucatu, os valores da radiação global média mensal G_{\downarrow}^{ex} mostrou variação entre $12,15 \text{ MJ/m}^2$ em junho a $22,55 \text{ MJ/m}^2$ em dezembro, com um valor médio anual de $17,21 \text{ MJ/m}^2$. A sazonalidade foi devido à variação astronômica da declinação solar latitude, e principalmente, as variações climáticas. Como consequência, a radiação global interna G_{\downarrow}^{in} dentro da estufa de polietileno passou pelos mesmos efeitos climáticos, com redução aproximada de 25,0% nos valores e acompanharam as variações da radiação G_{\downarrow}^{ex} .

A transmissividade da radiação global média mensal na cobertura de polietileno apresentou variações sazonais, com valores entre 79,4% em março a 71,2% em Julho, com valor médio total de 75,6%. Os valores foram poucos mais elevados nos meses do verão e primavera, comparados aos valores mensais do outono e inverno.

A evolução anual das radiações G_{\downarrow}^{in} e R_{\uparrow}^{in} segue as variações sazonais de G_{\downarrow}^{ex} ao longo do ano: em geral os valores médios mensais das radiações G_{\downarrow}^{in} e R_{\uparrow}^{in} são mais elevados no período chuvoso, verão e primavera, e menos elevados, no outono e inverno, no período da seca. Os valores de G_{\downarrow}^{in} variaram de $8,5 \text{ MJ/m}^2$ (junho) a $16,8 \text{ MJ/m}^2$ (dezembro) enquanto que, os valores de R_{\uparrow}^{in} de $1,2 \text{ MJ/m}^2$ (junho) a $2,18 \text{ MJ/m}^2$ (novembro). O valor

médio anual de G_{\downarrow}^{in} foi igual a $12,7\text{MJ/m}^2$, enquanto que o valor médio anual de R_{\uparrow}^{in} de $1,67\text{MJ/m}^2$. Conseqüentemente, o valor do Albedo médio anual foi de 12,6% e o valor do SR_{OC} médio anual foi de $11,2\text{MJ/m}^2$.

A evolução anual das radiações de ondas longas LW_{atm} emitida pela superfície pela atmosfera e LW_{terr} emitida pela superfície terrestre, médias mensais são maiores positivamente e negativamente, respectivamente no período chuvoso, verão e primavera, e menores no outono e inverno, no período da seca. A sazonalidade é devido às variações da temperatura, nebulosidade e vapor d'água, características de cada mês, ou estação do ano. No verão e primavera, a temperatura ambiente, as concentrações de nuvens e vapor de água são maiores no ano, enquanto que no outono e inverno, as temperaturas, concentrações de nuvens e vapor de água na atmosfera são menores do ano. O valor de LW_{atm} médio anual foi $36,3\text{MJ/m}^2$, enquanto que o valor de LW_{terr} médio anual foi $-40,8\text{MJ/m}^2$. O valor do SR_{OL} médio anual foi $-3,7\text{MJ/m}^2$.

A evolução anual do Saldo de radiação SR segue a evolução do SR_{OC} e depende das variações climáticas: os valores de SR são maiores nos meses de outubro a março do período úmido, nos quais as concentrações de nuvens e de vapor de água são maiores ano. Ao contrário, valores de SR são menores no período seco, meses de abril a setembro, nos quais a nebulosidade e concentração do vapor de água são menores no ano. No período úmido os valores de SR variaram de $10,2\text{MJ/m}^2$ em dezembro a $9,6\text{MJ/m}^2$ em março, enquanto que no período seco os valores de SR variaram de $4,6\text{MJ/m}^2$ em junho a $7,6\text{MJ/m}^2$ em agosto. No total o valor do SR médio anual foi de $7,4\text{MJ/m}^2$.

