

CORRELAÇÃO HORÁRIA ENTRE AS RADIAÇÕES UV, PAR, IV E A GLOBAL TOTAL PARA CÉU NUBLADO, PARCIALMENTE NUBLADO E SEM NUUVENS.

JOÃO F. ESCOBEDO¹, EDUARDO N. GOMES², AMAURI P. DE OLIVEIRA³, JACYRA SOARES⁴

¹ Físico, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, Fone (0xx14) 38117162, e-mail: escobedo@fca.unesp.br

² Engº Agrº, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP.

³ Meteorologista, PHD., Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, USP, Rua do Matão, 1226, Butantã, 05508090 - São Paulo, SP.

⁴ Meteorologista, PHD., Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, USP, Rua do Matão, 1226, Butantã, 05508090 - São Paulo, SP.

Apresentado no XV Congresso de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007–Aracaju-SE

RESUMO: No trabalho é apresentado as equações de estimativa horária para as radiações UV, PAR e IV em função global total (G), para quatro tipo de cobertura de céu com coeficientes de determinação R^2 próximo de 1. O coeficiente angular das equações de estimativas horária quantificaram as frações das radiações UV, PAR e IV no espectro da radiação global total, para cada cobertura de céu como: céu nublado ($K_T \leq 0,35$) $b_{UV}^h = 4,9\%$; $b_{PAR}^h = 51,0\%$ e $b_{IV}^h = 44,0\%$; céu parcialmente nublado com dominância para difuso ($0,35 < K_T \leq 0,55$) $b_{UV}^h = 4,4\%$; $b_{PAR}^h = 49,4\%$ e $b_{IV}^h = 46,0\%$; céu parcialmente nublado com dominância para claro ($0,55 < K_T \leq 0,65$) $b_{UV}^h = 4,2\%$; $b_{PAR}^h = 49,0\%$ e $b_{IV}^h = 46,8\%$ e céu aberto $K_T > 0,65$: $b_{UV}^h = 4,0\%$; $b_{PAR}^h = 48,9\%$ e $b_{IV}^h = 47,0\%$. As equações de estimativas, foram validadas obtendo-se os indicativos estatísticos: *MBE* inferior a 5,0%; o indicativo estatístico *RMSE* até 10,6% e “d” de Willmott superior a 0,9879 os quais mostram bom nível de ajustamento entre estimativa e a medida.

PALAVRAS-CHAVE: radiação solar ultravioleta, fotossintética, infravermelha.

RELATIONSHIPS BETWEEN UV, PAR, IR AND GLOBAL RADIATION HOURLY VALUES FOR CLOUDY, PARTIALLY CLOUDY AND CLEAR SKY

ABSTRACT: This work presents equations to estimate hourly solar ultraviolet (UV), photosynthetically active (PAR), and infrared (IR) radiation by hourly solar global (G) radiation, in four types of sky covering, with R^2 near 0.99. The angular coefficient of the hourly equations characterized the UV, PAR and IR fractions of G for each sky covering. For $K_T \leq 0.35$: $b_{UV}^h = 4.9\%$; $b_{PAR}^h = 51.0\%$ and $b_{IR}^h = 44.0\%$; for $0.35 < K_T \leq 0.55$: $b_{UV}^h = 4.4\%$; $b_{PAR}^h = 49.4\%$ and $b_{IR}^h = 46.0\%$; for ($0.55 < K_T \leq 0.65$): $b_{UV}^h = 4.2\%$; $b_{PAR}^h = 49.0\%$ e $b_{IR}^h = 46.8\%$ and for $K_T > 0.65$: $b_{UV}^h = 4.0\%$; $b_{PAR}^h = 48.9\%$ e $b_{IR}^h = 47.0\%$. The equations were validated using the statistical indicators: *MBE* less than 5%, *RMSE* less than 10,6% and “d” of Willmott’s coefficient higher than 0,9879 which showed good adjustment index between the estimate and the measure.

