

RADIAÇÕES SOLARES MÉDIAS HORÁRIAS G, UV, PAR e IV.

Erick Roberto Peterlevitz, João Francisco Escobedo, Eduardo Nardini Gomes. – Inter-áreas – Agronomia – Departamento Recursos Naturais – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Campus de Botucatu.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das radiações solares Ultravioleta-UV (0,29 a 0,385 μ m), fotossintética-PAR (0,385-0,7 μ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 μ m), por meio de séries temporal e espacial, é importante em muitas áreas científicas e tecnológicas. As séries temporal e espacial das radiações UV, PAR e IV permitem conhecer a disponibilidade energética diurna e anual, em função do tempo, sem necessidade de medidas de outra variável meteorológica.

A Estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP/Brasil, monitora as radiações: global, ultravioleta, fotossintética e a infravermelha de ondas curta, desde o ano 2000, com o propósito de formar um banco de dado. Assim, objetivou-se no trabalho desenvolver a evolução diurna das médias horárias anual para analisar, os níveis de energia das radiações horária G, UV PAR e IV; gerar as equações de estimativa temporal e obter as frações das radiações horárias UV, PAR e IV em relação à radiação global.

2. METODOLOGIA

A base de dados das radiações horária utilizada na geração e validação das equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV, compreendem os anos de 2001 a 2005. Os anos (2001 a 2004) foram usados na modelagem e o ultimo (2005) na validação.

A irradiância global (I_G) é 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 μ 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 elemento sensível do sensor. A irradiância PAR (I_{PAR}) utilizada neste trabalho é 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 , 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.

O modelo temporal diário é baseado nas evoluções das médias horárias do ano. Para se determinar a evolução diurna das radiações G, UV, PAR e IV calculou-se as médias anuais das energias de cada hora, por:

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

da radiação G, UV, PAR e IV H_b^h da hora h , e N é o número de observações horárias no ano y .

A partir das energias médias, determinaram-se as médias horárias de 5 anos das radiações G, UV, PAR e IV através da expressão:

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

N é o número de anos

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 mostra a evolução diurna das radiações médias horárias 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.

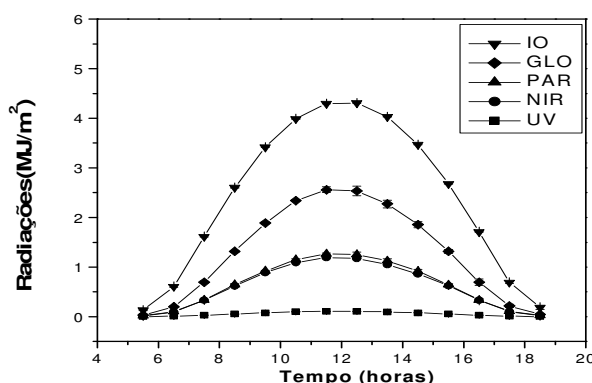


Figura 1. Evolução diurna das radiações médias horárias G, UV, PAR e IV.

A evolução diurna das radiações médias horárias $\langle H_{UV}^h \rangle_a$, $\langle H_{PAR}^h \rangle_a$ e $\langle H_{IV}^h \rangle_a$, é similar à evolução da radiação média horária $\langle H_G^h \rangle_a$, com energia, maior na sequência para as radiações PAR, IV e UV. As evoluções são bem comportadas, crescem do início do dia a partir das 5:30h, até o intervalo horário das 11:30h, onde passam por um máximo decrescendo a seguir simetricamente até o por do sol, quase que nos mesmos níveis de energia antes da passagem meridional.

As equações temporais 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 dos intervalos das horas (t), foram obtidas por meio de regressão polinomial da figura 1, estão apresentadas na tabela 1 com seus respectivos coeficientes de determinação R^2 .

Tabela 1. Equações Temporais Diurnas para Radiações Horária G, UV, PAR e IV

Equações Diurna (t em hora)	R^2
$\langle \overline{H_G^h} \rangle = 16,11201 - 7,51316t + 1,19075t^2 - 0,07318t^3 + 0,00153t^4$	0,99991
$\langle \overline{H_{UV}^h} \rangle = 0,71959 - 0,33149t + 0,05204t^2 - 0,00318t^3 + 6,62247E - 5t^4$	0,99974
$\langle \overline{H_{PAR}^h} \rangle = 8,02757 - 3,73332t + 0,59052t^2 - 0,03626t^3 + 7,55943E - 4t^4$	0,99996
$\langle \overline{H_{IV}^h} \rangle = 6,75605 - 3,20391t + 0,51402t^2 - 0,03177t^3 + 6,63835E - 4t^4$	0,99942

Os coeficientes de determinação (R^2) próximos de 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 dos coeficientes de determinação, para as quatro correlações, R^2 é superior a 0,9990.

Na figura 2 é mostrada as evoluções comparativas entre as radiações estimadas pelo modelo (equações da tabela 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 solar.

As radiações medidas no período da tarde estão mais distantes do modelo que as medidas do período da manhã, devido a formação de nuvens, que é mais intensa a tarde que no período da manhã, por meio do processo da evapotranspiração, e proporciona uma maior absorção das radiações na atmosférica.

