

# RADIAÇÕES SOLARES ULTRAVIOLETA, FOTOSSINTÉTICA E INFRAVERMELHA: II – EVOLUÇÃO ANUAL DAS MÉDIAS MENSAIS

João F. Escobedo<sup>1</sup>, Alexandre Dal Pai<sup>1</sup>, Amauri P. Oliveira<sup>2</sup>, Jacyra Soares<sup>2</sup>, Eduardo N. Gomes<sup>1</sup>

**ABSTRACT** – This work describes the annual evolution of the UV, PAR e IV irradianções and their  $\langle \bar{K}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{K}_{PAR}^m \rangle$  and  $\langle \bar{K}_{IV}^m \rangle$  daily monthly fractions. The temporal equations were developed and the seasonal variation was analyzed and discussed. The equations were validated and the MBE and RMSE statistical indicator were less than 6% and 13%, respectively.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho é uma continuação do trabalho "Radiações solares ultra-violeta, fotossintética e infra-vermelha: I – Evolução diária das médias horárias anual no qual foi estudado a evolução diurna das médias horárias anual das radiações UV, PAR e IV. Nesta comunicação será apresentado e discutido a evolução anual das radiações médias mensais UV, PAR e IV e as frações da global  $\langle \bar{K}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{K}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \bar{K}_{IV}^m \rangle$ . O conhecimento das séries temporais das irradiações e frações médias mensais é importante para compreensão da sazonalidade dessas radiações ao longo do ano em função da variabilidade climática.

## MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados para este trabalho foi gerada na Estação de Radiometria Solar de Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O e altitude 786m) no período de 1 de janeiro de 2001 à 31 de dezembro de 2004. Na modelagem temporal anual das médias mensais diárias utilizou-se de dados dos 3 primeiros anos (2001-2003) e a validação foi realizada com dados do ano de 2004, por meio dos indicativos estatísticos MBE e RMSE (Willmott, 1981).

A Estação de Radiometria Solar está inserida em ambiente rural. De acordo com Cunha et al. (1999), o clima de Botucatu pode ser classificado de Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. O verão é úmido e o inverno é seco. A Figura 1 mostra a evolução anual dos acumulados mensais da precipitação e insolação medidos de 1971 a 2003.

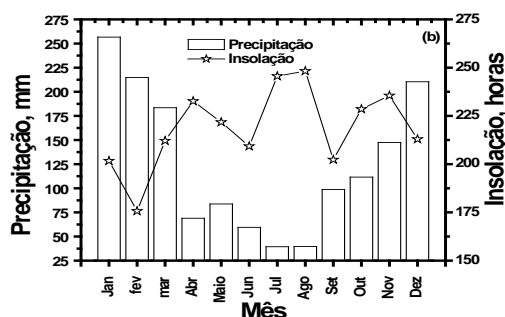


Figura 1. Evolução do acumulado mensal da precipitação e da insolação em Botucatu, SP.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra a evolução anual das irradiações médias mensais diárias  $\langle \bar{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{IV}^m \rangle$  e das irradiações global  $\langle \bar{H}_g^m \rangle$  e extra terrestre  $\langle \bar{H}_0^m \rangle$ , na mesma partição de tempo, em função dos intervalos de tempo mensal.

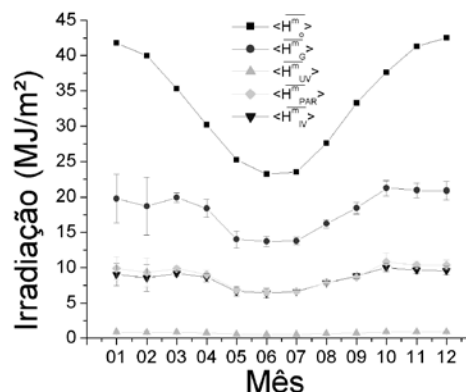


Figura 2. Evoluções anual das irradiações  $\langle \bar{H}_0^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_g^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{IV}^m \rangle$ .

