

VARIAÇÕES MENSAIS DAS FRAÇÕES SOLARES UV, PAR E IV DA RADIAÇÃO GLOBAL EM BOTUCATU.

João Francisco Escobedo – escobedo@fca.unesp.br

Eduardo Nardini Gomes – engomes@fca.unesp.br

Departamento de Recursos Naturais/Ciência Ambiental – FCA/UNESP/Botucatu/SP/Brasil

Amauri Pereira de Oliveira – apdolive@usp.br

Jacyra Soares – jacyra@usp.br

Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG/USP/São Paulo/SP/Brasil

Resumo. No trabalho é apresentado o estudo variacional das frações solares UV, PAR e IV da radiação global G, para uma base de dados medida no período de 2001 a 2005 em Botucatu, região de extrativismo da cultura da cana de açúcar e produção de álcool no Estado de São Paulo/Brasil. Avaliou-se o efeito da nebulosidade e o do vapor d'água nos coeficientes angulares ou frações médias das correlações mensais para as radiações UV, PAR e IV em função da radiação G. Os resultados mostraram que as frações horárias variaram nos intervalos: UV/G de 2.7% a 6.9% ; PAR/G de 42.7 % a 71.0% e IV/G de 23.0% a 54.0% , enquanto que , as frações diárias UV/G de 3.4% a 6.3%; PAR/G de 45.0% a 60.0% e IV/G de 34.0% a 51.0%.. A análise sazonal mostrou que as frações UV/G e PAR/G são maiores e a fração IV/G menor, no período chuvoso, de outubro até março, enquanto as frações UV/G e PAR/G são menores e a fração IV/G maior, no período da seca, de abril até setembro. As equações de estimativa mensais com coeficientes de determinação próximo de 1(hum), mostraram que as radiações UV, PAR, IV estão bem relacionadas com a radiação G. As frações médias mensais UV/G e PAR/G variaram proporcionalmente a concentração de vapor d'água e da nebulosidade, em cada mês: fração média mensal UV/G variou de 4.4 %(janeiro e dezembro) a 3.8 %(julho e agosto), a fração PAR/G variou de 51.2%,(fevereiro) a 47.6% (agosto). A fração média mensal IV/G evoluiu inversamente a UV/G e PAR/G , variou de 44.4% (janeiro) a 48.5%(agosto). Os indicadores estatísticos MBE e RMSE obtidos na validação inferiores a 10.0% e “d” superior a 0.95 na maioria dos meses, mostraram que as estimativas se ajustaram a medidas, superestimando ou subestimando com baixo nível de espalhamento.

Palavras-chave: Frações Solares, radiações Ultravioleta, Fotossinteticamente Ativa, e Infravermelha.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das radiações solares ultravioleta-UV (0,29 a 0,385 μ m), fotossinteticamente ativa-PAR (0,385-0,7 μ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 μ m), é importante em muitas áreas científicas e tecnológicas. A radiação UV exerce uma influência significativa sobre a atmosfera e superfície terrestre. Na estratosfera, a absorção da radiação UV provoca o aumento da temperatura do ar nas camadas superiores e origina a existência e variabilidade do ozônio estratosférico, enquanto que, na superfície terrestre, o efeito a radiação UV é importante em problemas biológicos, fotoquímicos e na saúde pública. A radiação PAR é essencial na fotossíntese que é fundamental nos processos fisiológicos nas áreas agrônoma e florestal como: caracterização e morfologia de plantas; estimativa da interação e competição entre plantas, documentação de variações temporais nas estruturas do dossel de plantas e produtividade de culturas. A radiação IV é usada na técnica observacional por satélites, e nas áreas biológica e agrônoma. O efeito da radiação IV nas plantas é importante para o desenvolvimento vegetativo da cultura como: germinação das sementes, alongamento, floração e coloração dos frutos.

Os efeitos das condições do céu como nebulosidade, vapor d'água e aerossóis nas componentes UV, PAR e IV da radiação solar global G tem sido investigada por meio de observações experimentais em muitos países. A radiação UV por ser a mais energética das três componentes e ter um grande número de aplicações, vem sendo mais extensivamente estudada que as radiações PAR e a IV. Os resultados mostram que a correlação linear entre a radiação UV e a radiação G, é altamente dependente da nebulosidade, vapor d'água e aerossóis, enquanto a correlação entre a PAR e G depende moderadamente da nebulosidade e vapor d'água. A componente IV foi muito pouco estudada em relação à radiação global G, porém é conhecido que as radiações IV e G dependem fortemente do vapor d'água na atmosfera.

Com as radiações G e UV, horária ou diária, o efeito da cobertura de céu é estudado com agrupamentos dos dados em intervalos de tempo mensais e os resultados obtidos dos trabalhos para locais com diferentes climas como: Al-Aruri et al. (1998) no Kuwait, Robaa (2004) para uma região urbana e poluída no Cairo - Egypt , Cañada et al. (2003) em Valencia e Córdoba, Martinez-Lozano et al. (1994 e 1999) em Valencia , Jacovides et al. (2006) para Athalassa em Cyprus e Ogunjobi and Kim (2004) em Kwangju, South Korea. Os resultados mostram que a radiação solar UV total constitui uma fração média aproximadamente uma fração entre 2.0 % a 9.5% da radiação solar global G.

Com as radiações G e PAR, horária e diária, o efeito da cobertura de céu é estudado com agrupamentos dos dados, com nuvens e sem nuvens, ou sazonalmente por estações do ano, em locais com diferentes climas, como mostram os trabalhos de Jacovides *et al.* (2004 e 2007) para Athalassa em Cyprus e Athenas na Grécia, respectivamente; de Finch *et al.* (2004) para Lusaka na Zâmbia; de Blackburn e Proctor (1983) em Guelph Ontário Canadá; de Rao (1984) para Corvallis em Oregon no Estados Unidos; de Papaioannou *et al.* (1996) para Athenas na Grécia; de Stigter e Musabilha (1982) em Llorim na Nigéria. Os resultados mostram que a fração média PAR representa uma fração entre 40.8% a 63.1% da radiação solar global G.

Os menores valores das frações UV/G e PAR/G podem ser atribuídos ao espalhamento e absorção por partículas sólidas ou aerossóis (poeira, poluição do ar) na atmosfera que reduzem mais acentualmente a radiação UV e moderadamente a radiação PAR, que a radiação G. Já os maiores valores das frações UV/G e PAR/G é devido a presença de nuvens e vapor d'água na atmosfera que absorve mais a radiação IV que as radiações UV e PAR.

Com as radiações G e IV, existem poucas informações sobre observação simultâneas das duas radiações na superfície terrestre (Escobedo *et al.*, 2006a, Escobedo *et al.*, 2006b, Escobedo *et al.* 2007). A divulgação mais recente, realizada em Botucatu no Brasil, a fração média IV/G foi analisada em função do índice de claridade Kt, para uma base de dados de cinco anos agrupadas em quatro intervalos de cobertura de céu (Escobedo *et al.*, 2008). Os resultados mostraram que a radiação IV constitui uma fração média entre 44.0% na cobertura de céu aberto a 51.5% na cobertura de céu nublado, da radiação global G. Os menores valores das frações média IV/G ocorrem na cobertura de céu nebulosa e é devido a forte absorção radiação IV pelo vapor d'água na atmosfera, enquanto que, os maiores valores das frações IV/G ocorrem na cobertura de céu aberto, onde a absorção radiação IV pelo vapor d'água na atmosfera é baixa, e porque matérias particulados como aerossóis e poluição do ar, espalham e absorvem muito pouco a radiação IV. Para valores médios com agrupamentos de dados num único intervalo de tempo, a fração IV constitui o percentual 46.9% e 51.0% da radiação global, como mostram os trabalhos de Zhang (2000) em Lhasa na China e Bolsenga (1997) em Thule na Groenlândia.

Assim, dando seqüência nos estudos com a base de dados das radiações G, UV, PAR e IV de cinco anos de medidas simultaneamente num único local (Botucatu), este trabalho tem como objetivo principal efetuar a análise os efeitos da nebulosidade e do vapor d'água, nas variações sazonais das frações UV/G, PAR/G e IV/G. E com o propósito de se padronizar as correlações entre as radiações UV, PAR, IV e a radiação global G, para um mesmo tipo de agrupamento dos dados, como os trabalhos citados na literatura, o segundo objetivo, tem por finalidade obter as equações de estimativas lineares mensais, por regressão linear passando pela origem, entre as componentes UV, PAR e IV da radiação global G, e validar com uma base de dados independente da usada na obtenção do modelo.

2. CLIMA e INSTRUMENTAÇÃO

A Estação de Radiometria Solar está inserida em ambiente rural na Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O e altitude 786m) e monitora de rotina desde 2001, a radiação global (G), ultravioleta (UV), infravermelha (IV). A cidade com 100mil habitantes não possui indústria poluidora, porém no período da seca (maio, abril, junho, julho, agosto e setembro) pode apresentar uma atmosfera sujeita a material particulado proveniente das queimadas da cana-de-açúcar e das usinas que produzem o álcool e açúcar, localizadas num raio de 100 Km da cidade.

