

RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA E A IRRADIÂNCIA DE ONDA CURTA EM ÁREA DE POLICULTIVO NA AMAZÔNIA

Regina C. dos Santos Alvalá e Francis Wagner C. Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758, CP 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil
e-mail - regina@met.inpe.br

ABSTRACT

Photosynthetically-active radiation (PAR) is a necessary input in applications with plant physiology, biomass production and natural illumination in greenhouses. Unfortunately, a world wide routine network for the measurement of PAR is not yet established and it is often calculated as a constant ratio of the broadband solar radiation (R_s). This ratio is affected by many parameters. This work describes the variation of the ratio of PAR to R_s for a recultivation area of the SHIFT Project (2°52'S; 59°59'W) in the Central Amazon, considering two days, one with intermittent cloudiness and other with overcast conditions, during the dry season period of 1999.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) disponível acima do dossel das plantas é essencial em um número de aplicações. Logo, devido ao seu papel na fotossíntese e outros processos das plantas, a radiação entre 04 e 07 μm (PAR) é um dos mais importantes recursos para as plantas. A densidade de fluxo de ftons fotossintético na correspondente banda de comprimento de onda é a unidade mais comumente utilizada para caracterizar esta quantidade de luz. Portanto, mediadas de PAR são usadas para caracterizar o crescimento e a morfologia das plantas (Carter e Klinka, 1992; Ackerly e Bazzaz, 1995), para estimar competição entre plantas (Cannel e Grace, 1993), bem como para avaliar interações entre elas. Além disso, medidas de PAR são também úteis para o cálculo de área foliar a partir da transmissão de luz do dossel (Pierce e Running, 1988; Martens et al., 1993; Chen, 1996) e para documentar variações temporais nas estruturas do dossel (Baldochi et al., 1984; Rich et al., 1993).

A caracterização da luz nos diversos níveis do dossel das florestas pode ser difícil devido à variabilidade espacial e temporal. Sob um dossel, um único ponto recebe ambas luz direta e difusa. A luz direta vem do Sol e varia de modo considerável, tanto espacialmente, quanto temporalmente. Sua disponibilidade no chão da floresta é determinada pela posição do curso do sol, localização dentro das lacunas, tamanho das lacunas, altura do dossel, nebulosidade, fenologia das folhas e movimento da folhagem devido ao vento (Gendron et al., 1998). A quantidade de luz direta que penetra no chão da floresta também varia com a hora do dia e ano, assim como varia com a altitude solar (Hutchison e Matt, 1977). Inversamente, a luz difusa vem de todas as partes do céu, sendo muito mais espacialmente e temporalmente uniforme do que a luz direta sob um dossel (Gendron et al., 1998).

Outrossim, não há uma rede mundial para medidas rotineiras de PAR. Para superar esta falta, diferentes modelos para sua estimativa têm sido propostos (Gueymard, 1989a; Gueymard, 1989b; Olseth e Skartveit, 1993), alguns dos quais utilizam dados de satélites ((Eck e Dye, 1991; Pinker e Lazlo, 1992). Em outra aproximação, PAR é freqüentemente calculada como uma razão constante da irradiância solar global (R_s). Diferentes autores têm estudado esta razão como, por exemplo, Britton e Dodd, 1976; Stigter e Musabilha, 1982; Howell et al., 1983; Karalis, 1989; Papaioannou et al., 1993; Alados et al., 1996. O espalhamento da razão PAR/ R_s , encontrado nestes trabalhos, sugere a necessidade de haver calibração local, considerando portanto as condições climáticas locais. Na realidade, muitos parâmetros provavelmente afetam esta razão, como por exemplo, a pressão atmosférica, elevação solar, turbidez e a água precipitável, tornando-se necessário, portanto, analisar a influência das condições atmosféricas sobre esta razão. Assim, caso se desenvolva uma modelagem apropriada para esta razão, poder-se-á obter uma grande base de dados de PAR, sem o custo substancial da rede de instrumentação que, obviamente, faz-se necessário.

