

## SÉRIE DIURNA DAS RADIAÇÕES MÉDIAS HORÁRIA G, UV, PAR e IV

João Francisco Escobedo – [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

Eduardo Nardini Gomes – [engomes@fca.unesp.br](mailto:engomes@fca.unesp.br)

Erick Roberto Peterlevitz – [erpeterlevitz@fca.unesp.br](mailto:erpeterlevitz@fca.unesp.br)

Departamento de Recursos Naturais / FCA/UNESP/Botucatu/SP/Brasil

Amauri Pereira de Oliveira – [apdolive@usp.br](mailto:apdolive@usp.br)

Jacyra Soares – [jacyra@usp.br](mailto:jacyra@usp.br)

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

### 1.3 Seqüência de Dados

**Resumo.** O trabalho apresenta a evolução diurna da radiação média horária global (G) ultravioleta (UV), fotossintética (PAR) e Infravermelha (IV). Os resultados estatísticos obtidos em 5 anos foram discutidos em função das condições climáticas. Equação temporal polinomial de quarta ordem foi proposta para a estimativa das radiações UV, PAR e IV média horária em função do tempo (em horas), com elevados coeficientes de determinação. A validação das equações apresentou os indicativos estatísticos: MBE menor que 16,0%; RMSE menor que 20,0% e “d” de Willmott maior que 0,98. A análise da sazonalidade mostrou que a equação temporal do ano fornece uma melhor estimativa das radiações UV, PAR e IV em dezembro do que em junho. As frações médias horárias totais foram:  $\langle \bar{K}_{UV}^h \rangle_a = 4,3\%$ ,  $\langle \bar{K}_{PAR}^h \rangle_a = 49,1\%$  e  $\langle \bar{K}_{IV}^h \rangle_a = 46,2\%$ .

**Palavras-chave:** radiação solar, séries temporais, global, radiação UV, PAR e IV.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das radiações solares Ultravioleta-UV (0,29 a 0,385 $\mu$ m), fotossintética-PAR (0,385-0,7 $\mu$ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 $\mu$ m) por meio de séries temporal e espacial é importante em muitas áreas científicas e tecnológicas. As séries temporal e espacial fornecem a disponibilidade energética no dia e ano, em função do tempo, sem necessidade de medidas de outra variável meteorológica, bastante comum nos modelos estatísticos de estimativa, porém exige que as medidas sejam realizadas rotineiramente por um longo período de tempo.

São raras as informações na literatura sobre séries temporais para as quatro radiações. A maioria dos estudos são relações entre as radiações G e PAR ou G e UV, como mostram os trabalhos Papaioannou et al. (1993 e 1996), Udo & Aro, (1999), Alados-Arboledas et al., (2000), Khogali & Al-Bar (1992), Blumthaler et al., (1992), Feister & Grasnick (1992), Matinez-Lozano et al., (1999), Murilo et al., (2003) e Robaa (2004). Com as radiações G e IV, as informações são mais restritas, não são medidas rotineiramente, mas apenas em situações específicas como uma situação sazonal como mostra Zhang et al., (2000).

A Estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP/Brasil monitora as radiações global, ultravioleta, fotossintética e a infravermelha de onda curta desde o ano 2000, com o objetivo de formar um banco de dados para produzir séries normais. A base de dados atual (5anos) ainda não é suficiente para obtenção de séries normais, porem já é suficiente para a produção de séries temporais curtas, que permitam observar as tendências das energias ao longo do dia, mês e ano.

Assim, o trabalho tem como objetivo desenvolver a evolução diurna da média horária anual para análise de energia horária das radiações G, UV PAR e IV; obter e validar a equação temporal anual, analisar a sazonalidade e obter a evolução diurna da fração das radiações horárias UV, PAR e IV.

## 2. INSTRUMENTAÇÃO

A base de dados da radiação horária utilizada na obtenção e validação da equação de estimativa das radiações UV, PAR e IV, compreende os anos de 2001 a 2005. Os anos 2001 a 2004 foram utilizados na modelagem e 2005 na validação.

A irradiância global ( $I_G$ ) foi monitorada por um piranômetro Eppley PSP, a irradiância ultravioleta ( $I_{UV}$ ) por um radiômetro CUV-3 da Kipp-Zonen e a irradiância infravermelha ( $I_{IV}$ ) por um piranômetro Eppley PSP com cúpula seletiva de transmissão na faixa espectral de 0,7 a 3,0 $\mu$ m. O fator de calibração do piranômetro IV foi multiplicado pelo fator 0,92 para corrigir o efeito da transmissão da cúpula no elemento sensível. A irradiância PAR ( $I_{PAR}$ ) foi calculada pelo método indireto, ou seja, por meio da diferença entre a irradiância  $I_G$  e a soma das irradiâncias  $I_{UV}$  e  $I_{IV}$  medidas na mesma frequência em  $W/m^2$  pela equação:  $I_{PAR} = I_G - (I_{UV} + I_{IV})$ . Na aquisição dos dados utilizou-se um Datalogger da Campbell CR23X operando na frequência de 1 Hz, armazenando médias de 300 leituras ou 5 minutos. Os dados passaram por um controle de qualidade e numa segunda etapa foram processados por programas desenvolvidos especificamente para calcular a radiação horária a partir da irradiância média de 5 minutos.

## 3. CÁLCULO E ANÁLISE DA RADIAÇÃO MÉDIA HORÁRIA

O modelo temporal diurno baseia-se na evolução da média horária do ano. Para se determinar a evolução diurna das radiações G, UV, PAR e IV calculou-se a média anual da energia a cada hora, por:

$$(H_b^h)_y = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N H_b^h \quad \text{onde } H_b^h = \int_{t_n}^{t_{n+1}} I_b(t) dt, \quad t_n = n\Delta t, \quad n = \text{inteiro}, \quad (H_b^h)_y \text{ é a média anual (do}$$

ano  $y$ ) das radiações G, UV, PAR e IV  $H_b$  à hora  $h$ , e  $N$  é o número de observações horárias no ano  $y$ .

A partir da energia média, determinou-se a média horária de 5 anos das radiações G, UV, PAR e IV utilizando a expressão:

$$\langle H_b^h \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_b^h)_{2000+n} \quad \text{onde } \langle H_b^h \rangle \text{ é a média de 5 anos das radiações G, UV, PAR e IV à hora}$$

( $h$ ), e  $N$  é o número de anos

A Tab. 1 mostra a evolução diurna média horária anual das radiações G, UV, PAR e IV; a evolução diurna média horária em quatro anos com o desvio da média e a soma (integração) da evolução diurna média horária anual.

Uma análise da evolução diurna média horária anual mostra que a energia horária dos dois primeiros intervalos horários (5:30h às 7:30h) e dos dois últimos intervalos horários (17:30h às 19:30h) das quatro radiações sendo muito pequena quando comparada à energia da integração da evolução diurna anual podendo ser desprezada das análises posteriores.

A energia diária total das integrações da evolução diurna média horária a cada ano é aproximadamente igual nos três primeiros anos e pouco inferior no quarto ano. Esse resultado mostra que as variações atmosféricas se repetem anualmente.

A energia horária das quatro radiações na superfície terrestre nos quatro anos, das 7:00h às 17:00h, apresenta uma variação representada pelo desvio da média, o qual mostra a influencia da cobertura atmosférica característica de cada intervalo horário diário.

Os desvios nos intervalos horários à tarde são pouco superiores aos da manhã e isso se deve a maior evapotranspiração, formação de nuvens, aumento de nebulosidade e probabilidade de precipitação ao final do dia. Essa é a razão pela qual o desvio do intervalo horário das 16:00h às 18:00h é alto e crescente.

**Tabela 1.** Radiações Horárias anuais para as radiações G, UV, PAR e IV.

Hora	Global (MJ/m <sup>2</sup> )						UV (MJ/m <sup>2</sup> )					
	2001	2002	2003	2004	Média	Desvio(%)	2001	2002	2003	2004	Média	Desvio(%)
5,5	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	34,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,58
6,5	0,21	0,18	0,19	0,22	0,20	8,49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	7,66
7,5	0,72	0,67	0,68	0,71	0,70	3,18	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	2,38
8,5	1,34	1,31	1,29	1,33	1,32	1,57	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1,17
9,5	1,88	1,91	1,89	1,86	1,89	1,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	1,99
10,5	2,32	2,36	2,32	2,34	2,34	0,82	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	2,27
11,5	2,60	2,59	2,58	2,47	2,56	2,29	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	2,06
12,5	2,58	2,59	2,58	2,39	2,54	3,75	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	3,38
13,5	2,35	2,25	2,32	2,18	2,27	3,36	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	2,89
14,5	1,85	1,87	1,92	1,78	1,86	3,24	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	3,85
15,5	1,34	1,32	1,35	1,26	1,32	2,83	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	2,92
16,5	0,74	0,73	0,72	0,60	0,70	9,50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	7,49
17,5	0,23	0,25	0,22	0,17	0,22	14,60	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	12,68
18,5	0,06	0,04	0,05	0,04	0,05	21,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,68
Soma	18,25	18,10	18,15	17,41	17,97		0,74	0,75	0,77	0,73	0,75	