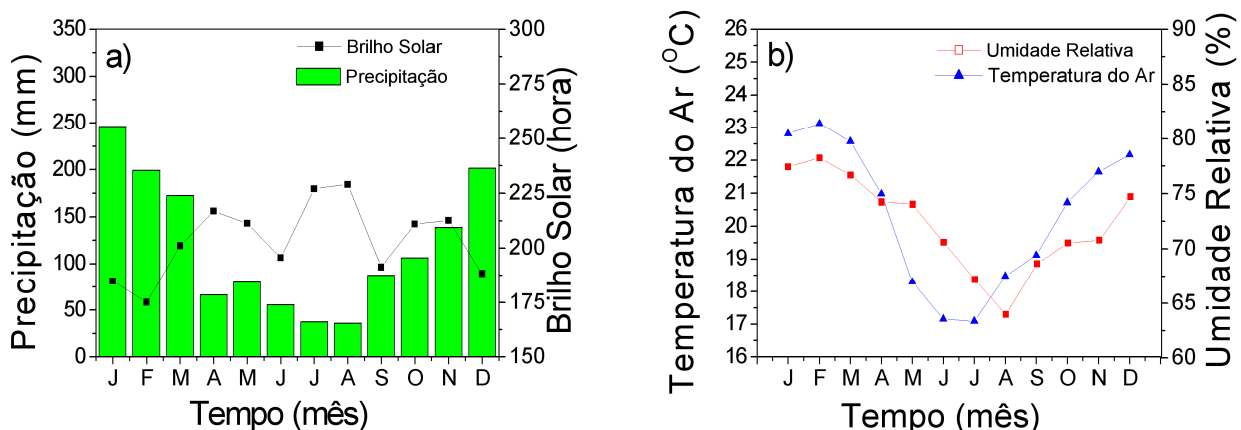


Figura 1- Precipitação e Brilho Solar acumulado médio mensal, Temperatura e Umidade do ar entre 1970 e 2005.

O clima local é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido, e o inverno é 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 maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em julho e fevereiro com totais de 251,4h e 177,4h respectivamente. Os meses de maior e menor nebulosidade ou fração de horas sem radiação direta em relação à radiação no topo da atmosfera, ocorrem em janeiro e agosto com percentuais 60.7% e 27.0% respectivamente. A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto

com 38,2mm. Os meses de fevereiro e julho são respectivamente, o mais quente e frio do ano, 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. A fig. 1 mostra a série temporal da temperatura, umidade, precipitação, número de horas de brilho solar em Botucatu.

Na estação de Radiometria Solar, a irradiância global (I_G) em W/m^2 é monitorada por um piranômetro Eppley PSP, a irradiância ultravioleta (I_{UV}) em W/m^2 por um radiômetro CUV-3 da Kipp-Zonen e a irradiância infravermelha (I_{IV}) em W/m^2 por um piranômetro Eppley PSP com cúpula seletiva de transmissão na faixa espectral de 0,7 a $3,0\mu\text{m}$. Por sugestão do fabricante, o fator de calibração do piranômetro IV é multiplicado por um fator de 0,92 para corrigir o efeito da transmissão da cúpula no sensor. A irradiância PAR (I_{PAR}) em W/m^2 utilizada neste trabalho foi obtida pelo método indireto, ou seja, pela diferença entre a irradiância I_G e a soma das irradiâncias I_{UV} e I_{IV} medidas na mesma frequência, por meio da equação: $I_{PAR} = I_G - (I_{UV} + I_{IV})$.

Na aquisição dos dados é utilizado um Datalogger da Campbell CR23X operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 300 leituras ou 5 minutos. Diariamente, as radiações diárias passam por um controle de qualidade onde são verificados se as irradiâncias médias de 5 minutos foram corretamente medidas no dia anterior e numa segunda etapa, as irradiâncias são processadas por programa específico de integrações calculando-se as radiações horária e diária G, UV, PAR e IV.

3. EVOLUÇÃO TEMPORAL DAS FRAÇÕES SOLARES UV/G, PAR/G E IV/G.

A base de dados das irradiações horária e diária é do período de 2001 a 2005. O intervalo diurno considerado nas integrações diário foi das 5:00h às 19:00h, para os cinco anos. As frações foram obtidas por meio das relações entre as radiações horárias e diárias UV/G, PAR/G e IV/G, para o período de 5 anos, totalizando 17890 frações horárias e 1687 frações diárias.

A fig. 2 mostra a evolução temporal das frações UV/G, PAR/G e IV/G no período de 2001 a 2003. A normalização das irradiações UV, PAR e IV pela irradiação G tornou as frações adimensionais e eliminou a dependência astronômica e geográfica, como declinação solar e latitude respectivamente, do local e do dia. Assim, a sazonalidade das frações é resultante das variações da cobertura de céu, ou seja, das variações das concentrações da nebulosidade, vapor d'água e aerossóis na atmosfera.

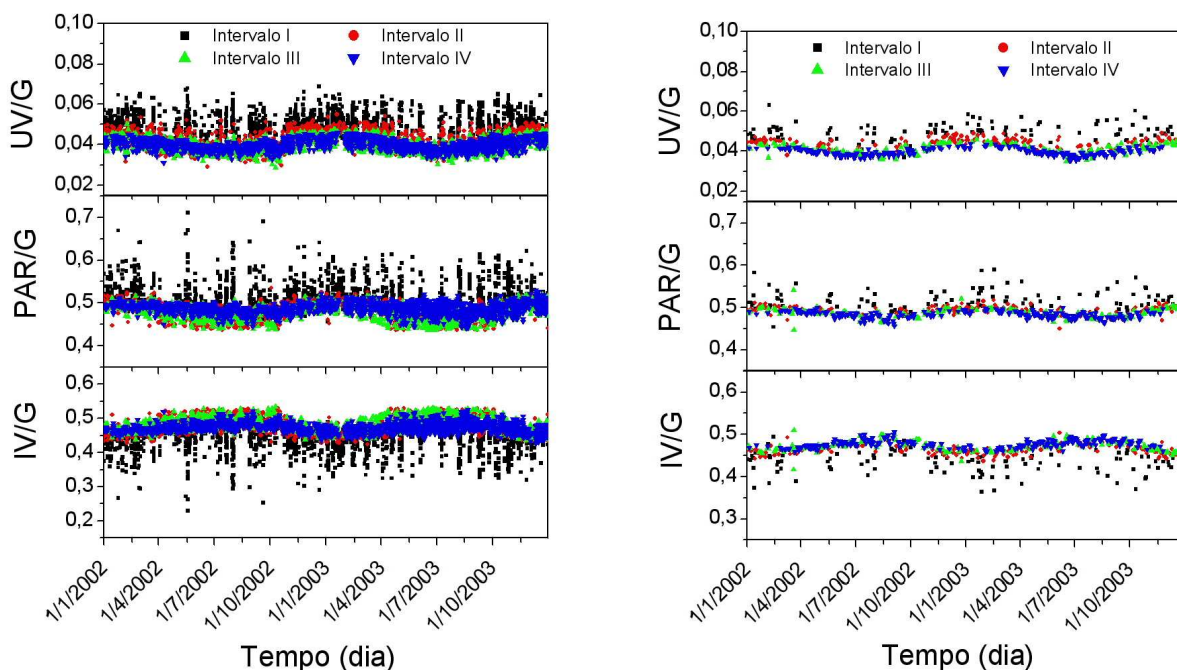


Figura 2 Evolução temporal das frações solares UV/G, PAR/G e IV/G entre os anos de 2001 2003 em Botucatu

Para facilitar a visualização e análise das variações em função das condições de céu, as frações UV/G, PAR/G e IV/G, foram separadas e estão apresentadas em intervalo de cobertura de céu (I, II, III e IV) em função da transmissividade da radiação global $K_t = G/G_0$, critério estabelecido por Escobedo et al. (2008), para os anos de 2002 a 2003, onde a cobertura I- representa céu nebuloso; II- céu parcialmente nublado com dominância de céu difuso; III- céu parcialmente nublado de dominância de céu claro e IV- céu claro sem nuvens.

A figura 2 mostra que os maiores valores das frações horárias UV/G e PAR/G e o menor valor da fração IV/G ocorreram na cobertura nebulosa, enquanto que, os menores valores das frações UV/G e PAR/G e o maior valor da fração na IV/G ocorreram nas coberturas parcialmente nubladas (II e III). Para as frações diárias, os maiores valores das frações UV/G e PAR/G e menor valor da fração IV/G ocorreram na cobertura nebulosa, enquanto que os menores valores das frações UV/G e PAR/G e o maior valor da fração IV/G ocorreram na cobertura de céu aberto.