Neste trabalho, avalia-se a relação η (PAR/Rs) em uma área de policultivo na região amazônica, considerando dois dias, um com o céu parcialmente coberto e outro coberto, durante a estação seca de 1999. Esta relação poderá ser utilizada para estimar PAR a partir de medidas de Rs, para posterior utilização, por exemplo, como entrada em modelos de crescimento de cultivo.

2. DADOS E MEDIDAS

Os dados considerados neste estudo foram obtidos em experimento realizado na área do projeto de estudos do impacto humano sobre as florestas e sobre as áreas adjacentes aos rios nos trópicos - SHIFT, cujo propósito é desenvolver sistemas agrícolas ecológica, social e economicamente viáveis, adaptados às condições úmidas na Amazônia tropical, a partir de um experimento de recultivação de uma área em pousio de um seringal abandonado, estabelecendo consórcio de plantas selecionadas, principalmente espécies perenes.

A área experimental do Projeto SHIFT (2°52'S; 59°59'W) está instalada em uma região de terra firme no campus do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia - CPAA, EMBRAPA, situado a 30 km ao norte da cidade de Manaus. Esta área surgiu, inicialmente, do desflorestamento da floresta primária, realizado em 1980 com a finalidade de se fazer um plantio experimental de seringueira (*Hevea brasiliensis*), sendo, logo em seguida, abandonada. Aproximadamente oito anos mais tarde, a floresta secundária, resultante do abandono do cultivo de seringueira, foi desflorestada manualmente e queimada de forma tradicional. Durante o período chuvoso da região entre os anos 1992 e 1993 estabeleceu-se um novo sistema experimental de plantio. No início foram plantadas no campo experimental quinze espécies de plantas úteis, em quatro diferentes sistemas de policultivos e quatro sistemas de monoculturas (seringueira, cupuaçu, citros e pupunha). Culturas anuais perenes forma plantadas entre as fileiras das árvores, além uma planta de cobertura do solo (*Puerária phaseoloides*).

As medidas na área de policultivo incluíram valores médios (10 minutos), coletadas no período de 28 de julho a 15 de agosto de 1999, durante a estação seca na região. Para a coleta dos dados utilizou-se um mastro de 12 m de altura e 0,15 m de largura, o qual foi colocado próximo ao centro de uma das parcelas da área de policultivo, considerada como tendo 100% de fertilidade. No topo deste mastro foram instalados um piranômetro CM11 da Kipp & Zonen, Holanda (piranômetro concebido para medir a irradiância total, ou seja, radiação solar direta e difusa), que tem sensibilidade de $\pm 0,5\%$ em 20°C e 500 W m^{-2} , e um sensor quantum da Licor, Nebraska, EUA, com precisão de $\pm 5\%$, para medida da radiação fotossinteticamente ativa. Além disso, um psicrômetro aspirado, composto por um termômetro de bulbo úmido e outro de bulbo seco de resistência de platina (Didcot Instruments, Abingdon, RU) com uma precisão de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Instituto de Hidrologia, RU) foi instalado no topo do mastro, para medida das temperaturas secas e úmidas. Todos os instrumentos foram calibrados antes do experimento. Para a aquisição dos dados, utilizou-se um "datalogger" 21X da Campbell Scientific, Inc., EUA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