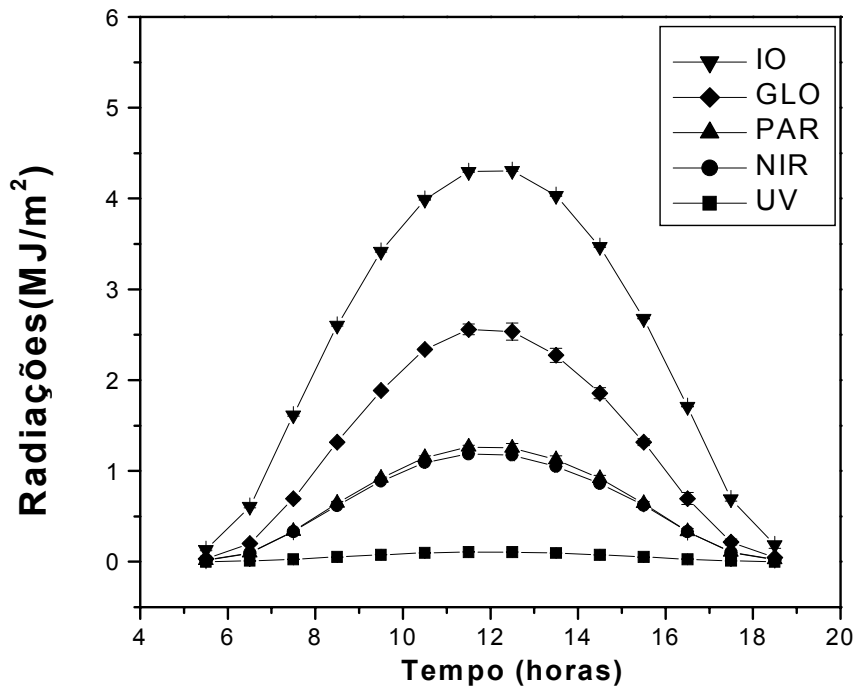
Hora	PAR (MJ/m <sup>2</sup> )						IV (MJ/m <sup>2</sup> )					
	2001	2002	2003	2004	Média	Desvio(%)	2001	2002	2003	2004	Média	Desvio(%)
5,5	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	33,75	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	35,86
6,5	0,10	0,09	0,09	0,11	0,10	10,63	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	6,54
7,5	0,35	0,32	0,32	0,35	0,34	5,67	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	2,02
8,5	0,66	0,63	0,63	0,66	0,65	3,07	0,63	0,62	0,61	0,61	0,62	1,23
9,5	0,93	0,93	0,91	0,92	0,92	1,11	0,87	0,91	0,90	0,86	0,89	2,52
10,5	1,15	1,15	1,12	1,17	1,15	1,68	1,08	1,12	1,10	1,07	1,09	1,81
11,5	1,28	1,27	1,27	1,24	1,26	1,56	1,21	1,21	1,20	1,13	1,19	3,25
12,5	1,27	1,27	1,29	1,18	1,25	3,70	1,20	1,20	1,18	1,10	1,17	3,99
13,5	1,16	1,11	1,16	1,07	1,13	3,64	1,09	1,04	1,06	1,01	1,05	3,29
14,5	0,92	0,92	0,96	0,87	0,92	3,70	0,86	0,87	0,89	0,83	0,86	2,76
15,5	0,66	0,64	0,65	0,61	0,64	3,42	0,63	0,63	0,64	0,60	0,62	2,40
16,5	0,36	0,35	0,34	0,29	0,33	9,26	0,35	0,35	0,35	0,28	0,33	10,08
17,5	0,11	0,12	0,10	0,09	0,11	13,51	0,11	0,12	0,11	0,08	0,10	16,10
18,5	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	21,80	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	21,96
Soma	9,01	8,84	8,87	8,62	8,83		8,50	8,51	8,51	8,05	8,39	

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Evolução Diurna da Radiação Média Horária Anual.

A Fig. 1 mostra a evolução diurna das radiações média horária global  $\langle H_G^h \rangle_a$ , ultravioleta  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$ , fotossintética  $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$  e infravermelha  $\langle H_{IV}^h \rangle_a$  na superfície terrestre.

A evolução diurna das radiações média horária  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_a$ , é similar à evolução da radiação média horária  $\langle H_G^h \rangle_a$ , com energia maior para as radiações na seqüência PAR, IV e UV.