As frações UV/G e PAR/G, evoluem em fase periodicamente no tempo como ondas e com amplitudes inversas a evolução da fração IV/G. Os valores das frações UV/G e PAR/G apresentam máximo e mínimo defasados de 180° em relação aos valores da evolução da fração IV/G. O efeito das nuvens e do vapor d'água, podem ser observadas nas variações das frações solares na forma de cascata: para as frações UV/G e PAR/G, a cascata é voltada pra cima, e as variações são no sentido dos menores para os maiores valores das frações. Para a fração IV/G, a cascata é voltada para baixo e as variações é no sentido da maior para a menor valor da fração.

Independentemente do tipo de cobertura de céu, os valores das frações UV/G e PAR/G são maiores e da fração IV/G menor no período chuvoso, de outubro até março, onde as concentrações de nuvens e vapor d'água são elevadas. As frações UV/G e PAR/G são menos elevadas e a fração IV/G mais elevada no período da seca, de abril até setembro, onde as concentrações de nuvens e vapor d'água são as mais baixas do ano (fig. 1). As frações UV/G, PAR/G são maiores e a fração IV/G são menores no verão, com valores máximo em janeiro e fevereiro, e as frações UV/G e PAR/G são menores, e a fração IV/G maior no inverno, com valor máximo em julho e agosto.

Na base total dos dados as frações horárias variaram percentualmente nos intervalos: UV/G de 2.7% a 6.9%. PAR/G de 42.7 % a 71.0% e IV/G de 23.0% a 54.0%. Similarmente, as frações diárias UV/G de 3.4% a 6.3%; PAR/G de 45.0% a 60.0% e IV/G, de 34.0% a 51.0%.

A fig. 3 mostra as variações das frações UV/G, PAR/G e IV/G em função da radiação G em Botucatu. A curva característica das frações UV/G e PAR/G em função da radiação G, é similar às obtidas em outros locais, como mostram os trabalhos de Martinez-Lozano et al (1994), Cañada et al. (2003), Jacovides et al. (2006) e Papaioannou et al. (1996). As frações UV/G e PAR/G são crescentes em função do decréscimo da radiação global G, sendo mais acentuado na cobertura de céu nebulosa, devido a absorção da radiação IV por vapor d'água, que faz a radiação G decrescer mais rapidamente que as radiações UV e PAR, aumentando conseqüentemente, os valores das frações UV/G e PAR/G. A fração IV/G é decrescente em função do decréscimo da radiação global G, sendo mais acentuado na cobertura de céu nebulosa, devido a absorção da radiação IV pelo vapor d'água (Escobedo et al. 2008).

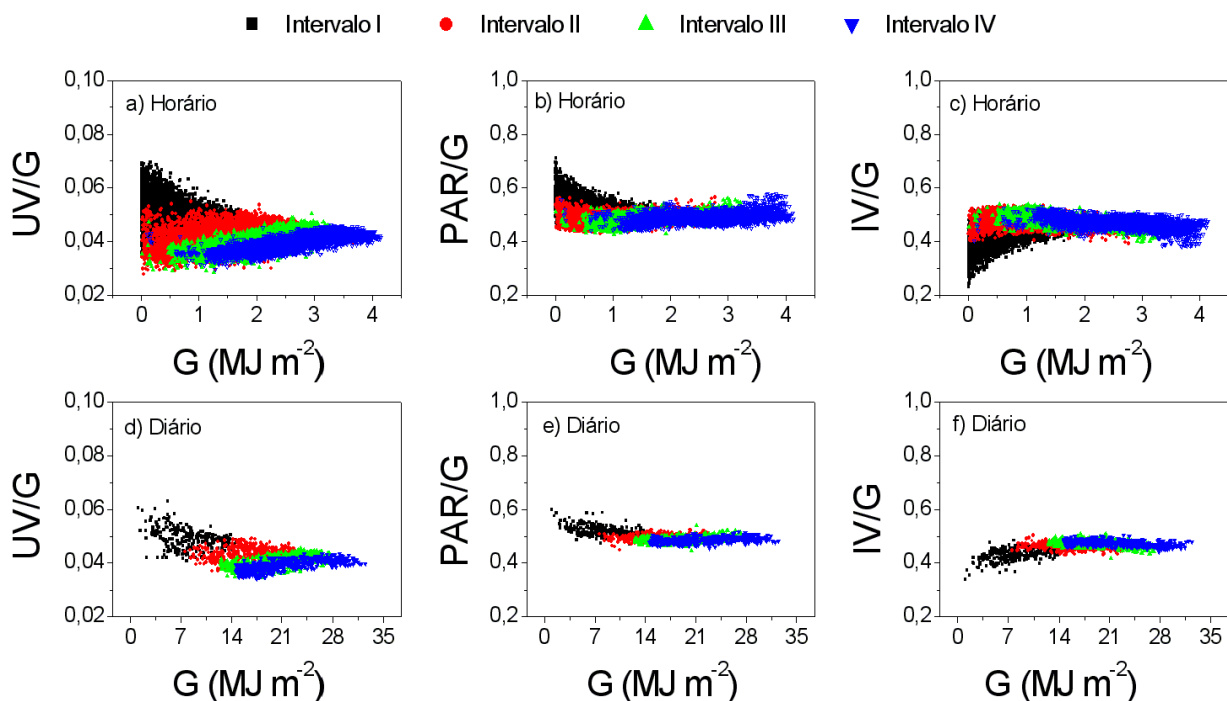


Figura 3 - Variações das frações UV/G, PAR/G e IV/G em função da radiação global nas 4 coberturas de céu

Se as coberturas de céu forem consideradas na análise pode-se quantificar os efeitos de nuvens e do vapor d'água nos intervalos de variações das frações UV/G, PAR/G e IV/G em função das variações da radiação global. As variações das frações horárias são mais acentuadas na sequência para as coberturas nublada, parcialmente nublada com dominância de céu difuso e parcialmente nublada com dominância de céu claro e céu claro.

Na cobertura de céu nublada (I), o efeito da nuvem é responsável pelos maiores intervalos de variações das frações UV/G, PAR/G e IV/G. Para uma variação decrescente da radiação global horária de 1.92 MJ/m^2 a 0.002 MJ/m^2 , as frações horárias variaram de UV/G de 3.3% a 7.0%, a PAR/G de 44.6% a 71.1% e IV/G de 51.6% a 23.0%; na cobertura parcialmente nublada com dominância de céu difuso (II), para uma variação decrescente da radiação global de

2.77MJ/m² a 0.002MJ/m², as frações variaram de UV/G de 2.8% a 5.5%, a PAR/G de 43.0% a 56.5% e a IV/G de 53.4% a 39.0%; e na cobertura parcialmente nublada com dominância de céu claro(III), para uma variação decrescente da radiação global de 3.27MJ/m² a 0.42MJ/m², as frações variaram de UV/G de 2.85% a 5.0%, a PAR/G de 43.0% a 56.% e IV/G de 54.0% a 40.0%.

Similarmente as variações das frações diárias UV/G, PAR/G e IV/G em função das variações da radiação global foram: na cobertura de céu nublado (I), para a radiação global decrescendo de 14.73MJ/m² a 1.05MJ/m², as frações variaram de UV/G de 4.0% a 6.0%, a PAR/G de 47.0% a 60.0% e IV/G de 48.0% a 34.0%. Na cobertura parcialmente nublada com dominância para céu difuso (II), para variação decrescente da radiação global de 23.3MJ/m² a 7.6MJ/m², as frações variaram de UV/G de 3.0% a 5.0%, a PAR/G de 45.0% a 52.0% e IV/G de 50.0% a 43.0%. Na cobertura parcialmente nublada com dominância para céu claro (III), para variação decrescente da radiação global de 27.7MJ/m² a 12.53MJ/m², as frações variaram de UV/G de 3.0% a 5.0%, a PAR/G de 45.0% a 54.0% e IV/G de 51.0% a 42.0%.

Na cobertura de céu aberto, o efeito do vapor d'água em contraste a cobertura de céu nebuloso, é responsável pelos menores intervalos de variações das frações UV/G, PAR/G e IV/G. Para uma variação decrescente da radiação horária global de 4.15MJ/m² a 0.60MJ/m², os intervalos de variações das frações horárias foram: UV/G de 2.95% a 4.60%, a PAR/G de 44.0% a 58.% e IV/G de 53.0% a 38.0%. Similarmente, para uma variação decrescente da radiação global diária de 32.5MJ/m² a 14.6MJ/m², as frações variaram de: UV/G de 3.0% a 4.0%, a PAR/G de 46.0% a 52.% e IV/G de 51.0% a 44.0%.

Assim, os intervalos de variações das frações horárias UV/G, PAR/G e IV/G em função das quatro cobertura mostram que: as maiores frações horária UV/G e PAR/G e menor fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu nublado (I), enquanto que, as menores frações horárias UV/G e PAR/G ocorreram nas coberturas parcialmente nublada (II e III) e a maior fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu nublado (I). Os intervalos de variações das frações diárias mostram que: as maiores frações diárias UV/G e PAR/G e menor fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu nublado (I), enquanto que, as menores frações diárias UV/G e PAR/G e a maior fração diária IV/G ocorreram na cobertura de céu aberto (IV).

No geral, as frações médias total foram: frações horárias $\overline{UV/G}=0.043 \pm 0.01$; $\overline{PAR/G}=0.50 \pm 0.03$ e $\overline{IV/G}=0.460 \pm 0.03$, enquanto as frações diárias $\overline{UV/G}=0.42 \pm 0.01$; $\overline{PAR/G}=0.50 \pm 0.02$ e $\overline{IV/G}=0.46 \pm 0.02$

4. CORRELAÇÕES DAS RADIAÇÕES UV, PAR, IV E A RADIAÇÃO G.

Para a obtenção das equações de estimativas das radiações utilizou-se o período de 2001 a 2004 com 14036 radiações horárias e 1359 radiações diárias, e na validação, o período de 2005, num total de 3852 radiações horárias e 328 radiações diárias. As correlações mensais foram obtidas com agrupamentos dos dados das radiações UV, PAR, IV e G total de cada mês, e as correlações total com agrupamentos dos dados no período total dos anos.

4.1 Equações de Estimativa Mensal e Total.

Na tab. 1 é apresentada os coeficientes angulares das correlações mensais e correlações total das radiações horária e diária UV, PAR e IV em função de G, e na fig. 4 é mostrada as curvas de regressão ajustada as correlações para os meses de janeiro e agosto. Os meses de janeiro e agosto foram escolhidos para essa exemplificação por representarem os meses mais úmido e nebuloso, contra o mais seco e o menos nebuloso do ano.

Tab. 1 Coeficientes angulares das correlações mensais e total das radiações UV, PAR e IV em função de G

	UV		PAR		IV	
	Horário	Diário	Horário	Diário	Horário	Diário
	Coeficiente Angular	Coeficiente Angular	Coeficiente Angular	Coeficiente Angular	Coeficiente Angular	Coeficiente Angular
Janeiro	0.044	0.044	0.498	0.497	0.458	0.459
Fevereiro	0.043	0.043	0.499	0.512	0.458	0.444
Março	0.042	0.042	0.495	0.493	0.463	0.464
Abril	0.041	0.041	0.49	0.489	0.47	0.47
Maio	0.04	0.04	0.489	0.487	0.471	0.473
Junho	0.038	0.038	0.489	0.485	0.473	0.476
Julho	0.038	0.038	0.486	0.483	0.476	0.479
Agosto	0.039	0.039	0.478	0.476	0.483	0.485
Setembro	0.04	0.04	0.478	0.477	0.482	0.483
Outubro	0.041	0.041	0.485	0.484	0.474	0.475
Novembro	0.043	0.042	0.495	0.494	0.462	0.463
Dezembro	0.044	0.043	0.499	0.498	0.457	0.458
Total	0.042	0.042	0.491	0.490	0.467	0.469

As distribuições das frações dos meses de janeiro e agosto mostram que o efeito da cobertura de céu é acentuado para a radiação UV e moderado para as radiações PAR e IV. A correlação da radiação UV com G nas duas partições apresenta a maior dispersão, comparado às correlações da PAR e IV, cujas dispersões são quase iguais. A maior dispersão se justifica, porque no mês de janeiro, as concentrações da nebulosidade e vapor d'água são as maiores do ano, o que torna as frações UV/G mais elevadas tendendo ao seu limite máximo, em contrapartida, no mês de agosto, a nebulosidade e vapor d'água são as menores do ano, tornando a frações UV/G mais baixa do ano. Para a fração PAR/G e IV/G, o efeito da nebulosidade e vapor d'água é similar nos dois meses, não houve muita diferença nas dispersões. A fração PAR/G é mais elevada em janeiro que agosto, enquanto que a fração IV/G é mais elevada em agosto que janeiro.

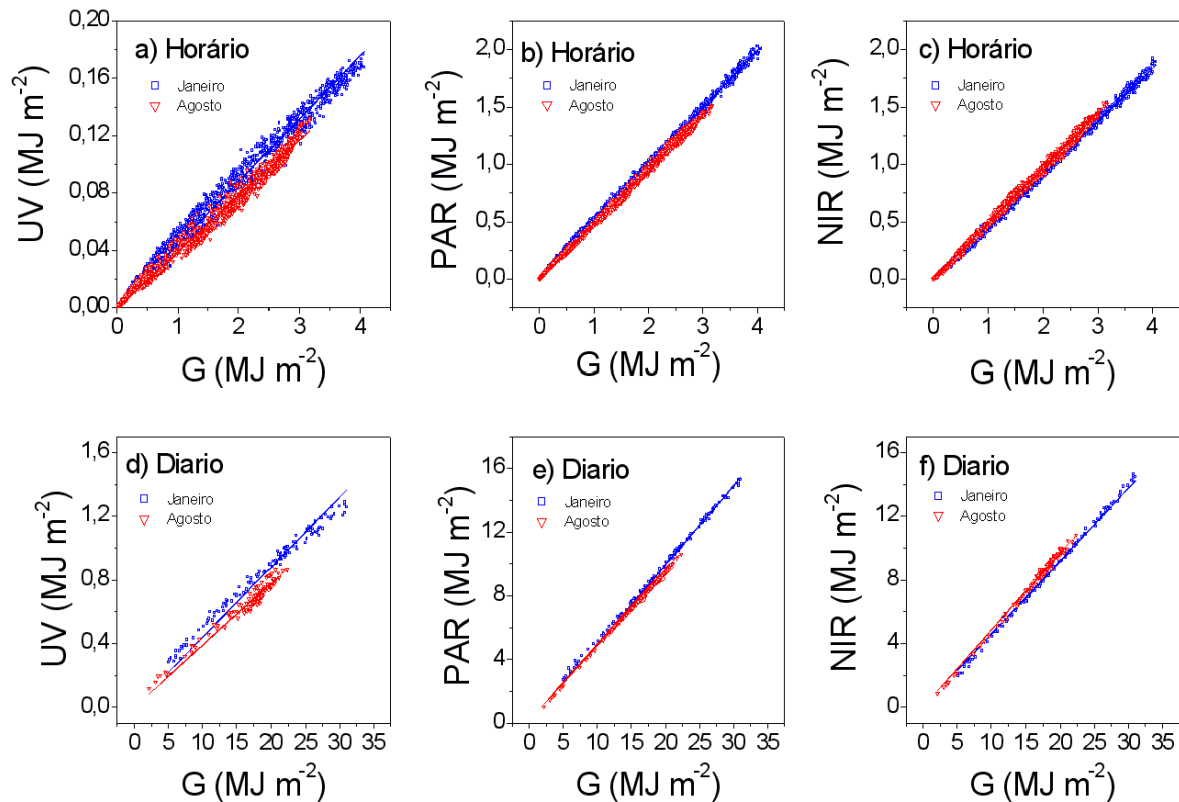


Figura 4 – Curvas de Regressão das radiações UV, PAR e IV em função de G para os meses de janeiro e agosto

Na fig. 5 são apresentadas as evoluções dos coeficientes angulares das regressões lineares mensais e os coeficientes angulares das regressões lineares total. Como as equações de regressão lineares foram forçadas a passarem pela origem, os coeficientes angulares mensais e totais representam as frações médias UV/G, PAR/G e IV/G dos meses e totais.

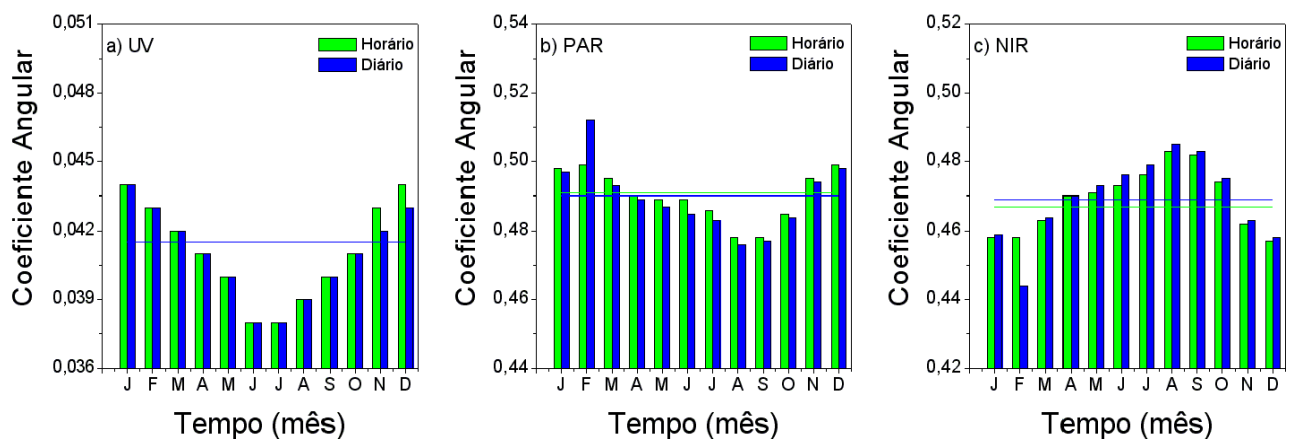


Figura 5 – Coeficientes angular mensais e total das equações de estimativas radiações UV, PAR e IV em função de G.