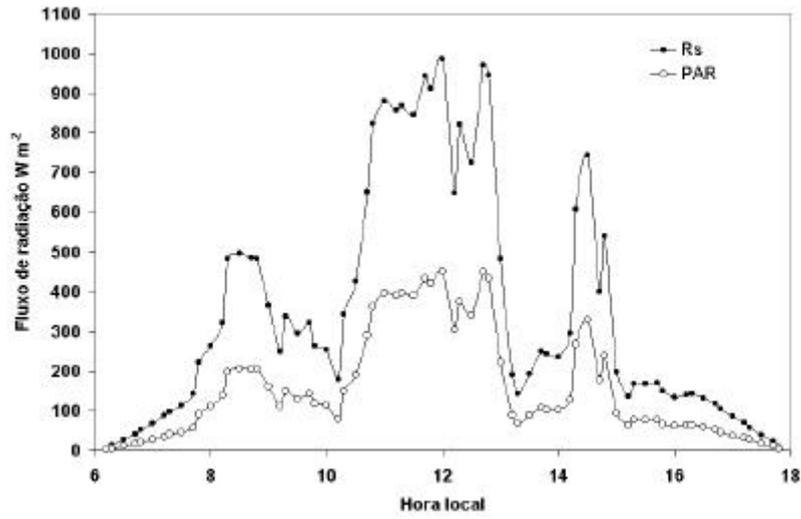
As Figuras 1a e 1b mostram o padrão diário de PAR e de Rs (médias para cada 10 minutos) em dois dias selecionados do período de medidas, isto é, para o dia 216 (04/08/99), um dia parcialmente coberto, e o dia 225 (15/08/99), um dia quase completamente coberto. Observa-se comportamento similar entre PAR e Rs em ambos os dias, com valores máximos de Rs iguais a 987 W m^{-2} e 1015 W m^{-2} próximo às 12 horas local, respectivamente. Os valores máximos de PAR são quase similares, atingindo 451 e $472,9\text{ W m}^{-2}$ respectivamente nos dias 216 e 225. Observa-se grande variabilidade diária dos fluxos de radiação, em virtude da nebulosidade presente naquela região, mesmo durante a esta seca.

A razão η variou de 0,38 a 0,49 (média igual a 0,44, considerando 69 observações) no dia 216 e de 0,41 a 0,89 (média igual a 0,89, considerando 68 observações) no dia 225. As Figuras 2a e 2b apresentam as variações de η , médias de 10 minutos, para os dias 216 e 225, respectivamente. Estes valores concordam com aqueles estimados por outros autores para diferentes latitudes (Goldberg e Klein, 1977; Karalis, 1989; Papaioannou et al., 1993, entre outros) bem como com aqueles encontrados por Stigter e Musabilha (1982) para uma região localizada nos trópicos. Observa-se nas figuras que η aumenta razoavelmente quando as condições do céu varia de "claro" para "nublado"; isto pode ser principalmente atribuído às variações na importância relativa dos processos de absorção e espalhamento na atenuação da irradiância solar incidente pelas nuvens em diferentes regiões do espectro. As

nuvens atenuam a irradiância solar incidente em comprimentos de onda maior que $0,7 \mu\text{m}$ por ambos absorção e espalhamento, ao passo que a atenuação (pelas nuvens), no visível, deve-se somente ao espalhamento (De Vault e Ktsaros, 1983). Embora para muitas propostas η possa ser considerada como *constante*, principalmente quando o céu está muito claro, a variabilidade observada no dia 225 indica que a terminologia *conservativa* parece mais apropriada, conforme também sugeriu Stigter e Musabilha (1982).

Com o intuito de avaliar outros parâmetros que possam descrever apropriadamente as condições do céu que influenciam a razão η , analisou-se a sua variação com o ângulo de elevação solar (E) (Figuras 3a e 3b) e com R_s/Q_o , a razão entre a irradiância solar global e a irradiância extraterrestre horizontal (Figuras 4a e 4b). Além disso, considerou-se também a variação de η em função da temperatura de ponto de orvalho (T_d) (Figuras 4a e 4b). Esta foi introduzida para considerar o efeito do vapor d'água sobre o espectro solar, ou seja, devido a sua correlação com a quantidade de água precipitável (Reitan, 1963) e fácil disponibilidade de obtenção. O vapor d'água é importante devido aos seus efeitos de absorção, a qual ocorre na região do infravermelho do espectro, diminuindo, portanto, a irradiância solar de banda larga (R_s), para uma extensão maior que a da PAR. Os resultados mostram maior variação de η com os parâmetros considerados no dia nublado. A razão η aumenta quando a temperatura de ponto de orvalho aumenta, devido à intensificação dos processos de extinção na região do espectro infravermelho. Entretanto, ressalta-se que uma série mais longa de dados deveria ser considerada, uma vez que há grande variação na razão η dia a dia. Além disso, ressalta-se também que uma série mais longa poderia subsidiar a base para o desenvolvimento de um modelo empírico para obtenção de η considerando a contribuição específica de cada parâmetro.