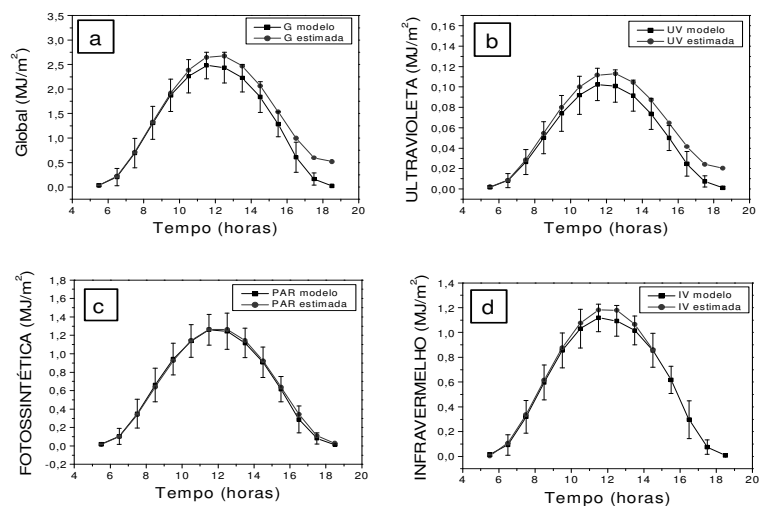


Figura 2. Validação das equações temporais G, UV, PAR e IV diurna.

Na tabela 2 estão apresentados os indicativos MBE, RMSE e d de Willmott, na validação entre a medida e estimativa. Os sinais positivo de MBE indicam que estimativa das quatro radiações superestimam medida, com melhor desempenho para as estimativas das radiações PAR e IV, seguido das radiações UV e G respectivamente.

Tabela 2. Indicativos Estatísticos na validação das equações temporais.

Modelo	MBE (%)	RMSE (%)	d
G	15,28863	19,94569	0,98122
UV	16,4254	19,34423	0,98354
PAR	1,67152	3,68951	0,99937
IV	4,32862	6,49558	0,99807

O indicativo RMSE inferior a 20,0% mostra que o espalhamento seguiu a mesma sequência do indicativo MBE, foi muito bom para as radiações PAR e IV, e satisfatório estatisticamente para as radiações UV e G. O índice de Willmott “d” superior a 0,98 mostra que o ajustamento entre a medida e a estimativa é muito bom, sendo melhor para as radiações na sequência: PAR, IV, UV e G.

A figura 3 mostra a evolução diurna das frações médias horária anuais $\langle K_{UV}^h \rangle_a$, $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$, $\langle K_{IV}^h \rangle_a$, as quais foram obtidas 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 as 19:00h, do período de 2001 a 2004.

A evolução $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ inicia no intervalo horário das 5:00h decrescendo linearmente até as 7:00h. No intervalo das 7,00h as 17,00h, a evolução $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ cresceu lentamente até as 12,30h e decresceu gradativamente ate as 17,0h. A fração media no intervalo foi de 0,0427. No intervalo horário das 17:0h até 19,0h, a fração $\langle K_{UV}^h \rangle_a$ cresceu 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 a $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ um pouco superior a $\langle K_{IV}^h \rangle_a$.

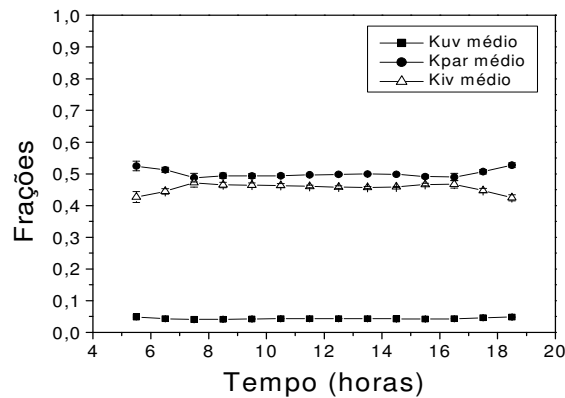


Figura 3 Evolução diurna das frações $\langle K_{UV}^h \rangle_a$, $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$, $\langle K_{IV}^h \rangle_a$

As variações das $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ e $\langle K_{IV}^h \rangle_a$ ocorreram também nos mesmos três intervalos de tempo distintos no dia. No intervalo das 5:00h às 7:00h, a evolução $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ decresceu e a $\langle K_{IV}^h \rangle_a$ cresceu. No período principal, das 7:00h às 17:00 h, a $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ manteve-se aproximadamente constante, com média de 0,491. A $\langle K_{IV}^h \rangle_a$ evoluiu de forma similar a $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$, com média de 0,462. No intervalo das 17:00h às 19:00h h ocorreu o inverso em relação ao período das 5:00h as 7:00h, a $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ cresceu e a $\langle K_{IV}^h \rangle_a$ decresceu. Os desvios das médias das evoluções $\langle K_{PAR}^h \rangle_a$ e $\langle K_{UV}^h \rangle_a$, seguiram a mesma tendência dos desvios da média da $\langle K_{UV}^h \rangle_a$, com diferença apenas na ordem de grandeza.

4. CONCLUSÕES

As evoluções diurnas das radiações G, UV, PAR e IV média horária anual são bem comportadas matematicamente e permitem ajustes de funções parabólicos de quarta ordem com elevados coeficientes de correlação. Na validação, o indicativo de MBE indica que o é melhor para desempenho as radiações PAR e IV, UV e G, respectivamente. O indicativo RMSE inferior a 20,0% mostra que o espalhamento foi bom para as radiações PAR e IV, UV e G. O índice de Willmott “d” superior a 0,98 mostra que o ajustamento é melhor para as radiações na sequência: PAR, IV, UV e G. As frações médias horárias anuais são aproximadamente constantes com médias iguais a : $\langle \overline{K}_{UV}^h \rangle_a = 4,3\%$, $\langle \overline{K}_{PAR}^h \rangle_a = 49,1\%$ e $\langle \overline{K}_{IV}^h \rangle_a = 46,2\%$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.

Agradecimentos: Os autores agradecem a FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro