

TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DAS RADIAÇÕES GLOBAL, PAR-GLOBAL, DIFUSA E PAR-DIFUSA EM BOTUCATU

J.F. Escobedo¹, E.N. Gomes², D. Martins³, T.N.S. Almeida⁴.

1. Físico, Prof. Adjunto, Depto. de Recursos Naturais, FCA, UNESP, São Paulo - SP, Fone: (0 xx 14) 3811 7162, escobedo@fca.unesp.br.

2. Eng^o Agrônomo, Pós-Doutorando, bolsista PDJ-CNPq, Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

3. Eng^o Florestal, Prof. Adjunto, Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

4. Tecnólogo em Informática, Bolsista TT-3 FAPESP, Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

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

RESUMO: O objetivo do trabalho foi determinar a transmissividade atmosférica média mensal das radiações global ($K_t = H_G / H_o$), PAR-global ($K_{tp} = H_{Gp} / H_{op}$), difusa ($K'_d = H_d / H_o$), e PAR-difusa ($K'_{dp} = H_{dp} / H_{op}$) em Botucatu/SP/Brasil. A transmissividade média para a radiação global foi igual a 51,1%, com variações entre 41,7% no mês mais nebuloso e úmido (janeiro) a 63,2% no mês sem nuvens e seco (agosto); a radiação PAR-global média foi igual a 69,5%, com variações de 55,0% em janeiro a 83,0% em maio. Similarmente, para a radiação difusa, a média foi de 14,5% com variações entre 11,1% no mês claro (abril) a 22,0% no mês com maior concentração de aerossóis (setembro), e PAR-difusa média de 17,7% com variações de 14,3% em abril a 26,3% em outubro. As transmissividades PAR, K_{tp} e K'_{dp} foram em média 8,4% e 2,2%, superiores a do espectro total, K_t e K'_d , respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: radiação solar global, radiação solar difusa e PAR.

ATMOSPHERIC TRANSMISSIVITY OF GLOBAL, GLOBAL-PAR, DIFFUSE AND DIFFUSE -PAR RADIATION IN BOTUCATU.

ABSTRACT: The aim of this work was determinate the monthly mean atmospheric transmissivity global ($K_t = H_G / H_o$), global-PAR ($K_{tp} = H_{Gp} / H_{op}$), diffuse ($K'_d = H_d / H_o$), and diffuse-PAR ($K'_{dp} = H_{dp} / H_{op}$) in Botucatu/SP/Brazil. The averaged monthly global radiation was equal to 51.1%, with values from 41.7% in the month with high nebulosity and humidity (January) to 63.2% in the month with less clouds and humidity (August); The averaged global-PAR radiation was equal to 69.5%, with values from 55.0% in January to 83.0% in May. Similarly, for the diffuse radiation, the averaged was 14.5% with values from 11.1% in the clear month (April) to 22.0% in the month with high aerosol concentration (September), and diffuse-PAR averaged equal to 17.7% with values from 14.3% in April to 26.3% in October. The averaged PAR transmissivity K_{tp} and K'_{dp} were 8.4% and 2.2%, higher than total spectrum K_t e K'_d , respectively.

KEYWORDS: Global solar radiation, diffuse solar radiation and PAR.

1. INTRODUÇÃO: Uma das componentes da radiação solar de grande interesse às ciências biológicas e agrônômicas é a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que compreende a faixa de comprimentos de onda de 0,4 a 0,7 μm do espectro total. A radiação PAR ativa os pigmentos fotossintéticos, permitindo que as plantas absorvam a energia radiante do sol e a

convertam em energia química, através do processo de fotossíntese. Um dos fatores que favorecem o melhor desenvolvimento da cultura é o aumento da fração da radiação difusa da global ($K_d = H_d/H_G$), que é considerada a componente mais eficiente para a fotossíntese por atingir área foliar mais homogênea. Apesar da grande importância da PAR, poucos trabalhos na literatura tratam da componente difusa na faixa espectral fotossinteticamente ativa. (Grant et al., 1996, Alados & Alados-Arboledas, 1999, Escobedo et al 2000, Frisina et al 2000). Assim este trabalho teve por objetivo apresentar um estudo das transmissões das radiações global, par-global difusa e par-difusa em Botucatu. O desenvolvimento guarda interesse nas áreas agrônomicas e florestais, porque a região de Botucatu é uma região extrativista de eucaliptos e cana-de-açúcar, e o conhecimento sobre as radiações global e PAR-global, difusa e PAR-difusa será importante para elaboração de projetos relacionados com a produção de biomassa.

2. MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu, FCA, UNESP, Botucatu-SP, com coordenadas geográficas: latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m. O clima do município de Botucatu é classificado (Köppen) como Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. 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°C e 17,1°C, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente. A nebulosidade é mais elevada nos meses de janeiro ($f=0,61$) e menor em agosto ($f=0,27$). Contrastando com 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. A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm.