Dia 216 - céu parcialmente coberto



Dia 225 - céu coberto

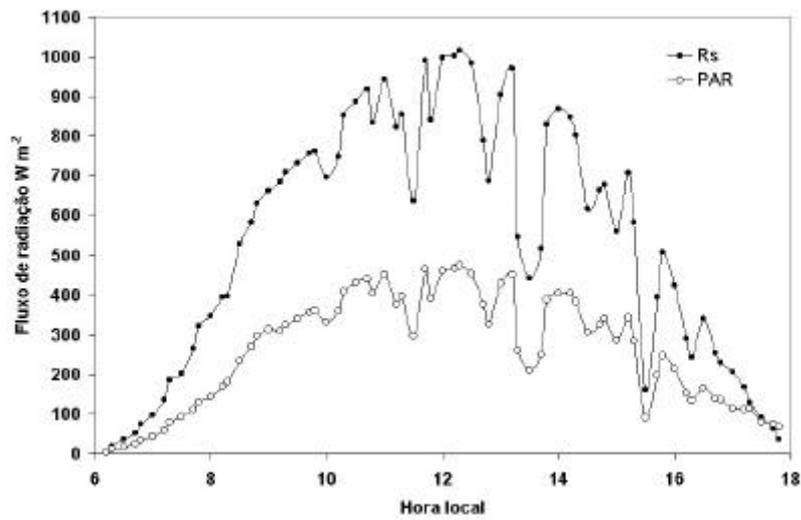
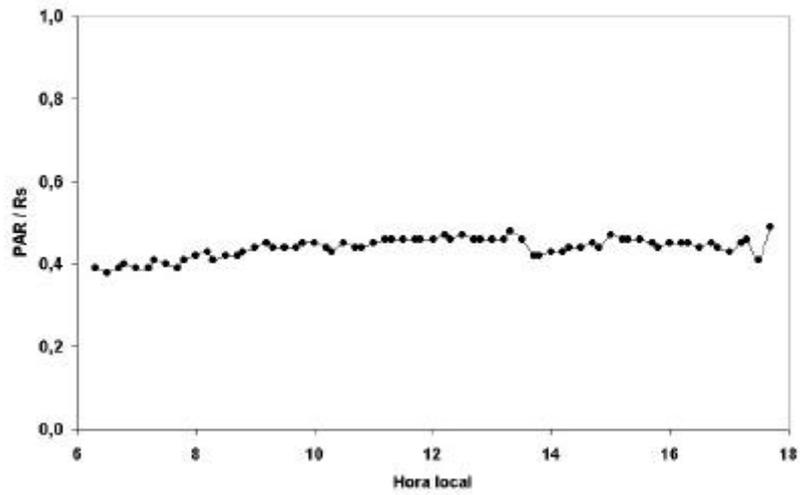


Figura 1 - Fluxos de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e irradiância solar global (Rs) para: (a) dia parcialmente coberto (04/08/99) e (b) dia coberto (13/08/99).