Os coeficientes angulares das correlações mensais, quase não variaram quanto à partição: o coeficiente angular horário da radiação UV foi aproximadamente igual ao diário na grande maioria dos meses, com exceção de novembro e dezembro, em que o coeficiente angular horário foi 0.1% superior ao diário; o coeficiente angular horário IV foi pouco menor que o diário na grande maioria dos meses, a exceção do mês de fevereiro.

Os valores dos coeficientes angulares mensais para as radiações UV, PAR e IV, dependeram basicamente das concentrações de vapor d'água e nebulosidade de cada mês. Em relação ao vapor d'água, os coeficientes angulares mensais evoluíram proporcionalmente à evolução mensal da umidade relativa (fig. 1), e foram mais elevados 4.4%, nos meses mais úmidos, como janeiro e dezembro, e menos elevados 3.8% nos meses mais secos, como julho e agosto. O coeficiente angular da PAR foi mais elevado (51.2%) no mês mais úmido como fevereiro e menor (47,6%) no mês mais seco em agosto. Os coeficientes angulares das correlações mensais IV evoluíram inversamente a evolução mensal da umidade relativa, com menores valores 44.0% nos meses mais úmidos como janeiro e dezembro, e o maior valor de 48.5% no mês mais seco em agosto.

Os coeficientes angulares das correlações mensais UV/G, PAR/G e IV/G variaram em função das condições de cobertura de céu, como mostram os percentuais do número das horas e dias nebulosos, com $K_t < 0.55$ (soma das horas e dias nas coberturas I e II) e os percentuais do número das horas e dias ensolarados com $K_t > 0.55$ (soma das horas e dias nas coberturas III e IV), em cada mês. (fig. 6a e 6b). Para o mês de maio, os percentuais do número das horas e dias nebulosos, e os percentuais do número das horas e dias ensolarados foram atípicos e superiores aos valores dos demais meses das evoluções. A razão dessa anomalia foi a entrada das frentes frias no mês de maio nos anos de 2001, 2002 e 2004, que aumentaram muito nebulosidade em relação à média climática deste mês. Nesses anos, as frentes frias se anteciparam para maio, visto que, normalmente, o mês de junho é o que possui a maior nebulosidade (fig. 1).

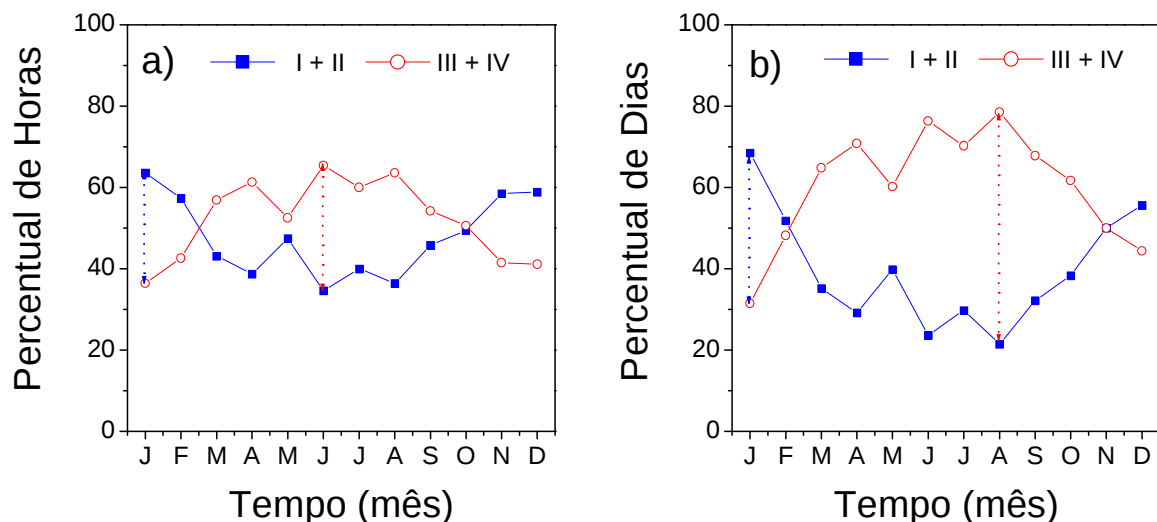


Figura 6 Percentuais do número das horas e dias nebulosos com $K_t < 0.55$ e os percentuais do número das horas e dias ensolarados com $K_t > 0.55$, em cada mês nas duas partições.

Os maiores valores dos coeficientes angulares UV e PAR, e o menor valor do coeficiente angular IV foram obtidos nos meses mais úmidos e na condição da maior diferença entre o número de horas com nuvens (soma das coberturas I + II) e número de horas sem nuvens (soma das coberturas III + IV). O percentual horário com nuvens foi de 63.6% contra 36.4% sem nuvens. Similarmente, o percentual diário foi de 68.5% com nuvens contra 31.5% sem nuvens. Os menores coeficientes angulares UV e PAR, e os maiores coeficientes angulares IV foram obtidos nos meses mais secos e na condição da maior diferença entre o número de horas sem nuvens (soma das coberturas III + IV) e com nuvens (soma das coberturas I + II) com percentuais de 63.3% contra 36.4%. Similarmente, percentuais diários de 78.5% sem nuvens contra 21.5% com nuvens.

A comparação entre os coeficientes angular horário e diário das correlações mensais e os coeficientes das correlações total observado na fig. 7, por meio dos desvios percentuais calculados pela expressão: Desvio Relativo (%) = (coeficiente angular das correlações total - coeficiente angular das correlações mensais / coeficiente angular das correlações total) x 100, expressam a capacidade das equações totais superestimar ou subestimar as equações mensais nas estimativas das radiações UV, PAR e IV.

Para a radiação UV, horária e diária, nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, as equações de correlação total subestimaram as equações mensais em até - 6.0%. Para a radiação PAR, as equações de correlação total subestimaram as equações mensais até 1.6% na horária e -4.5% na diária.

Para a radiação IV, as equações de correlação total superestimaram as equações correlações mensais até 2.0% na diária e 5.3% na diária. Para a radiação UV, horária e diária, nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, as equações de correlação total superestimaram as correlações mensais em até 8.4%.

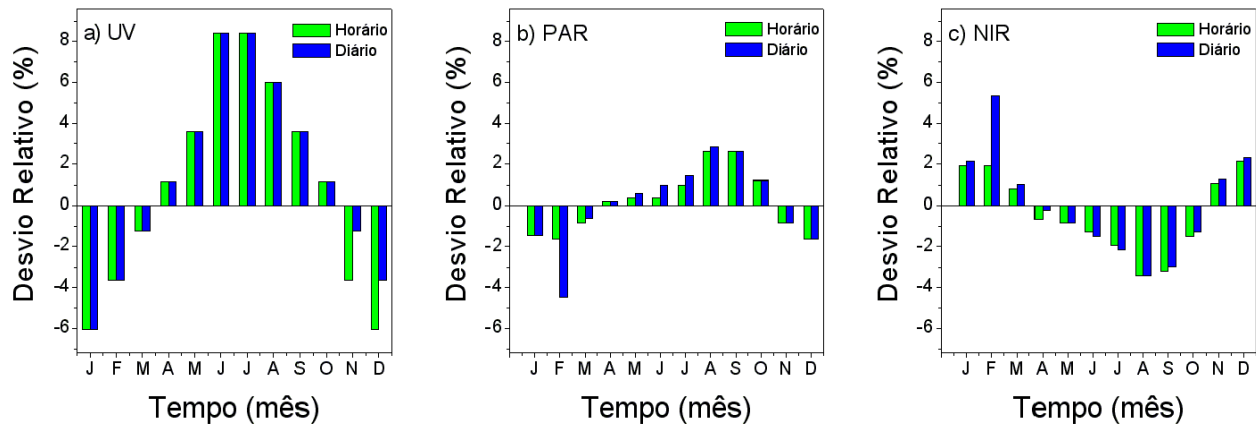


Figura 7-Desvio relativo entre coeficiente angular das correlações total e o coeficiente angular das correlações mensais

Para a radiação PAR, as correlações total, superestimaram as equações correlações mensais até 2.6% na horária e - 2.9% na diária. Para radiação IV, horária e diária, as equações de correlações total subestimaram as equações correlações mensais em até 3.4%.

O coeficiente de determinação horário e diário próximo de 100% da variância total, expressa a ótima correlação linear entre as radiações PAR, IV, UV e G (fig 8). O coeficiente de determinação R^2 variou quanto à partição, mês e radiações: 1- foram pouco mais elevados nas correlações horária que na diária para as três componentes; 2- entre as radiações os ajustes foram melhores na sequência para PAR, IV e UV e 3- entre os meses, o coeficiente de determinação para UV foi mais elevado nos meses mais úmido e nebuloso, como janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, e menos elevados nos meses secos e ensolarados como julho, agosto e setembro.