KEYWORDS: ultraviolet, photosynthetic, infrared solar radiation

INTRODUÇÃO: São raras as informações sobre equações de estimativa para as radiações UV, PAR e IV, em função da radiação global total (G) simultaneamente para um único local. A grande maioria das divulgações é para os pares das radiações G e PAR e mais recentemente para G e UV, e ainda para locais diferentes. Com as radiações G e IV, as informações são ainda mais restritas, as duas radiações não são medidas de rotina ou algumas medidas são provenientes de situações específicas como mostra o trabalho de ZHANG et al., 2000. Dos resultados já divulgados para as radiações G e PAR e para G e UV, é conhecido que as frações das radiações UV e PAR da radiação global total na superfície terrestre dependem do tipo de cobertura do céu e de parâmetros atmosféricos como ângulo de elevação, perfil vertical de ozônio, concentração de aerossóis e vapor d'água (FOYO-MORENO et al. 2003, PAPAIOANNOU et al., 1993). A Estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP/Brasil, monitora as radiações: G, UV, PAR e IV desde o ano 2001, com o propósito de estudar as equações de estimativa sob diversas condições de cobertura de céu. As equações de estimativa desenvolvidas para todas coberturas de céu juntas, em um único intervalo de variação (Escobedo, et al 2006,) pode não ter o mesmo desempenho nas estimativas das radiações UV, PAR e UV, para horas e dias, com tipos de cobertura de céu específica como nublada, sem nuvens, etc. Assim, objetivou-se neste trabalho, o desenvolvimento e a validação de equações de estimativa horária, para as radiações UV, PAR e IV em função da radiação G, em quatro condições de cobertura de céu ou em quatro intervalos de variação K_T : 1^o- cobertura de céu nebuloso ($K_T \leq 0,35$); 2^o- cobertura de céu parcialmente nublado com dominância para o difuso ($0,35 < K_T \leq 0,55$); 3^o- cobertura de céu parcialmente nublado com dominância para o claro ($0,55 < K_T \leq 0,65$) e 4^o- cobertura de céu sem nuvens ou aberto ($K_T > 0,65$).

LOCAL E INSTRUMENTAÇÃO: A Estação de Radiometria Solar está inserida em ambiente rural na Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP de Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O e altitude 786m) e monitora desde o ano de 2001 as radiações: ultravioleta, fotossintética (método direto e indireto) e infravermelha de ondas curtas. 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 foi multiplicado pelo fator 0,92 para corrigir o efeito da transmissão da cúpula no elemento sensível do sensor. A irradiância PAR (I_{PAR}) 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: $I_{PAR} = I_G - (I_{UV} + I_{IV})$. Para aquisição de dados, utilizou-se um Datalogger da Campbell CR23X operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 300 leituras ou 5 minutos. A base de dados das radiações utilizada na geração e validação das equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV, compreendem os anos de 2001 a 2005. Os anos de 2001 a 2004 foram utilizados na modelagem e o último, o ano de 2005 na validação. Foram eliminados os dias em que ocorreram paralisações de pelo menos um dos radiômetros devido a problemas elétricos. Eliminou-se 1 dia em 2001, 15 dias em 2002, 6 dias em 2003, 80 dias em 2004 e 37 dias em 2005. A tabela 1 mostra a estatística para cada intervalo de K_T^h . **Tabela 1.** Estatística das radiações G, UV, PAR e IV horária no período de 2001 a 2005 para os quatro intervalos discretos de K_T .