A irradiância global I_G foi medida por piranômetro Eppley PSP ($k_1=7,45 \mu V m^2/W$) enquanto as irradiâncias PAR- global (I_{Gp}) por detector quântico Li-Cor ($k_1=5,29 \mu A/1000 \mu mol.s^{-1}.m^{-2}W$). As irradiâncias difusa e PAR-difusa (I_d e I_{dp}) foram monitoradas por meio de anéis de sombreamento tipo ME (Melo & Escobedo, 1994) nas seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura, usando os piranômetro Eppley PSP ($k = 8,17 \mu V m^2/W$) na medida da irradiância I_d e sensor quântico Li-Cor ($k = 5,04 \mu A/1000 \mu mol.s^{-1}.m^{-2}W$) na medida I_{dp} .

O fator FC usado para compensar a irradiação difusa barrada pelo anel é determinado pela expressão:

$$FC = [1 - (H'_d / H_d)]^{-1}$$

onde H_d é a irradiação difusa e H'_d , a irradiação difusa interceptada durante o dia. A razão H'_d / H_d foi calculada pela equação (Oliveira, 2002):

$$H'_d / H_d = \left(\frac{2b}{\pi R} \right) \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \int_0^{\omega_p} \cos(z) d\omega$$

onde: b e R são a largura e raio do anel; δ é a declinação solar; ϕ é a latitude; z é o ângulo zenital e ω é o ângulo horário do sol, variando do nascer até o pôr-do-sol.

Na aquisição dos dados, foi utilizado um Datalogger Campbell Scientific 23X, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos. As leituras dos detectores quânticos Li-Cor, em mV, foram convertidas para W/m^2 utilizando-se o valor de $4,6 \mu mol s^{-1}W^{-1}$ (McCree 1972).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO: A figura 1(a e b) mostra as irradiações médias mensais da radiação no topo da atmosfera (H_o), global (H_G) e PAR-global (H_{GP}), difusa (H_d) e PAR-difusa (H_{dp}) em Botucatu. A radiação fotossinteticamente ativa no topo da atmosfera (H_{op}) foi considerada igual a 0,388 da radiação total extraterrestre (Iqbal, 1983).

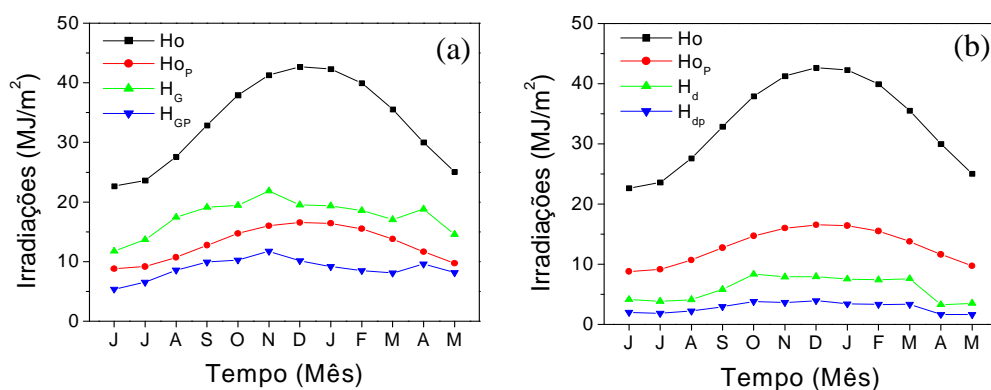


Figura 1. Irradiações médias mensais: a) no topo da atmosfera (H_o) e (H_{op}), global (H_G) e PAR-global (H_{GP}); b) no topo da atmosfera (H_o) e (H_{op}), difusa (H_d) e PAR-difusa (H_{dp}).

As variações sazonais das radiações são devidas as variações astronômica (declinação solar) e geográfica (latitude), e principalmente, as variações climáticas como nuvens, vapor d'água e aerossóis. A radiação global variou de $21,9 \text{ MJm}^2$ em novembro a $11,8 \text{ MJm}^2$ em junho; a PAR-global de $11,74 \text{ MJm}^2$ em novembro a $5,4 \text{ MJm}^2$ em junho; a difusa de $8,35 \text{ MJm}^2$ em outubro a $3,3 \text{ MJm}^2$ em abril e a PAR-difusa de $3,84 \text{ MJm}^2$ em outubro a $1,67 \text{ MJm}^2$ em maio.

A figura 2 mostra a evolução de K_t e K_{tp} média mensal para Botucatu. As razões $K_t = H_G / H_o$ e $K_{tp} = H_{GP} / H_{op}$ definem a transmissividade atmosférica para a faixa da radiação solar global e para a PAR.

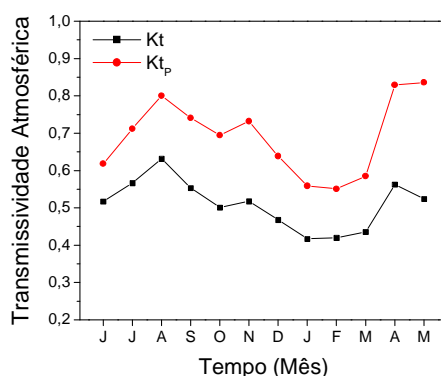


Figura 2. Transmissividade atmosférica média mensal das radiações global (K_t) e PAR-global (K_{tp})

As evoluções médias mensais de K_t e K_{tp} mostram uma evidente tendência sazonal na transmissividade das radiações global e PAR-global, que depende das condições da atmosfera de cada mês. Os menores valores ocorreram nos meses de outubro à março, no período

chuvoso, no qual as concentrações de nuvens e vapor d'água são mais acentuadas no ano, enquanto que os maiores valores ocorreram nos meses de abril a setembro, período seco e com baixas concentração de nuvens e vapor de água.

No geral, K_t variou entre 41,7% e 63,2%, com média de 51,1%, enquanto que, K_{tp} variou de 55,0% a 80,0%, com média de 69,5%.

A transmissividade na faixa espectral PAR (K_{tp}) foi em média 8,4% superior a transmissão da global (K_t). A diferença entre os dois índices é devido à presença do vapor de água que absorve na faixa espectral do infravermelho da radiação global, sem alterar, no entanto, a faixa espectral da PAR.

A figura 3 mostra as transmissividade das radiações difusa (K'_d) e PAR-difusa (K'_{dp}) calculados pelas razões $K'_d = H_d/H_o$ e $K'_{dp} = H_{dp}/H_{op}$, as quais representam as frações das radiações difusa e PAR-difusa que atingiram a superfície terrestre em relação as radiações total e PAR no topo da atmosfera.

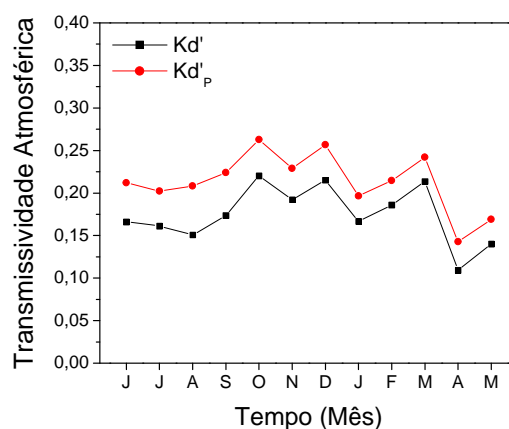


Figura 3. Transmissividade atmosférica média mensal das radiações difusa K'_d e PAR-difusa K'_{dp} na superfície terrestre.

Similarmente as radiações global e PAR-global, a transmissividade das radiações difusa e PAR-difusa também apresentou variações sazonais ao longo do ano, sendo mais elevada nos meses mais nebulosos e menores nos meses mais claros. Os maiores valores de $K'_d=22,0\%$ e $K'_{dp}=26,3\%$ ocorreram em outubro, o qual também apresenta elevada concentração de aerossóis, e os menores valores $K'_d=10,9\%$ e $K'_{dp}=14,3\%$ em abril, no período seco. No geral, os valores médios foram $K'_d=14,7\%$ e $K'_{dp}=17,7\%$. Similarmente, a transmissividade da PAR-difusa é mais elevada que a da radiação difusa em todos os meses do ano e essa diferença é devido à absorção na faixa espectral do infravermelho da radiação difusa total.

4. CONCLUSÕES: Dos resultados obtidos no trabalho podemos concluir que a transmissividade das radiações PAR-global e PAR-difusa na atmosfera é superior a das radiações global e difusa respectivamente. A transmissividade PAR (K_{tp}) foi em média 8,4% superior ao da radiação global (K_t), enquanto que, a transmissividade PAR- difusa (K'_{dp}) foi em média 3,0% superior ao da radiação difusa (K'_d). A diferença é devido ao vapor d'água na

atmosfera, que absorve na faixa espectral do infravermelho da radiação global, sem alterar, a faixa espectral da PAR .

AGRADECIMENTOS: À FAPESP e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALADOS, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.93, p.27-38, 1999.
- GRANT, R.H., HEISLER, G.M., GAO, W. Photosynthetically-active radiation: sky radiance distributions under clear and overcast conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.82, p.267-292, 1996.
- ESCOBEDO, J.F., GALVANI, E., OLIVEIRA, A.P., CHAVES, M.A. Models to estimate daily diffuse irradiation inside polyethylene greenhouse lined east-west and north-south. **World Renewable Energy Congress VI**, v. IV, p. 2481-2484, 2000.
- FRISINA, V.A., ESCOBEDO, J.F., GOMES, E.N. Instantaneous estimates of global, diffuse and reflected photosynthetically active radiation (PAR) inside a polyethylene greenhouse. **World Renewable Energy Congress VI**, v. IV, p. 2394-2397, 2000.
- MELO, J.M.D.; ESCOBEDO, J.F. Medida da radiação solar difusa. In: *Energias Limpas em Progreso*, VII Congresso Ibérico de Energia Solar, Vigo, Espanha. **Anais do Internacional Solar Energy Society**, v.1, 1994.
- McCREE, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, v.10, p.443-53, 1972.
- OLIVEIRA, A.P., ESCOBEDO, J.F., MACHADO, A.J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston 2002.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 390p.