As evoluções anual  $\langle \bar{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{IV}^m \rangle$  comportaram-se no tempo como a evolução da global  $\langle \bar{H}_g^m \rangle$ , com diferença apenas nas amplitudes entre os máximos que ocorreram no período das chuvas (primavera-verão) e os mínimos que ocorreram no período da seca (outono-inverno). Para a irradiação global, a amplitude entre junho (mínimo) e outubro (máximo) foi de 7,52MJ/m<sup>2</sup>, enquanto que para a PAR e IV foram de 4,32MJ/m<sup>2</sup> e 3,65MJ/m<sup>2</sup>, respectivamente. Para a irradiação UV a amplitude entre junho e dezembro foi de 0,39MJ/m<sup>2</sup>. Comparando a evolução da irradiação global com a irradiação extraterrestre, pode-se observar que houve uma redução considerável nas médias mensais no período das chuvas, ocorridas nos meses janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Em consequência disso, as irradiações  $\langle \bar{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{IV}^m \rangle$  também foram reduzidas nas mesmas proporções, muito embora que para a radiação UV esta redução não seja visível, devido a escala de energia utilizada, que é favorável as demais irradiações mais elevadas. A figura 1 mostra que nos meses citados, a precipitação acumulada foi elevada, na mesma ordem de grandeza das reduções das quatro irradiações. Quanto maior a precipitação mensal acumulada, menor foram as irradiações  $\langle \bar{H}_g^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \bar{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \bar{H}_{IV}^m \rangle$ . No período da seca, que compreendeu os meses de abril à outubro, a precipitação mensal acumulada foi pequena, e a insolação elevada, consequentemente, as evoluções

<sup>1</sup> Depto. De Recursos Ambientais (Setor Ambientais), FCA, Univ. Estadual Paulista, Botucatu, Fazenda Experimental Lageado, CP 237, 18603-970, Botucatu, SP, Brazil. ([escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br); [dalpai@fca.unesp.br](mailto:dalpai@fca.unesp.br); [engomes@fca.unesp.br](mailto:engomes@fca.unesp.br))

<sup>2</sup> Depto de Ciências Atmosféricas – IAG/USP. (E-mail [apdolive@usp.br](mailto:apdolive@usp.br); [jacyra@usp.br](mailto:jacyra@usp.br))

$\langle \overline{H}_g^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{H}_{IV}^m \rangle$  foram bem comportadas e similares, acompanhando a evolução da irradiação extraterrestre.

As irradiações  $\langle \overline{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{H}_{IV}^m \rangle$  mostraram que a PAR é ligeiramente superior à IV em 11 meses (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro), e pouco inferior no mês de setembro. As diferenças mensais não foram tão significativas, tanto que os acumulados no ano  $PAR=106,12MJ/m^2$  e  $IV=100,94MJ/m^2$ , representam uma diferença de  $6MJ/m^2$ , menos de 5% em relação ao acumulado PAR.

A soma das irradiações UV, PAR e IV médias mensais foi praticamente igual à irradiação global média mensal em todos os meses do ano, e o acumulado anual  $UV+PAR+IV=216,01MJ/m^2$  e global= $216,04MJ/m^2$  comprovaram a aditividade das três radiações.

As equações temporais  $\langle \overline{H}_g^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{H}_{IV}^m \rangle$ , ajustadas em função dos intervalos de tempo mensal, obtidas a partir de regressão polinomial na figura 2, foram de 4 ordem, e estão apresentadas na Tabela 1, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ )

Tabela 1. Equações temporais anuais

	Equações Temporais Anuais (t em mes)	$r^2$
G	$\langle \overline{H}_g^m \rangle = 14,164 + 9,301t - 3,713t^2 + 0,469t^3 - 0,018t^4$	0.810
UV	$\langle \overline{H}_{UV}^m \rangle = 0,631 + 0,407t - 0,169t^2 + 0,021t^3 - 0,000834t^4$	0.808
PAR	$\langle \overline{H}_{PAR}^m \rangle = 7,105 + 4,501t - 1,794t^2 + 0,223t^3 - 0,005t^4$	0.809
IV	$\langle \overline{H}_{IV}^m \rangle = 6,340 + 4,163t - 1,657t^2 + 0,211t^3 - 0,008t^4$	0.810

Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) próximos de 0.800 mostram que as quatro irradiações foram bem correlacionadas no intervalo de tempo mensal, mesmo considerando o efeito da precipitação nos meses de janeiro, fevereiro, dezembro, novembro e março, que afetaram as evoluções sazonalmente e não permitindo o ajuste adequado da função polinomial em todos intervalos mensais.