Fração	Intervalo	Média (MJ/m ²)	Desvio(%)	Mínimo (MJ/m ²)	Máximo (MJ/m ²)	Varição (MJ/m ²)	Horas
Global	0<Kt<0,35	0,65	60,00	0,01	1,92	1,90	2566
UV		0,03	57,90	0,00	0,09	0,09	2566
PAR		0,34	58,18	0,00	1,03	1,02	2566
IV		0,28	63,20	0,00	0,81	0,81	2566
Global	0,35<Kt<0,55	1,44	42,62	0,21	2,76	2,55	2525
UV		0,06	46,59	0,01	0,13	0,12	2525
PAR		0,71	44,48	0,04	1,57	1,53	2525
IV		0,67	40,68	0,07	1,29	1,21	2525
Global	0,55<Kt<0,65	1,87	36,37	0,47	3,27	2,80	2128
UV		0,08	43,44	0,02	0,15	0,13	2128
PAR		0,92	38,81	0,19	1,78	1,58	2128
IV		0,88	33,64	0,22	1,53	1,31	2128
Global	Kt>0,65	2,63	24,04	0,78	4,14	3,37	5350
UV		0,11	28,65	0,03	0,18	0,15	5350
PAR		1,29	25,12	0,35	2,18	1,82	5350
IV		1,23	23,07	0,40	1,97	1,57	5350

RESULTADOS E DISCUSSÕES: A Figura 1 mostra as correlações das H_{UV}^h , H_{PAR}^h e H_{IV}^h em função de H_G^h nos quatro intervalos de K_T^h . A variação de energia das radiações H_{UV}^h , H_{PAR}^h e H_{IV}^h em função da H_G^h , é diferente nos quatro intervalos discretos de K_T^h . Na tabela 3 é apresentada as equações de estimativa com os coeficientes de determinação R^2 . Os coeficientes angulares das equações b_{UV}^h , b_{PAR}^h e b_{IV}^h , variaram em cada intervalo de K_T^h . Para as equações H_{UV}^h e H_{PAR}^h , os coeficientes angulares ou frações médias percentuais decresceram e H_{IV}^h aumentou no sentido crescente de K_T^h do primeiro (céu nebuloso) ao quarto intervalo (céu aberto). Sob as condições de céu nebuloso e céu aberto, as frações médias de 4,93% e 4,0%, respectivamente, para H_{UV}^h estão em concordância com os intervalos percentuais encontrados em Córdoba e Valencia de 4,0% a 8,0% para céu nebuloso e 3,7% a 5,5% para céu aberto (PEDRÓS et al., 2000). O decréscimo dos coeficientes angulares para H_{PAR}^h é similar das H_{UV}^h . Sob as condições de céu nebuloso e aberto, o resultado obtido de 51% e 48,9%, respectivamente, para H_{PAR}^h é maior que os 49,0% e maior 48,0% em Atenas (PAPAIOANNOU et al., 1993); e é maior que 47,8% e maior 40,8% para Cyprus – Grécia (JACOVIDES et al., 1997). Os coeficientes de determinação R^2 das equações de estimativas na tabela 2 acima de 0,9790 mostram que H_{UV}^h , H_{PAR}^h e H_{IV}^h estão bem relacionadas com H_G^h em todos intervalos de K_T^h . Entre os quatro intervalos de K_T^h , os R^2 foram mais elevados para a cobertura de céu aberto ($K_T^h > 0,65$) e o menos elevados na cobertura nebulosa ($K_T^h \leq 0,35$).

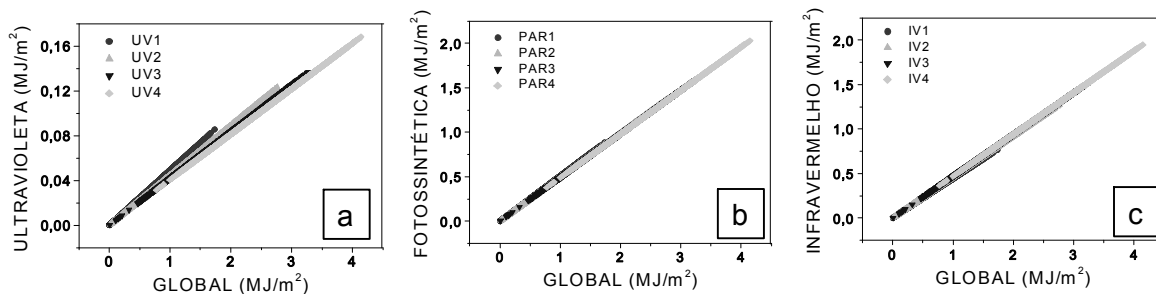


Figura 1- Correlações horárias das radiações: a) H_{UV}^h , b) H_{PAR}^h e c) H_{IV}^h em função de H_G^h para K_T^h total e nos quatro intervalos discretos de K_T^h