Dia 216 - céu parcialmente coberto



Dia 225 - céu coberto

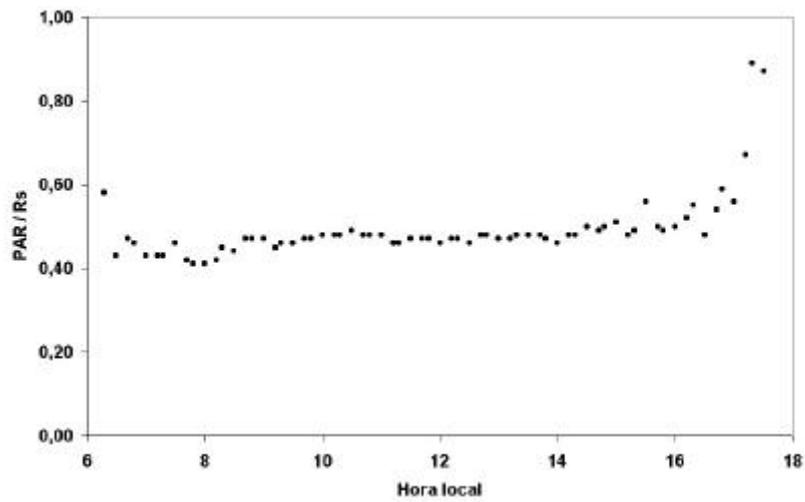
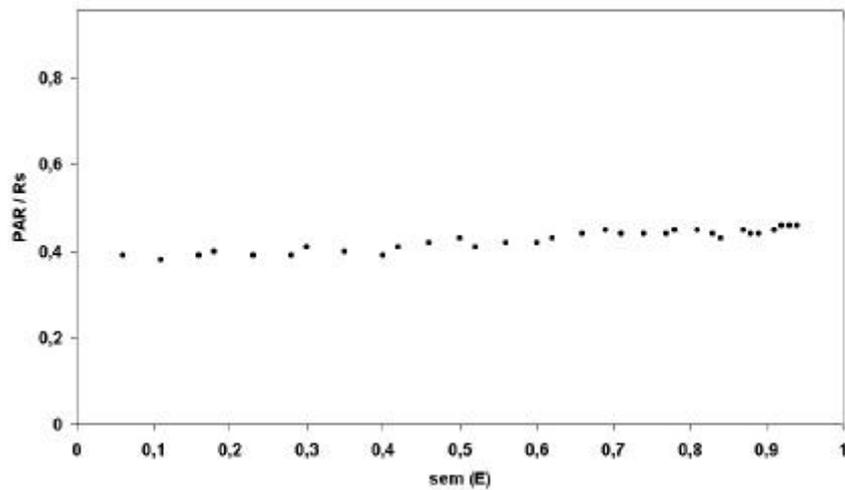


Figura 2 - Variação diária da razão entre os fluxos de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e irradiância solar global (Rs) para: (a) dia parcialmente coberto (04/08/99) e (b) dia coberto (13/08/99).

Dia 216 - céu parcialmente coberto



Dia 225 - céu coberto

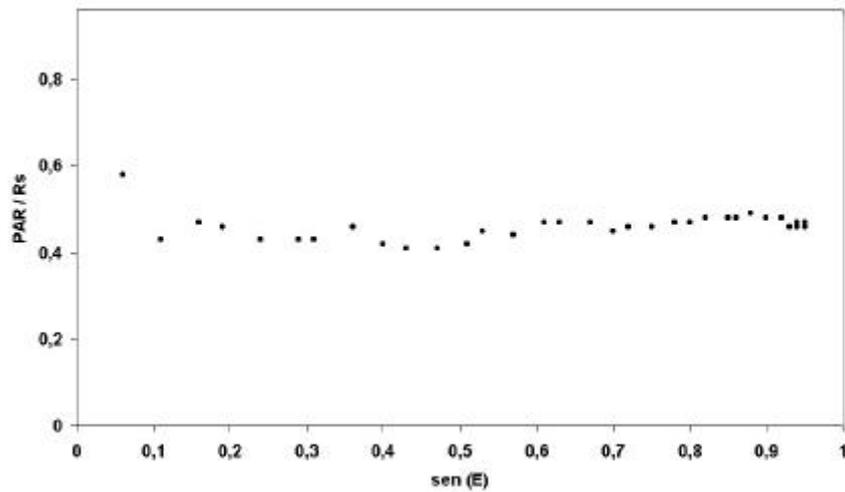
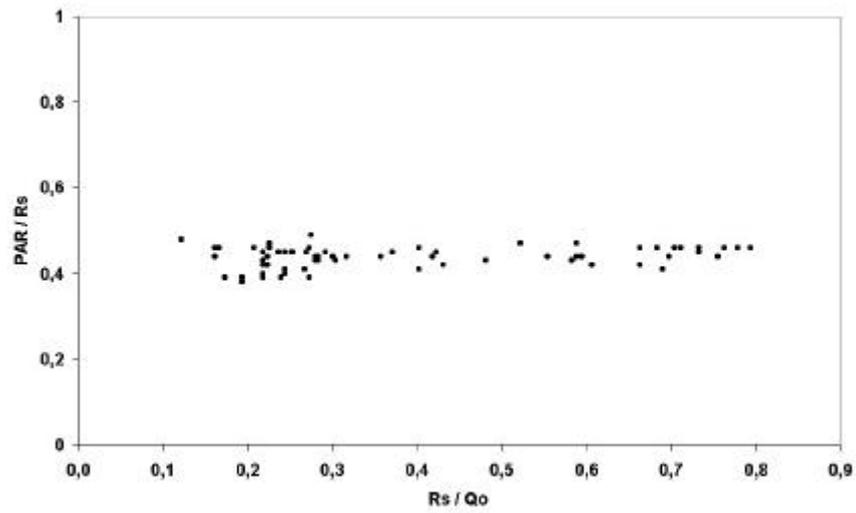


Figura 3 - Variação da razão entre os fluxos de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e irradiância solar (Rs) em função do seno do ângulo de elevação solar global para: (a) dia parcialmente coberto (04/08/99) e (b) dia coberto (13/08/99).

Dia 216 - céu parcialmente coberto



Dia 225 - céu coberto

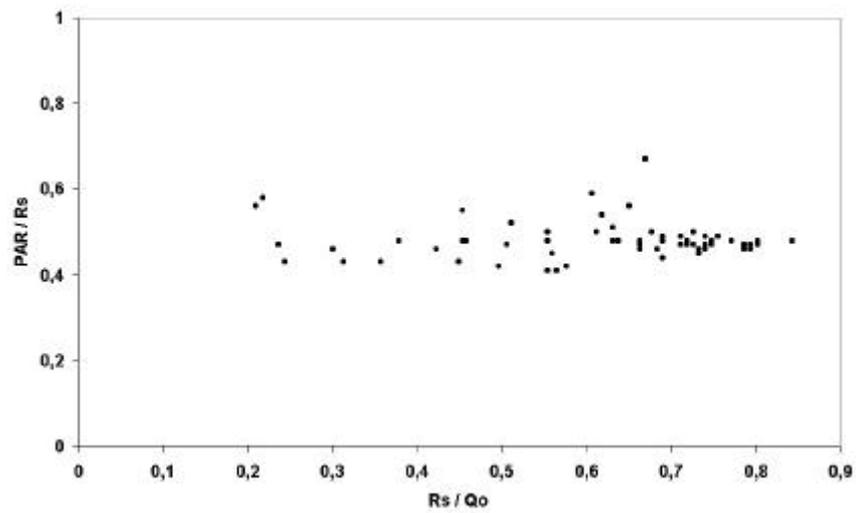
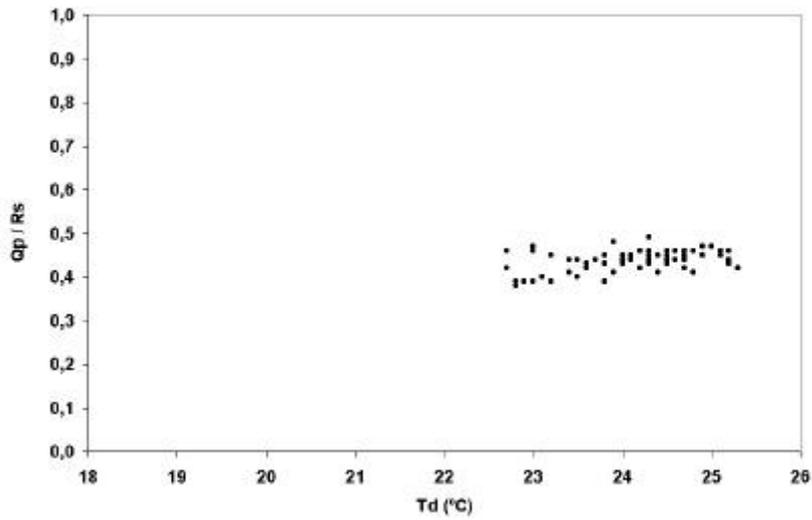


Figura 4 - Variação da razão entre os fluxos de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e irradiância solar (Rs) em função da irradiância solar global e a irradiância extraterrestre horizontal para: (a) dia parcialmente coberto (04/08/99) e (b) dia coberto (13/08/99).

Dia 216 - céu parcialmente coberto



Dia 225 - céu coberto

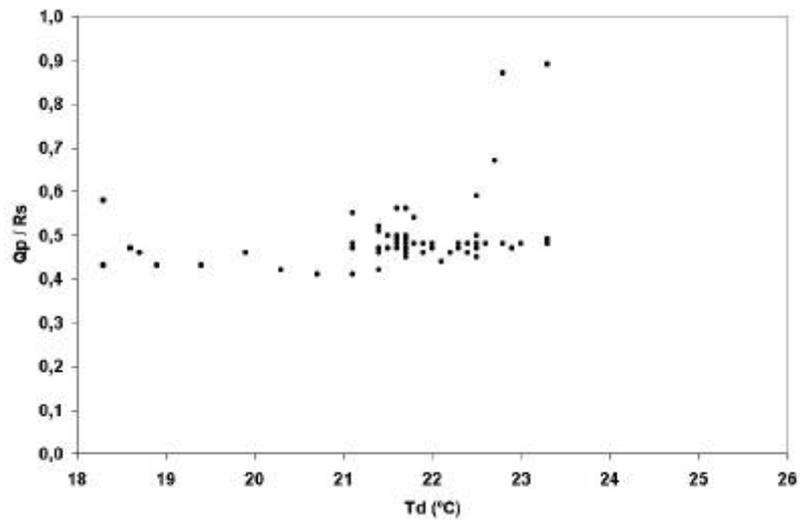


Figura 5 - Variação da razão entre os fluxos de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e irradiância solar (R_s) em função da temperatura de ponto de orvalho (T_d) para: (a) dia parcialmente coberto (04/08/99) e (b) dia coberto (13/08/99).