**Figura 1-** Evolução diurna das radiações médias horária G, UV, PAR e IV.

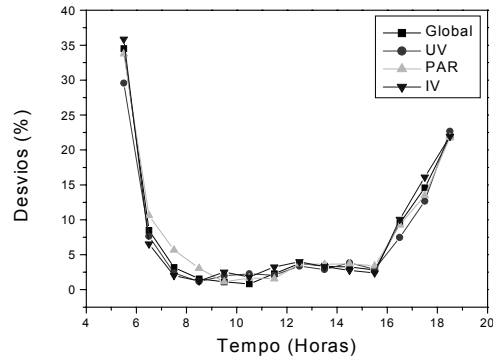
A evolução é do tipo parabólica, cresce a partir das 5:30h até o intervalo horário às 11:30h, passando por um máximo e decrescendo a seguir simetricamente até o por do sol, quase que no mesmo nível de energia antes da passagem meridional. A evolução  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$  aparenta ser constante, no entanto, quando a escala é adaptada para baixa energia, a evolução  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$  é variacionalmente similar às evoluções para  $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_a$ .

A equação temporal para as evoluções  $\langle H_G^h \rangle_a$ ,  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_a$  em função do intervalo de tempo (horas) foi obtida por meio de regressão polinomial das curvas da Fig. 1 e é apresentada na Tab. 2 com seu coeficiente de determinação  $R^2$ .

**Tabela 2.** Equações temporais diurna para radiações horária G, UV, PAR e IV

Equações Diurna ( t = tempo em hora )	$R^2$
$\langle \bar{H}_G^h \rangle = 16,11201 - 7,51316t + 1,19075t^2 - 0,07318t^3 + 0,00153t^4$	0,99991
$\langle \bar{H}_{UV}^h \rangle = 0,71959 - 0,33149t + 0,05204t^2 - 0,00318t^3 + 6,63835E - 5t^4$	0,99974
$\langle \bar{H}_{PAR}^h \rangle = 8,02757 - 3,73332t + 0,59052t^2 - 0,03626t^3 + 7,55943E - 4t^4$	0,99996
$\langle \bar{H}_{IV}^h \rangle = 6,75605 - 3,20391t + 0,51402t^2 - 0,03177t^3 + 6,63835E - 4t^4$	0,99942

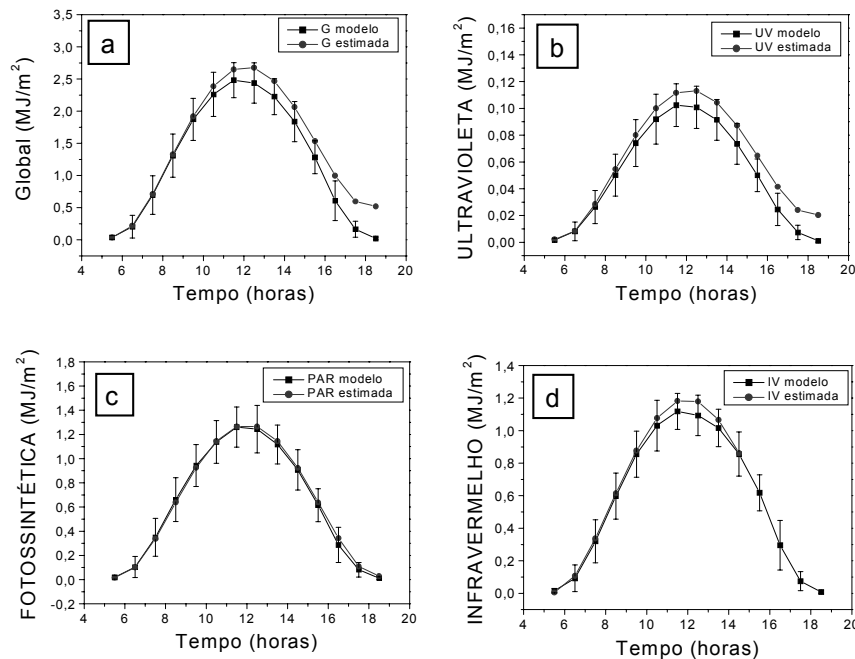
Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a 1 mostram que as variações das radiações  $\langle H_G^h \rangle_a$ ,  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_a$  estão bem correlacionadas com as variações do tempo. Não há diferença estatística entre os coeficientes de determinação para as quatro correlações.



**Figura 2-** Evolução dos desvios da média das radiações horárias G, UV, PAR e IV.

A Fig. 2 mostra a evolução diurna do desvio da media entre os quatro anos. A variabilidade da radiação media horária de um ano para outro é muito pequena, razão pela qual as evoluções quase são superpostas. No período entre 7: 00h às 15:30h, o desvio relativo foi inferior a 5% e indica que os processos de formação da nebulosidade e da interação da radiação na camada atmosférica se repetem ano a ano. Nos intervalos das 15:30h às 16:30 e 16:30 às 17:30h os desvios das médias cresceram de 4% para 7% e 7% para 14% respectivamente. O crescimento está associado à variabilidade atmosférica como o aumento da nebulosidade e ocorrência de chuva muito freqüente no verão e primavera.