REFERÊNCIAS

- Assis, S.V.; Escobedo, J.F. (1997). Influência do ângulo de elevação solar no albedo da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) medido em estufa de polietileno tipo túnel e externamente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, p.476-478.
- Beckmann, M. Z. *et al.* (2006). Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Cienc. Rural*, **36**, 1, 86-92.
- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, **27**, 779-787.
- Brunt, D. Notes on radiation in the atmosphere. (1932). *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **58**, 389-418.
- Buriol, G. A.; Streck, N. A.; Petry, C.; Schneider, F. M. (1995). Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Cienc. Rural*, **25**, 1, 1-4.
- Carvalho, L. A. De; Tessarioli Neto, J. (2005). Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. *Hortic. Bras.*, **23**, 4, 986-989.
- Chaves, M. A.; Escobedo, J. F. (2000). A software to process daily solar radiation data. *Renewable Energy*, **19**, n.1-2, 339-344.
- Codato, G. Oliveira A. P. Soares J. Escobedo, J. F. Gomes, E. N. Pai, A. D. (2008). Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, **93**, 57-73.
- Costa, E.; Leal, P. A. M.; Santos, L. C. R. Dos; Vieira, L. C. R. (2010). Ambientes de cultivo, recipientes e substratos na produção de biomassa foliar e radicular em mudas de maracujazeiro amarelo em Aquidauana - MS. *Cienc. agrotec.*, **34**, 2, 461-467.
- Cunha, A. R.; Klosowski, E. S.; Galvani, E.; Escobedo, J. F. Martins, D. (1999). Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: I SIMPÓSIO DE ENERGIA NA AGRICULTURA, 1999, Botucatu. Anais. Botucatu, SP: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, **2**, 487-491.
- Cunha, A. R. Da; Escobedo, J. F.; Klosowski, E. S.. (2002). Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. *Pesq. agropec. bras.*, **37**, 6, 735-743.
- Cunha, A. R. Da; Escobedo, J. F. (2003). Alterações micrometeorológicas causadas pelo uso de estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **11**, 1, 15-26.
- Escobedo, J. F.; Melo, J. M. D.; Frisina, V. A.. (1994). Radiações Solar Global e Fração da Global Refletida em Estufa Tipo Túnel em Cobertura de Polietileno. In: VII CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, 1994, Vigo, Espanha. *Anais do VII Congresso Ibérico de Energia Solar. Energias Limpas em Progresso*, **1**, 53-58.
- Escobedo, J. F.; Rodrigues, D.; Oliveira, A. P.; Soares, J. (2011). Efeito da cobertura do céu no aumento das frações solar difusa e par-difusa em estufa de polietileno. In: VI CONGRESSO IBÉRICO DE AGRO-ENGENHARIA, 2011, Évora. *Anais do VI Congresso Ibérico de Agro-Engenharia*, **1**.
- Farias, J. R. B.; Bergamaschi, H.; Martins, S. R.; Berlatto, M. A. (1993). Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **1**, 31-36.
- Frisina, V. De A.; Escobedo, J. F. (1999). Radiation and energy balance of lettuce culture inside a polyethylene greenhouse. *Pesq. agropec. bras.*, **34**, 10, 1775-1786.
- Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Cunha, A. R. Da; Klosowski, E. S. (2000). Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido - cultivos de inverno e de verão. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, **4**, 1, 8-13.
- Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Pereira, A. B. (2001). Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia*, **60**, 2, 139-147.
- Heldwein, A. B. *et al.* (2010). Plastocrono e rendimento de feijão-de-vagem cultivado sob ambiente protegido e no ambiente externo em semeadura tardia no outono. *Cienc. Rural*, **40**, 4, 768-773.
- Holcman, E.; Sentelhas, P. C. (2012). Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, **16**, 8, 858-863.
- Huawei L., Dong Jiang, B. W., Tingbo Dai, W. C. (2010). Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, **33**, 4, 267-275.
- Inácio, T. (2009). Potencial Solar da radiações Global, Difusa e Direta em Botucatu. 390p. Dissertação (Mestrado/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, Brasil.
- Khoshnevisan, B.; Rafiee, S.; Mousazadeh, H. (2013). Environmental impact assessment of open field and

- greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, **50**, 29-37.
- Pereira, A. R.; Green, S.; Villa Nova, N. A. (2007). Relationships between single tree canopy and grass net radiations. *Agricultural and Forest Meteorology*, **142**, 1, 45-49.
- Pezzopane, J. E. M.; Pedro Junior, M. J.; Ortolani, A. A. (1995). Modificações microclimáticas provocadas por estufa com cobertura plástica. *Bragantia*, **54**, 2, 419-425.
- Pinker, R.T.; Thompson, O.E.; Eck, T.F. (1980). The albedo of a tropical evergreen forest. *Quart. Journal of the Royal Met.Soc.*, **106**, 551-558.
- Pollet, I. V. And J. G. Pieters, (1999). Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. *Agricultural and Forest Meteorology*, **93**, 2, 149-152.
- Rana, G.; Katerji, N. (2000). Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy*, **13**, 2-3, 125-153.
- Sentelhas, P. C. *et al.* (1997). Efeito de diferentes tipos de cobertura em mini-estufas na atenuação da radiação solar e da luminosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, v. 10. Piracicaba-SP, Brasil: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia., p. 479-481.
- Souza, J. L.; Escobedo, J. F. (1997). Balanço de Radiação em Cultivos de Feijão Vagem em Casa de Vegetação com Cobertura de Polietileno e no seu Exterior. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **32**, 1-15.
- Souza, J. W. *et al.* (2004). Efeito do polietileno difusor de luz, sobre a radiação solar global, em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **12**, 211-217.
- Souza, P. J. De O. P. *et al.* (2010). Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, **14**, 1, 65-73.
- Steidle Neto, A. J. *et al.* (2008). Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **12**, 626-631.