4. CONCLUSÕES

Os valores médios diários de η em área de policultivo na Amazônia, iguais a 0,44 e 0,49 para um dia de céu parcialmente coberto e outro nublado, respectivamente, concordam qualitativamente com aqueles encontrados na literatura para outras áreas, considerando valores medidos de PAR e Rs. Vale ressaltar que os diversos valores apresentados na literatura encontram-se no range de 0,45 a 0,50, apesar das diferentes definições de limites de comprimentos de onda de PAR, juntamente com diferentes ajustes experimentais utilizados, o que envolveu, muitas vezes, vários tipos de piranômetros, métodos de calibração, padronizações radiométricas, etc. Em climas onde extremos de nebulosidade são comuns, como é o caso da região amazônica, diferenças dia a dia na razão η podem ser responsáveis por significantes diferenças na eficiência fotossintética, razão pela qual deve-se analisar períodos mais abrangentes de dados, incluindo estação seca e úmida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerly, D. D., Bazzaz, F. A. Seedling crown orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps. **Ecology**, **76**, 1134-1146, 1995.
- Alados, I., Foyo-Moreno, I., Alados-Arboledas, L. Photosynthetically-active radiation: measurements and modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, **78**, 121-131, 1996.
- Baldocchi, D., Hutchinson, B., Matt, D., McMitten, R. Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, **33**, 177-191, 1984.
- Britton, C. M., Dodd, J. D. Relationships of photosynthetically-active radiation and shortwave irradiance. **Agricultural Meteorology**, **17**, 1-7, 1976.
- Cannell, M. G. R., Grace, J. Competition for light: detection, measurement and quantification. **Canadian Journal Forest Research**, **23**, 1969-1979, 1993.
- Carter, R. E., Klinker, K. Variation in shade tolerance of Douglas fir, western hemlock, and western red cedar in coastal British Columbia. **Forest Ecology Management**, **55**, 87-105, 1992.
- Chen, J. M. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. **Agricultural and Forest Meteorology**, **80**, 135-163, 1996.
- De Vault, J. E., Ktsaros, K. B. Remote determination of cloud liquid water path from bandwidth - limited shortwave measurements. **Journal of Atmospheric Sciences**, **40**, 665-685, 1983.
- Eck, T. F., Dye, D. G. Satellite estimation of incident photosynthetically-active radiation using ultraviolet reflectance. **Remote Sensing Environment**, **38**, 135-146, 1991.
- Gendron, F., Christian, M., Comeau, P. G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, **92**, 55-70, 1998.
- Goldberg B., Klein, W. H. Variation of the spectral distribution of daylight at various geographical locations on the earth's surface. **Solar Energy**, **19**, 3-13, 1977.
- Gueymard, C. An atmospheric transmittance model for the clear sky beam, diffuse and global photosynthetically-active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, **45**, 215-229, 1989a.
- Gueymard, C. A two-band model for the calculation of clear sky solar irradiance, illuminance, and photosynthetically-active radiation at the Earth's surface. **Solar Energy**, **43**, 253-265, 1989b.
- Howell, T. A., Meek, D. W., Hatfield, J. L. Relationship of photosynthetically-active radiation to shortwave radiation in the São Joaquim Valley. **Agricultural and Forest Meteorology**, **28**, 157-175, 1983.

- Hutchinson, B. A., Matt, D. R. The annual cycle of solar radiation in a deciduous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 18, 255-265, 1977.
- Karalis, J. D. Characteristics of direct photosynthetically-active radiation. ***Agricultural and Forest Meteorology***, 48, 225-234, 1989.
- Martens, S. N., Usten, S. L., Rousseau, R. A. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. ***Forest Ecology Management***, 61, 91-108, 1993.
- Olseth, J. A., Skartveit, A. Luminous efficacy models and their application for calculation of photosynthetically-active radiation. ***Solar Energy***, 52, 391-399, 1993.
- Papaioannou, G., Papanikolaou, N., Retails, D. Relationships of photosynthetically-active radiation and shortwave irradiance. ***Theoretical and Applied Climatology***, 48, 23-27, 1993.
- Pierce, L. L., Running, S. W. Rapid estimation of coniferous forest area index using a portable integrating radiometer. ***Ecology***, 69, 1762-1767, 1988.
- Pinker, R. T.; Lazlo, I. Global distribution of photosynthetically-active radiation as observed from satellites. ***Journal of Climate***, 5, 56-65, 1992.
- Reitan, C. H. Surface dewpoint and water vapour aloft. ***Journal of Applied Meteorology***, 2, 776-779, 1963.
- Rick, P. M., Clark, D. B., Clark, D. A., Oberbauer, S. F. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. ***Agricultural and Forest Meteorology***, 65, 107-127, 1993.
- Stigter, C. J., Musabilha, M. M. The conservative ratio of photosynthetically-active radiation to total radiation in the tropics. ***Journal of Applied Ecology***, 19, 853-858, 1982.