Para a radiação PAR e IV os ajustes foram elevados na grande maioria dos meses do período chuvoso com exceção de alguns meses como fevereiro e dezembro.

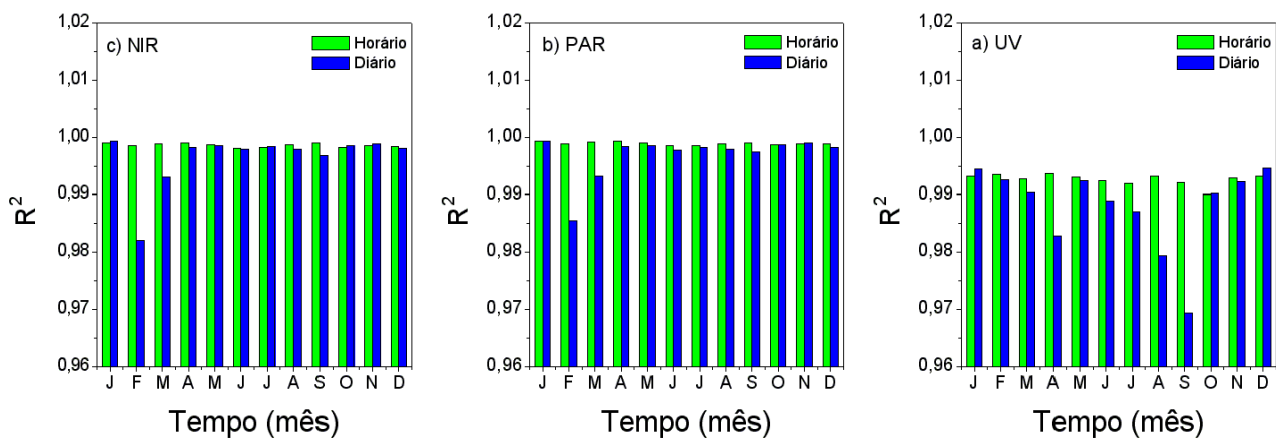


Figura 8 - Coeficiente de Determinação das equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV em função de G

A figura 9 mostra a comparação das frações médias mensal UV/G em Botucatu, no hemisfério sul, e as frações médias mensal, horária e diária, para outros locais no hemisfério norte, com diferentes condições climáticas, como cidades de Kuwait e Cairo na península arábica, de Valência e Córdoba na Espanha, Athalassa em Cyprus e Kwangju na Coreia do Sul.

Os mais baixos valores da fração UV estão associadas à presença aerossóis (poeira, poluição do ar) e os mais elevados UV estão associadas a presença de grandes quantidades de vapor d'água na atmosfera. Entretanto, as evoluções das frações médias mensais da UV variando de 2.9% a 3.5% e 4.4% a 5.0% obtidas em Valencia, por Martinez-Lozano *et al.* (1994) (Valencia-1) entre os anos 1991 a 1996 e Cañada *et al.* (2002) (Valencia-2), entre os anos 1996 a 1998 respectivamente, indicam que além da presença de aerossóis e o vapor d'água na atmosfera, pode ter existido outros fatores que influenciam no valor da fração UV, como por exemplo: proximidade de mar, eventos climáticos na época das medidas e problemas de natureza instrumental.

O valor das frações média mensais horárias UV/G em Botucatu (3.8% a 4.4%) são superiores aos valores das frações medias mensais horárias UV/G (2.9% a 3.5%) obtido em Valencia-1 em todos os meses do ano e aos valores UV/G (2.92% a 3.95%) obtidos em Athalassa em quase todos os meses, a exceção de setembro. O intervalo de variação em Botucatu foi inferior ao intervalo da frações (6.9% a 8.5%) de Kwangju, em todos os meses do ano.

As frações média mais elevada obtida em Valencia-1 no outono (setembro e outubro) e em Athalassa no período chuvoso, são da mesma ordem de grandeza das frações obtidas no período seco no inverno (julho e agosto) em Botucatu. Esses resultados indicam que a atmosfera em Valencia-1 e Athalassa, mesmo próximo do mar onde a umidade é alta, apresentam concentrações elevadas de aerossóis ao longo de todo o ano, cujo efeito é dominante na atenuação por espalhamento e a absorção da radiação UV.

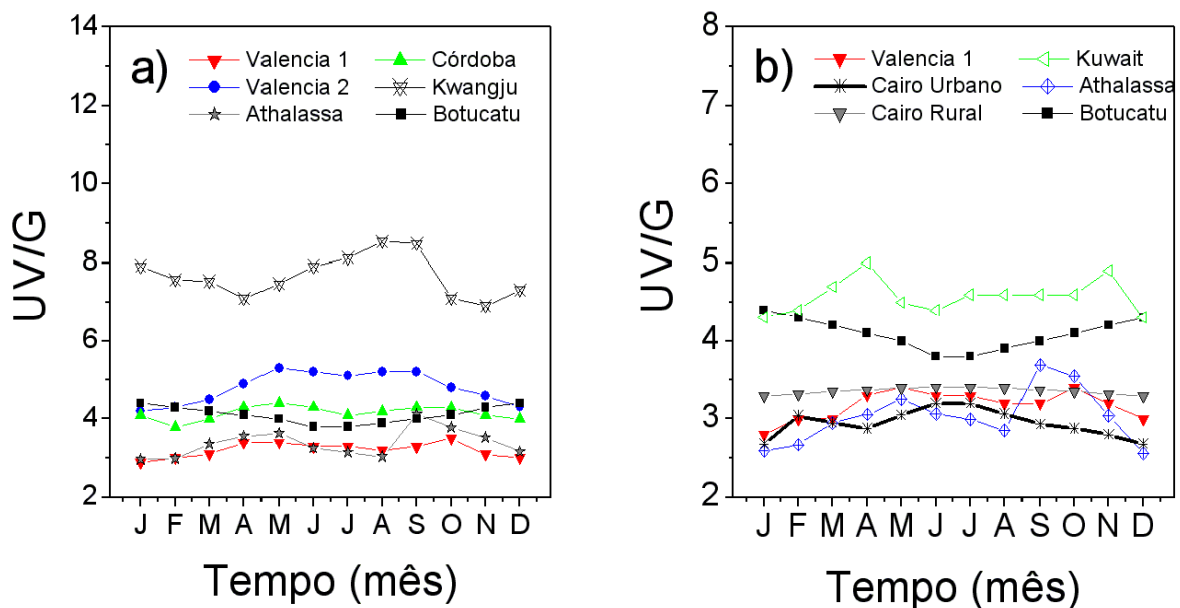


Figura 9 – Evolução das frações media mensais UV, horária e diária para locais com diferentes climas.

Em função da diferença dos hemisférios, evolução da fração média mensal UV/G em Botucatu no hemisfério Sul, é aproximadamente inverso das evoluções em Valencia-2 e Córdoba no hemisfério Norte. A fração UV/G em Botucatu decresceu sistematicamente de janeiro a julho e cresceu de agosto a dezembro. Enquanto que em Valencia e Córdoba, as evoluções não são sistemáticas como Botucatu, porém a evolução da fração UV/G é crescente de janeiro/fevereiro até maio, onde permaneceu aproximadamente constante até setembro, e decrescente até a dezembro. A cidade de Valencia por sua proximidade de mar apresenta frações médias mensais UV/G mais elevada que Córdoba em todos os meses do ano.

As frações UV/G em Botucatu foram praticamente iguais nos meses janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, e menores nos demais meses, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, que Valencia-2. A igualdade das frações em alguns meses indica mesmas condições de cobertura céu quanto a nuvens, vapor d'água e aerossóis, nas duas cidades. Nos demais meses, as frações de Valencia-2 foram superiores a Botucatu, devido a maior concentração de vapor d'água, na atmosfera local. As frações UV/G em Botucatu foram superiores as frações de Córdoba nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, e inferiores nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto. Em setembro foram aproximadamente iguais. O resultado é normal, tendo em vista, que o período chuvoso e úmido de Botucatu coincide com o período seco de Córdoba, enquanto que, o período seco de Botucatu coincide com o período úmido de Córdoba.

O valor diário das frações media mensais UV/G em Botucatu (3.8% a 4.4%) são superiores em todos os meses do ano aos valores das frações media mensais UV/G (2.9% a 3.5%) em Valencia-1; a fração media mensal UV/G (2.56% a 3.69%) em Athalassa; a fração media mensal UV/G (3.3% a 3.41%) em Cairo rural e as frações medias mensais UV/G (2.68% a 3.2%) em Cairo Urbano. A fração media mensal UV/G em Botucatu (3.8% a 4.4%) são inferiores na grande maioria dos meses do ano aos valores das frações medias mensais UV/G (4.3% a 4.9%) obtido Kuwait, com exceção dos meses de Janeiro, fevereiro e dezembro, os quais foram iguais.