Os indicativos estatísticos MBE e RMSE obtidos na validação, onde comparou-se as estimativas das equações temporais  $\langle \overline{H}_g^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{PAR}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{H}_{IV}^m \rangle$  do quadro 1, com as medidas de 2004 estão apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Validação das equações de estimativa

	GLOBAL	UV	PAR	IV
MBE (%)	6,00	5,76	3,97	4,54
RMSE (%)	11,07	9,33	10,85	12,89

Os desvios da média (MBE), inferiores a 6%, foram melhores na seqüência decrescente das irradiações PAR, IV, UV, e mostraram o bom desempenho das equações temporais, onde os valores positivos expressam que a estimativa superestima a medida. Os indicativos estatísticos MBE e RMSE foram melhores para UV, PAR e IV, respectivamente, ou seja, o nível de espalhamento evoluiu de maneira inversa ao nível de energia das radiações: quanto maior é a energia, menor é o valor de RMSE.

A figura 3 mostra as evoluções anual das frações das irradiações UV, PAR e IV médias mensais  $\langle \overline{K}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{K}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{K}_{IV}^m \rangle$  respectivamente.

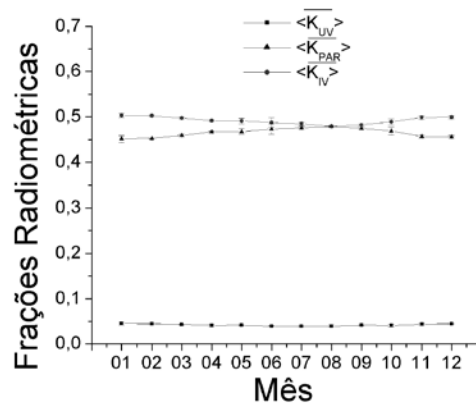


Figura 3. Evolução anual das frações  $\langle \overline{K}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{K}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{K}_{IV}^m \rangle$

A evolução mostrou que as frações decresceram na ordem  $\langle \overline{K}_{UV}^m \rangle$ ,  $\langle \overline{K}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{K}_{IV}^m \rangle$ , e não foram constantes nos meses do ano. A evolução  $\langle \overline{K}_{PAR}^m \rangle$  iniciou no mês de janeiro com fração igual a 0,503, decrescendo a seguir continuamente até o mês de agosto, onde passou por um mínimo igual a 0,489 e crescendo posteriormente quase que linearmente até o mês de dezembro, com valor de 0,498. A evolução de  $\langle \overline{K}_{IV}^m \rangle$  foi contrária a  $\langle \overline{K}_{PAR}^m \rangle$ , no mês de janeiro possuiu o menor valor 0,452, crescendo a seguir continuamente até o mês de agosto, onde passou por um máximo igual a 0,480, e decrescendo até o mês de dezembro, onde atingiu a fração de 0,457. A evolução  $\langle \overline{K}_{UV}^m \rangle$  iniciou no mês de janeiro com fração 0,045, decrescendo até julho, onde atingiu o mínimo de 0,0395, crescendo até dezembro com fração 0,0443. Considerando os níveis energéticos das 3 radiações, as frações  $\langle \overline{K}_{PAR}^m \rangle$  e  $\langle \overline{K}_{UV}^m \rangle$  foram maiores nos período chuvoso e menores na seca, enquanto que na evolução de  $\langle \overline{K}_{IV}^m \rangle$ , por ter a mais baixa energia do espectro solar, ocorreu o inverso, a fração foi menor no período chuvoso e maior na seca. As frações médias anuais foram:  $\langle \overline{K}_{UV}^a \rangle = 0,042$ ,  $\langle \overline{K}_{PAR}^a \rangle = 0,492$  e  $\langle \overline{K}_{IV}^a \rangle = 0,465$ .

## REFERÊNCIAS

- Assunção, H. F. Modelo paramétrico para estimativa da radiação solar ultra-violeta. Tese de Doutorado, FCA, UNESP, 2003. 148p.
- Cunha, A.R., Klosowski, E.S., Galvani, E., Escobedo, J.F., Martins, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppën. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. *Anais...*, p.487-91, 1999.
- Gomes, E. N. Medidas e modelos da Par global e direta na incidência horizontal. Dissertação de Mestrado, FCA, UNESP, 2002. 98p.
- Willmott, C.J. On the validation of models. *Physic Geogr.* v.2, p.184-94, 1981.

Agradecimento: À FAPESP e CNPq.