A Fig. 3 mostra a validação por meio da comparação entre as radiações estimadas pelo modelo anual (equações da Tab. 1) e as radiações medidas para o ano de 2005. O modelo superestimou a medida para as quatro radiações e o ajuste foi melhor antes do meio dia solar.



**Figura 3-** Validação da equação temporal G, UV, PAR e IV diurna.

As radiações medidas no período da tarde estão mais distantes do modelo do que as radiações medidas no período da manhã. Como já observado anteriormente, isso se deve à formação de

nuvens a qual é mais intensa à tarde do que no período da manhã proporcionando uma maior absorção das radiações na atmosférica.

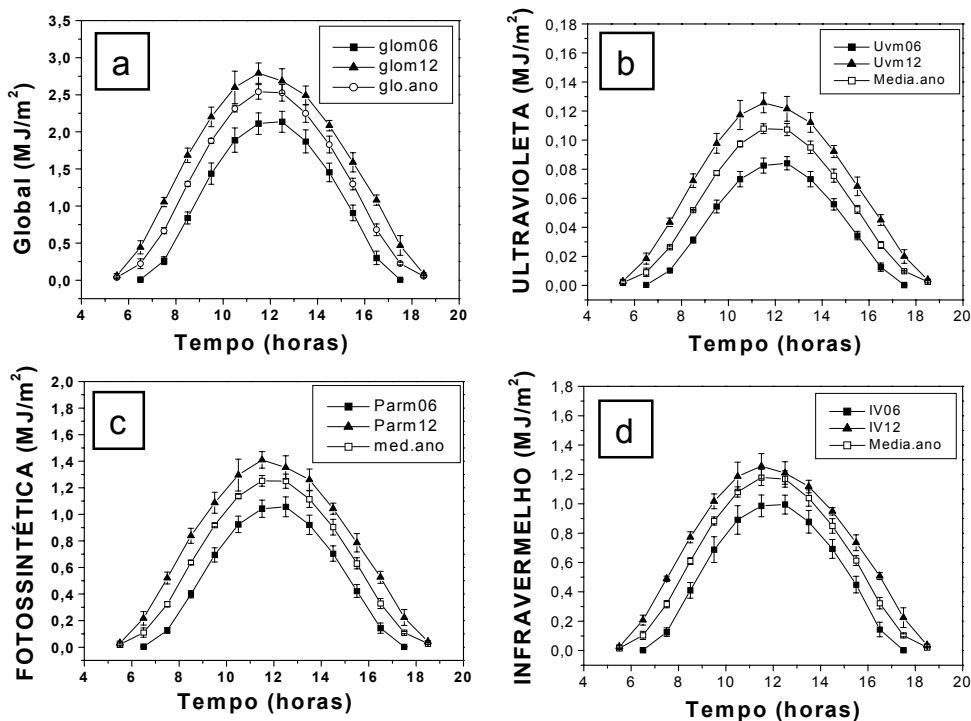
A Tab. 3 apresenta os indicativos MBE, RMSE e d de Willmott na validação entre a radiação medida e a estimada pelo modelo. O sinal positivo de MBE indica que a estimativa das quatro radiações superestima a medida, onde o melhor desempenho foi obtido na estimativa das radiações PAR e IV, seguido das radiações UV e G.

**Tabela 3.** Indicativos Estatísticos na validação das equações temporais.

Radiação	MBE (%)	RMSE (%)	D
G	15,29	19,95	0,98122
UV	16,42	19,34	0,98354
PAR	1,67	3,69	0,99937
IV	4,33	6,50	0,99807

O indicativo RMSE menor que 20,0% mostra que o espalhamento seguiu a mesma seqüência do indicativo MBE, foi muito bom para as radiações PAR e IV, e bom para as radiações UV e G. O índice de Willmott “d” maior que 0,98 mostra que o ajustamento entre a medida e a estimativa da radiação próximo a 1, indica que a exatidão é melhor para as radiações na seqüência PAR, IV, UV e G.

Selecionou-se os meses de junho e dezembro para análise sazonal das radiações G, UV, PAR e IV por representarem os meses com o comprimento do dia mais curto (10,6h de luz solar) e mais longo do ano (13,4h de luz solar) marcando o início do inverno e do verão, respectivamente.



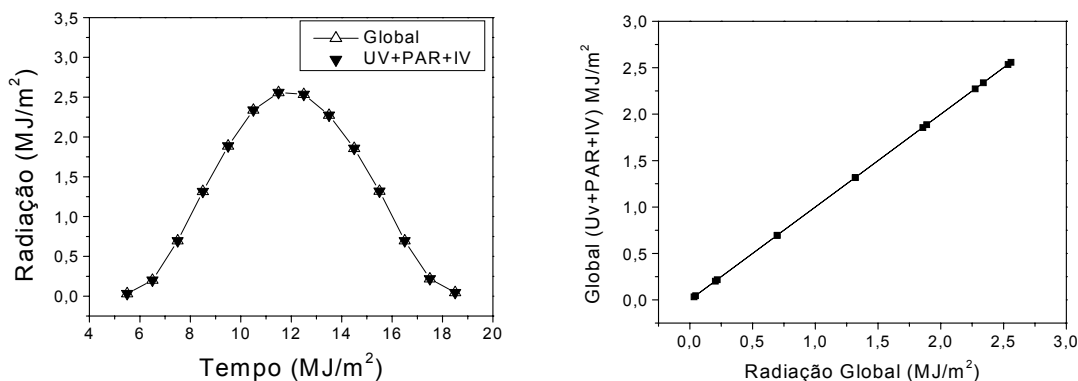
**Figura 4-** Comparação da evolução anual e mensal de dezembro e junho.

A Fig. 4 mostra a comparação entre a evolução diurna das radiações  $\langle H_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_a$ , e a média horária para os meses de junho  $\langle H_G^h \rangle_J$ ,  $\langle H_{UV}^h \rangle_J$ ,  $\langle H_{PAR}^h \rangle_J$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_J$ , e dezembro,  $\langle H_G^h \rangle_D$ ,  $\langle H_{UV}^h \rangle_D$ ,  $\langle H_{PAR}^h \rangle_D$  e  $\langle H_{IV}^h \rangle_D$  de 2001 à 2004 respectivamente.

A Fig. 4 mostra que a radiação média horária anual superestima as radiações médias horária de junho e subestima a de dezembro. O desvio relativo percentual entre as médias horária anual e mensal de junho e dezembro é mais elevado no início e final do dia, e decresce gradativamente para o meio do dia, onde atinge o mínimo. O mês de junho apresenta desvio mais elevado no início do dia enquanto que o mês de dezembro ao final do dia.

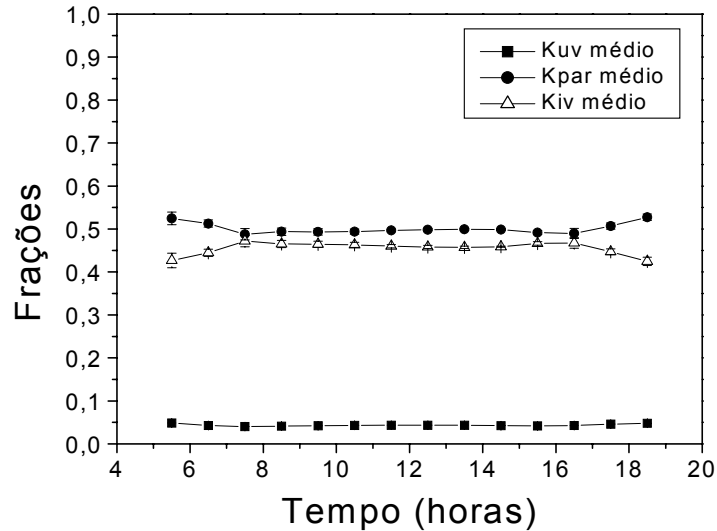
No intervalo horário principal do dia, das 7:00h às 17:00h, onde se encontra quase 100,0% da energia diária, o desvio médio diário ( $\delta$ ) entre a média horária anual e a média horária mensal de junho e dezembro foi : para junho  $\delta G=22,1\%$ ,  $\delta UV=29,6\%$ ,  $\delta PAR=23,3\%$  e  $\delta IV= 20,5\%$ , e para dezembro,  $\delta G=-15,3\%$ ,  $\delta UV=-26,0\%$ ,  $\delta PAR=-17,3\%$  e  $\delta IV=-12,6\%$ . O desvio relativo percentual entre o valor médio horário anual e mensal de dezembro, para as quatro radiações, é menor que o de junho.

A Fig. 5 (a) apresenta a evolução diurna da radiação  $\langle \bar{H}_G^h \rangle$  e a evolução diurna da soma das radiações  $\langle \bar{H}_{PAR}^h \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{IV}^h \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{UV}^h \rangle$ , e mostra a característica aditiva das três radiações UV, PAR e IV dentro do espectro solar como sendo igual a radiação G. A Fig. 5 (b) mostra que a relação entre a radiação  $\langle \bar{H}_G^h \rangle$  e a radiação soma  $=\langle \bar{H}_{PAR}^h \rangle + \langle \bar{H}_{IV}^h \rangle + \langle \bar{H}_{UV}^h \rangle$  é perfeitamente linear: reta passando pela origem e coeficiente angular igual a  $45^\circ$ . No total acumulado diário não houve diferença numérica entre a irradiação  $\langle \bar{H}_G^h \rangle$  e a irradiação soma  $\langle \bar{H}_{PAR}^h \rangle + \langle \bar{H}_{IV}^h \rangle + \langle \bar{H}_{UV}^h \rangle$ , as integrações das duas evoluções forneceram valores de  $17,97 \text{ MJ/m}^2$ .



**Figura 5** - (a) evolução diurna da radiação  $\langle \bar{H}_G^h \rangle$  e da soma das radiações  $\langle \bar{H}_{PAR}^h \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{IV}^h \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{UV}^h \rangle$ ; (b) relação entre a radiação  $\langle \bar{H}_G^h \rangle$  e a radiação soma  $=\langle \bar{H}_{PAR}^h \rangle + \langle \bar{H}_{IV}^h \rangle + \langle \bar{H}_{UV}^h \rangle$

A Fig. 6 mostra a evolução diurna da fração média horária anual  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ ,  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$ , a qual foi obtida através das 13396 radiações  $H_{UV}^h$ ,  $H_{PAR}^h$ ,  $H_{IV}^h$  e  $H_G^h$ , por meio das médias aritméticas:  $\langle K_{UV}^h \rangle_a = \sum(H_{UV}^h / H_G^h) / n$ ;  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a = \sum(H_{PAR}^h / H_G^h) / n$  e  $\langle K_{IV}^h \rangle_a = \sum(H_{IV}^h / H_G^h) / n$ , onde  $n$  é o numero de horas, nos intervalos horários das 5,00:h às 19:00h, do período de 2001 a 2004.



**Figura 6-** Evolução diurna das frações horárias  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ ,  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$

A evolução  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$  no intervalo horário das 5:00h decresce linearmente até às 7:00h. Das 7,00h às 17,00h, cresce lentamente até às 12,30h e gradativamente decresce até às 17,00h, apresentando uma média de 0,0427. Das 17:00h às 19,00h, a fração  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$  cresce de 0,0427 para 0,049.

As evoluções  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$  representam as duas maiores parcelas de energia do espectro solar, sendo  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  um pouco superior a  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$ . As variações das  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$  ocorrem também nos mesmos três intervalos de tempo distintos ao dia. No intervalo das 5:00h às 7:00h, a evolução  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  decresce e a  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$  cresce quase que linearmente. No período principal, das 7:00h às 17:00 h, a  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  mantém-se aproximadamente constante com média de 0,491 enquanto que  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$  evolui de forma similar a  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ , com média de 0,462. Das 17:00h às 19:00h h ocorre o inverso em relação ao período das 5:00h às 7:00h, a  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  cresce e  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$  decresce linearmente. Os desvios das médias das evoluções  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  e  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ , seguem a mesma tendência dos desvios da média da  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ , com diferença apenas na ordem de grandeza.

O fator atmosférico responsável pela variação diurna das frações horárias UV, PAR e IV na superfície terrestre é a nebulosidade e as variações de concentração de aerossóis e do vapor d'água. Para as radiações UV e PAR, quanto maior a nebulosidade e concentração de vapor d'água, maior é a probabilidade de espalhamento das duas radiações. Conseqüentemente,  $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ ,  $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$  são maiores na superfície terrestre. Para a fração IV, a situação é contrária, quanto maior a concentração do vapor d'água, maior a absorção da radiação IV. Conseqüentemente,  $\langle K_{IV}^h \rangle_a$  é menor na superfície terrestre. Para as frações UV e PAR esse efeito já tinha sido observado por vários pesquisadores (Alados et al., 1996; Karalis, 1989). O valor médio diurno das frações médias horária anual da Fig. 6 no intervalo das 7:00h às 17,00h, foi:  $\langle \bar{K}_{UV}^h \rangle_a = 4,3\%$ ,  $\langle \bar{K}_{PAR}^h \rangle_a = 49,1\%$  e  $\langle \bar{K}_{IV}^h \rangle_a = 46,2\%$ .