4.1 Validação das equações de Estimativa Mensal e Total.

Os indicadores estatísticos utilizados na avaliação do desempenho das equações de estimativa mensal horária, diária foram MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error), e "d". O indicativo MBE representa o desvio das médias. Valores negativos de MBE indicam subestimativa do modelo testado, e vice-versa. Segundo Stones (1993), quanto menor os valores absolutos de MBE, melhor é o desempenho do modelo testado. O RMSE é a raiz quadrada do erro quadrático médio e informa sobre o valor real do erro produzido pelo modelo. Em geral, quanto menor o valor obtido para RMSE, melhor desempenho do modelo. O índice de ajustamento "d" variando de 0 a 1 representa o total desajustamento e ajustamento, entre a estimativa e a medida (Willmott 1981).

A utilização dos indicadores estatísticos MBE, RMSE e índice de ajustamento “d”, em conjunto é a alternativa adequada para validação de modelos estatísticos porque permite análise simultânea do desvio da média, identificando a ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento do modelo em relação as medidas.

Os parâmetros estatísticos MBE, RMSE e d obtidos estão indicados na fig. 11. O indicativo MBE dos valores horário e diário UV, PAR e UV variaram mês a mês. Os valores de MBE mensais foram melhores na sequência para as radiações PAR, IV e UV: para a radiação UV, os modelos horário e diário, superestimaram a medida em 9 meses e subestimaram a medida em três meses (janeiro, outubro e novembro), num intervalo de variação entre -4.66 % e 10.5%; para a radiação PAR, os modelos horário e diário subestimaram a medida em todos os meses, num intervalo de variação entre -5.27% e 0.26%. Para a radiação IV, o modelo horário superestimou a medida em 11 meses e subestimou a medida apenas no mês de agosto, num intervalo total de variação entre -0.48 % e 6.05%, enquanto que o modelo diário, superestimaram a medida em 9 meses e subestimaram a medida em três meses (fevereiro, maio e agosto), numa variação entre -3.05 % e 4.98%.

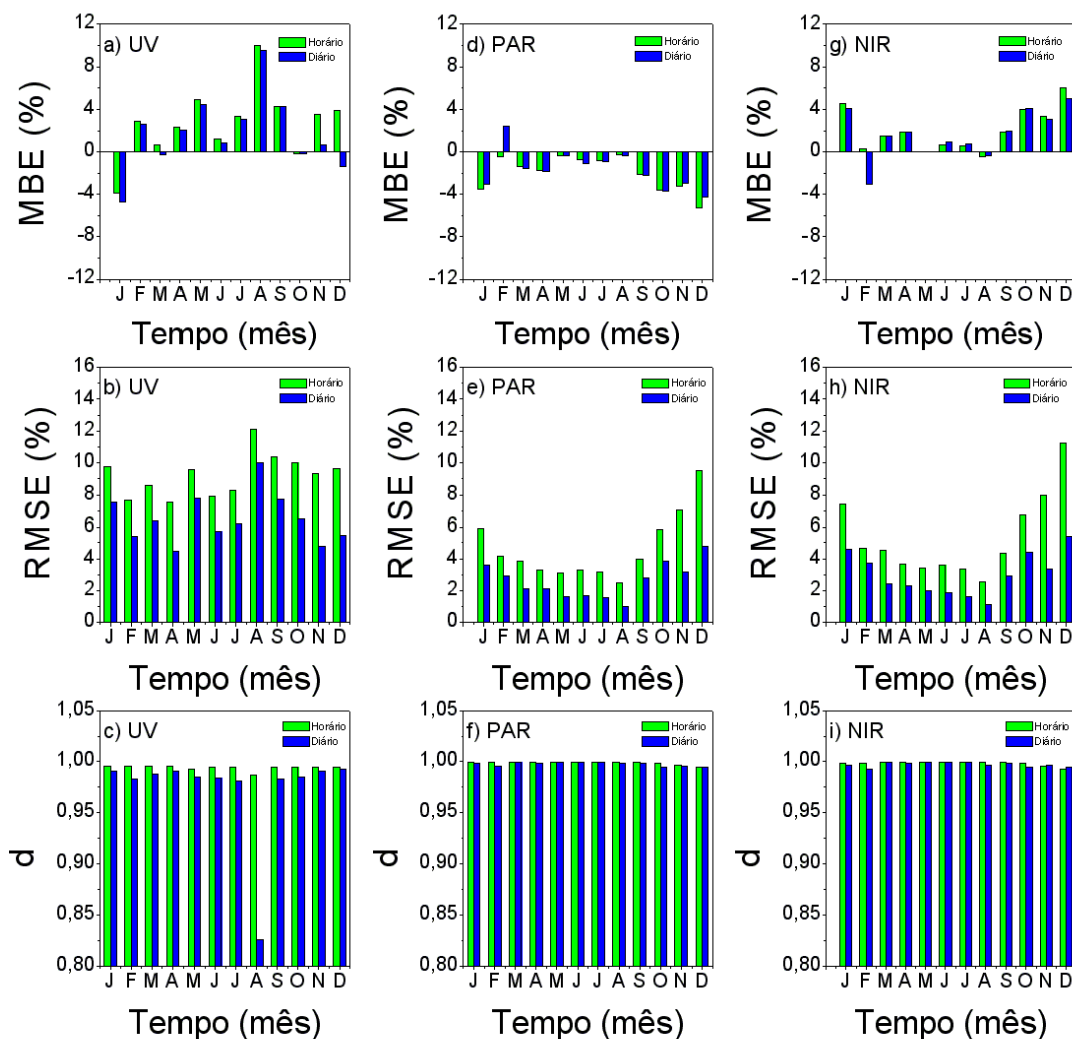


Figura 10 - Indicativos estatísticos MBE, RMSE e d obtidos na validação das equações de estimativas UV, PAR e IV.

Os valores de RMSE mensais também foram melhores para as radiações na sequência PAR, IV e UV. Os valores horários de RMSE variaram de 2.45% a 9.51 % para PAR; de 2.54% a 11.23% para IV e 7.56% a 12.12 % para UV. O RMSE, os valores diários variaram de 1.02% a 4.74% para PAR, de 1.1% a 5.45% para IV e 4.43% a 10.04% para UV. Assim, o desempenho do modelo mensal para valores diários foi melhor que para valores horários das radiações PAR, IV e UV. O índice de ajustamento próximo de 1 ($d \approx 1$), na grande maioria dos meses, indica que houve concordância entre as estimativas do modelo mensal para valores horários e diários de UV, PAR e IV e as medidas.

Uma análise dos indicadores estatísticos MBE, RMSE e d na fig. 10, mostra que para a radiação UV, os valores de MBE e RMSE foram mais elevados e o valor do índice de ajustamento d foi mais baixo no mês de agosto o mais seco e ensolarado do ano. Para a radiação IV horária, os valores de MBE e RMSE foram mais elevados e o valor de d mais baixo, nos meses mais chuvosos e úmidos, como dezembro e janeiro.

Os meses de agosto e dezembro de 2005 podem ter sido dois meses atípicos em relação às queimadas da cana de açúcar e a alta concentração de vapor d'água na atmosfera, respectivamente. Em agosto de 2005, muito provavelmente, a queimada da cultura de cana de açúcar, foi mais intensa que nos agosto dos demais anos, aumentando a concentração de

aerossóis e reduzindo por espalhamento e absorção, mais acentuadamente, os valores diários da UV. Enquanto que, em dezembro de 2005, a causa principal pode ter sido as maiores precipitações diurnas e concentração do vapor d'água, que nos meses de 2001 a 2004, absorveram mais acentuadamente os valores horários da IV em 2005. O baixo valor do índice de ajuste d na validação é estatístico, e deu-se em função do desvio de tendência, ou falta de paralelismo, entre os modelos de estimativas e as medidas das radiações UV e IV em agosto e dezembro 2005 respectivamente.

5. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi analisar sazonalmente as variações das frações solares UV/G, PAR/G e IV/G e desenvolver equações lineares mensais para estimativas das radiações horária e diária UV, PAR e IV a partir da radiação global. Para a base total dos dados as frações horárias variaram nos intervalos: UV/G de 2.7% a 6.9% ; PAR/G de 42.7 % a 71.0% e IV/G de 23.0% a 54.0% . Similarmente, as frações diárias variaram UV/G de 3.4% a 6.3%; a PAR/G de 45.0% a 60.0% e a IV/G de 34.0% a 51.0%.

Evolução temporal mostrou para as coberturas de céu nublado, parcialmente nublado e aberto, que os valores das frações UV/G e PAR/G são maiores e da fração IV/G menor no período chuvoso, de outubro até março, onde as concentrações de nuvens e vapor d'água são elevadas, enquanto que, as frações UV/G e PAR/G são menos elevadas e a fração IV/G mais elevada, no período da seca, de abril até setembro, onde as concentrações de nuvens e vapor d'água são as mais baixas do ano. Sazonalmente, os valores das frações UV/G, PAR/G decrescem e fração IV/G cresce, no sentido outono-inverno, enquanto que, os valores frações UV/G, PAR/G crescem e fração IV/G decresce, no sentido do primavera-verão.

No geral, a cobertura nebulosa ou presença de nuvens é responsável pelas maiores variações das frações UV/G, PAR/G e menores intervalos de variação da fração IV/G: as frações horárias variaram de UV/G de 3.3% a 7.0%, a PAR/G de 44.6% a 71.1% e IV/G de 51.6% a 23.0%, enquanto que as frações diárias variaram de UV/G de 4.0% a 6.0%, a PAR/G de 47.0% a 60.0% e IV/G de 48.0% a 34.0%.

Em contraste, na cobertura de céu aberto o vapor d'água é responsável pelas menores variações das frações UV/G, PAR/G e maior variação da fração IV/G: as frações horárias foram: UV/G de 2.95% a 4.60%, a PAR/G de 44.0% a 58.0% e IV/G de 53.0% a 38.0%, enquanto que as frações diárias foram de: UV/G de 3.0% a 4.0% , a PAR/G de 46.0% a 52.0% e IV/G de 51.0% a 44.0%.

Assim, os intervalos de variações das frações horárias nas quatro coberturas mostram que: as maiores frações horária UV/G e PAR/G e menor fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu nublado(I), enquanto que, as menores frações horárias UV/G e PAR/G ocorreram nas coberturas parcialmente nublada(II e III) e a maior fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu nublado(I). Similarmente, os intervalos de variações das frações diárias mostram que: as maiores frações horária UV/G e PAR/G e menor fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu nublado(I), enquanto que, as menores frações horárias UV/G e PAR/G e a maior fração horária IV/G ocorreram na cobertura de céu aberto(IV).

As equações de estimativa mensais passando pela origem obtidas mostram que as radiações UV, PAR, IV estão bem correlacionadas linearmente com a radiação G, com coeficientes de determinação próximo de 1(hum). Os coeficientes angulares ou frações médias mensais UV/G e PAR/G variaram proporcionalmente e IV/G inversamente, a umidade relativa e da nebulosidade, em cada mês. Para UV, o coeficiente angular variou de 4.4% (janeiro e dezembro) a 3.8% (meses de julho e agosto); a PAR variou de 51.2%(fevereiro) a 47.6%(agosto). A fração média mensal IV/G variou 44.0% no mais úmido (janeiro) a 48.5% no mês mais seco(agosto).

Os indicadores estatísticos MBE e RMSE inferiores a 10.0% e d superior a 0.86 obtidos na validação das equações de estimativas mostram que o modelo linear se ajustou as medidas, superestimando ou subestimando, com baixo nível de espalhamento. Os indicadores estatísticos MBE, RMSE e d para a radiação UV menos favoráveis ocorreu no mês de agosto, o mais seco do ano, enquanto que, para a radiação IV horária, os valores de MBE e RMSE ocorrem nos meses mais úmidos, como dezembro e janeiro.

Agradecimentos: à FAPESP, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro do projeto.

REFERÊNCIAS

- Al-Aruri, S. Rasas, M. Al-Jamal, K. Shaban, N. 1988. An assessment of global UV solar radiation in the range (0.290-0.385 μ m) in Kuwait. Solar Energy, vol. 41, pp. 159-162.
- Blackburn, W.J. Proctor, J.T.A. 1983. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. Solar Energy, vol. 31, pp. 233-234.
- Bolsenga, S.J. 1997. Near Infrared Radiation in Northern Greenland. Journal Applied Meteorology, vol. 6, pp. 449-451.
- Cañada, J. Pedros, G. Bosca, J.V. 2003. Relationships between UV (0.290-0.385 μ m) and broad band solar radiation hourly values in Valencia and Córdoba, Spain. Energy, vol. 28, pp.199-217.
- Escobedo, J.F. Gomes, E.N. Oliveira, A.P. Soares, J. 2006. Radiações solares UV, PAR e IV: I-Estimativa em função da global. Avances en energías renovables y medio ambiente, v. 10, pp. 79-86.
- Escobedo, J.F. Gomes, E.N. Oliveira, A.P. Soares, J. 2006. Radiações Solares UV, PAR e IV: II-Estimativa das frações em função de Kt. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 10, pp. 87-94.

- Escobedo, J.F. Gomes, E.N. Oliveira, A.P. Soares, J. 2007. Frações solares Kuv, Kpar e Kiv: análise variacional e equações de estimativa em função de kt. in: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 1, 2007, Fortaleza, CE. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar, CD-ROM.
- Escobedo, J.F. Gomes, E.N. Oliveira, A.P. Soares, J. 2008. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. Applied Energy, DOI: 10.1016/j.apenergy.2008.04.013.
- Finch, D.A. Bailey, W.G. Mcarthur, L.J.B. Nasitwitwi, M. 2004. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. Agricultural and Forest Meteorology vol. 122, pp. 229-238.
- Jacovides, C.P. Assimakopoulos, V.D. Tymvios, F.S. Theophilou, K. Asimakopoulos, D.N. 2006. Solar global UV (280-380nm) radiation and its relationship with solar global radiation measured on the island of Cyprus. Energy, vol. 31, pp. 2728-2738.
- Jacovides, C.P. Tymvios, F.S. Papaioannou, G. Asimakopoulos, D.N. Theofilou C.M. 2004. Ratio of PAR to broadband solar radiation measured in Cyprus. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 121, pp.135-140.
- Jacovides, C.P. Tymvios, F.S. Assimakopoulos, V.D. Katsounides, N.A. 2007. The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. Agricultural and Forest Meteorology, vol.143, pp.277-287.
- Martinez-Lozano, J.A. Casanovas, A.J. Utrillas, M.P. 1994. Comparison of global UV (290 -385 nm) and global irradiation measured during the warm season in Valencia, Spain. International Journal of Climatology, vol. 14, pp. 93-102.
- Martinez-Lozano, J.A. Tena, F. Utrillas, M.P. 1999. Ratio of UV to global broad band irradiation in Valencia, Spain. International Journal of Climatology, vol. 19, pp. 903-111.
- Ogunjobi, K.O. Kim, Y.J. 2004. Ultraviolet (0.280-0.400 μm) and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of their correlation with aerosol optical depth and clearness index. Atmospheric Research, vol. 71, pp. 193-214.
- Papaioannou, G. Nikolidakis, G. Asimakopoulos, D. Retalis, D. 1996. Photosynthetically active radiation in Athens. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 81, pp. 287-298.
- Rao, C.R.N. 1984. Photosynthetically active components of global solar radiation: measurements and model computations. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, vol. 34, pp. 353-64.
- Robaa, S.M. 2004. A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. Solar Energy, vol. 77, pp. 251-259.
- Stanhill, G. Fuchs, M. 1977. The relative flux density of photosynthetically radiation. Journal of Applied Ecology 1977, vol. 14, pp.317-322.
- Stigter, C.J. Musabilha, M.M. 1982. The conservative ratio of photosynthetically active to total radiation in the tropics. Journal of Applied Ecology, vol. 19, pp. 853-858.
- Willmott, C.J. On the validation of models. Physical Geography, vol. 2, pp. 184-194.
- Zhang, X. Zhang, Y. Zhou, Y. 2000. Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. Agricultural Meteorology, vol. 102, pp. 207-212.

MONTHLY VARIATION OF THE UV, PAR AND NIR FRACTIONS OF GLOBAL SOLAR RADIATION (G) IN BOTUCATU

Abstract. This work describes the monthly variation of the UV, PAR and NIR fractions of global solar radiation (G) measured at the surface, from 2001 and 2005, in the city of Botucatu, located in country side of State of São Paulo, Botucatu is characterized by one of the most intensive sugar cane agriculture activity in Brazil. The results indicated that UV/G varied from 2.7% to 6.9%; PAR/G from 42.7 % to 71.0% and NIR/G from 23.0% to 54.0%. For daily values it was found that UV/G varied from 3.4% to 6.3%; PAR/G from 45.0% to 60.0% and NIR/G from 34.0% to 51.0%. The fractions UV/G and PAR/G are larger and NIR/G is smaller during the wet season in Botucatu, specifically from October to March. The fractions UV/G and PAR/G are smaller and the fraction NIR/G is larger during the dry season in Botucatu, specifically from April to September. The regression model equation for UV, PAR and NIR in terms of G was obtained with a determination coefficient very close to 1. The monthly averaged fractions of UV/G decreases from 4.4 % in January and December to 3.8 % in July and August. The monthly averaged fractions of PAR/G decreases from 51.2, in February to 47.6% in August. The monthly averaged fraction of NIR/G increases from 44.4% in January to 48.5% in August. These behaviors are close related to the seasonal variation of cloud frequency and water vapor content in the Botucatu. The validation of the regression models indicated that MBE and RMSE indexes obtained for UV, PAR and NIR predictions based on values of G are smaller than 10.0% and the index of agreement (d) was superior to 0.95 in most of the months.

Key words: Global fractions, Ultraviolet radiation, Photosynthetically active radiation, Infrared radiation.