## 5. CONCLUSÕES

A evolução diurna da radiação G, UV, PAR e IV média horária anual permitiu ajuste de função temporal parabólica de quarta ordem com alto coeficiente de correlação. A energia média horária anual apresentou variação dependente da cobertura atmosférica característica de cada hora ao dia. No horário das 7:00h às 16:00h, o desvio relativo foi menor que 5%, sendo o desvio no horário da tarde superior ao da manhã. Na validação, o indicativo de MBE mostrou que as equações superestimam a radiação medida, com melhor desempenho para as radiações PAR e IV, seguido para as radiações UV e G. O indicativo RMSE inferior a 20,0% mostra que o espalhamento foi muito bom para as radiações PAR e IV, e bom para as radiações UV e G. O índice de Willmott “d” maior que 0,98 mostra boa exatidão, sendo melhor para as radiações, na seqüência: PAR, IV, UV e G. A equação das radiações média horária anual apresenta desvios sazonais, superestima a radiação média horária de junho e subestima a de dezembro. A fração média horária anual não é constante na evolução diurna, no entanto, considerando-se apenas o intervalo das 7:00h às 17,00h, é aproximadamente constante com média igual a:  $\langle \bar{K}_{UV}^h \rangle_a = 4,3\%$ ,  $\langle \bar{K}_{PAR}^h \rangle_a = 49,1\%$  e  $\langle \bar{K}_{IV}^h \rangle_a = 46,2\%$ .

## REFERÊNCIAS

- ALADOS – ARBOLEDAS, L., OLMO, F.J., ALADOS, I., PÉREZ, M. Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.101, p.187-201, 2000.
- BLUMTHALER, M., AMBACH, W. AND REHWALD, W. Solar UVA and UVB radiation fluxes at two alpine stations at different altitudes, *Theoretical and Applied Climatology*, v. 46, p. 39, 1992.
- FIESTER, U. GRASNICK, K.H. Solar UV radiation measurements at Potsdam (55° 22’N, 13°5’E). *Solar Energy*, v. 49, n. 6, p. 541-548, 1992.
- KHOGALI, A. AND AL-BAR, O.F. A study of solar ultraviolet radiation at Makkah solar station, *Solar Energy*, 48, 79. 1992.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A. , TENA, F. and UTRILLAS, M.P. Ratio of uv to global broad band irradiation in valencia, spain, *International Journal of Climatology*. V.19, p. 903–911, 1999.
- MURILLO, W. CAÑADA, J. PEDRÓS, G. Correlation between global ultraviolet (290-385nm) and global irradiation in Valencia and Cordoba (Spain). *Renewable Energy*, v.28, p.409-418, 2003.
- PAPAIOANNOU, G., NIKOLIDAKIS, G., ASIMAKOPOULUS, D.N., RETALIS, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. For. Meteorol.*, v.81, p.287-98, 1996.
- PAPAIOANNOU, G., PAPANIKOLAOU, N., RETALIS, D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theoretical and Applied Climatology*, v.48, p.23-7, 1993.
- ROBAA, S.M. A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. *Solar Energy*, v.77, p.251-259, 2004.
- UDO, S.O., ARO, T.O. Global PAR related to solar radiation for central Nigeria. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, p.21-31, 1999.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Physic Geogr.* v.2, p.184-94, 1981.
- ZHANG, X., ZHANG, Y., ZHOUB, Y. Masuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during april-october. *Agricultural Meteorology*, v.102, p.207-12, 2000.

**Agradecimento:** À FAPESP, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## **DIURNAL SERIES OF G, UV, PAR AND IV HOURLY AVERAGE RADIATIONS**

**ABSTRACT:** *This paper presents diurnal evolution of the global (G), ultraviolet (UV), photosynthetic (PAR) and Infrared (IV) hourly average radiations. Statistic results over 5 years for hourly radiations are presented and discussed as a function of the climate conditions. Temporal equations of 4° degree were obtained to estimate UV, PAR and IV radiations as a function of time (in hours) with high determination coefficients. The validation showed the following statistic indicators: MBE lower than 16,0%; RMSE lower than 20,0% and “d” of Willmott higher than 0,98. The seasonal analysis showed that the radiations UV, PAR and IV are better estimated in December than in June by the temporal equation. The total hourly average fractions were as it follows:  $\langle \bar{K}_{UV}^h \rangle_a = 4,3\%$ ,  $\langle \bar{K}_{PAR}^h \rangle_a = 49,1\%$  and  $\langle \bar{K}_{IV}^h \rangle_a = 46,2\%$ .*

**Keywords:** solar radiation, temporal series, global, UV, PAR and IV radiation.