Nos dois intervalos de cobertura de céu parcialmente nublada difusa e claro, os coeficientes de determinação R^2 situaram-se entre os valores obtido nos intervalos das coberturas de céu nebuloso e aberto.

Tabela 2. Equações de estimativa horária para as radiações UV, PAR e IV em função de G.

Intervalo	Equações de Estimativa	R^2
$K_T^h \leq 0,35$	$H_{UV}^h = 0,04927 H_G^h$	0,9855
	$H_{PAR}^h = 0,51008 H_G^h$	0,9947
	$H_{IV}^h = 0,44065 H_G^h$	0,9967
$0,35 < K_T^h \leq 0,55$	$H_{UV}^h = 0,04451 H_G^h$	0,9622
	$H_{PAR}^h = 0,49452 H_G^h$	0,9978
	$H_{IV}^h = 0,46097 H_G^h$	0,9965
$0,55 < K_T^h \leq 0,65$	$H_{UV}^h = 0,0417 H_G^h$	0,9839
	$H_{PAR}^h = 0,48957 H_G^h$	0,9966
	$H_{IV}^h = 0,46873 H_G^h$	0,9945
$K_T^h > 0,65$	$H_{UV}^h = 0,04058 H_G^h$	0,9792
	$H_{PAR}^h = 0,48942 H_G^h$	0,9922
	$H_{IV}^h = 0,47000 H_G^h$	0,9894

Os indicativos estatísticos MBE , $RMSE$ e coeficiente “d” de ajustamento obtidos na validação das equações horária estão apresentado na tabela 3. Para MBE , o resultado foi considerado positivo estatisticamente, pois mostrou que as equações de estimativas sub-ou-superestima na mesma ordem de grandeza do erro experimental da medida. No geral, os resultados para o indicativo estatístico MBE , inferiores a $\pm 5,0\%$, são muito bons comparado aos MBE das validações de modelos estatísticos com outras radiações. O indicativo estatístico $RMSE$ nas validações das equações de estimativas horária variou até um máximo de $10,0\%$. O resultado obtido para o indicativo $RMSE$ horário é positivo estatisticamente, tendo em vista que são comparáveis aos citados na literatura para diferentes validações de modelos de estimativas em diferentes locais e com outras radiações.

Tabela 3. Indicativos estatísticos $MBE(\%)$, $RMSE(\%)$, e “d” de Willmott da validação das equações de estimativa das radiações horárias UV, PAR e IV, em função de G.

Intervalo	Radiação	MBE(%)	RMSE(%)	d
$K_T^h \leq 0,35$	UV	-3,18	10,36	0,9942
	PAR	-1,72	5,21	0,9986
	IV	2,45	7,15	0,9975
$0,35 < K_T^h \leq 0,55$	UV	0,15	8,22	0,9916
	PAR	-0,36	3,30	0,9986
	IV	0,38	4,09	0,9977
$0,55 < K_T^h \leq 0,65$	UV	1,15	8,74	0,9848
	PAR	-0,23	3,35	0,9974
	IV	0,14	4,02	0,9958
$K_T^h > 0,65$	UV	0,95	6,27	0,9878
	PAR	-0,08	3,97	0,9944
	IV	0,00	4,38	0,9925

Os coeficientes “d” de Willmott superiores a 0,9879 são elevados e mostram bom nível de ajustamento da estimativa em relação à medida. Entre as radiações, o melhor desempenho, foi para as estimativas H_{PAR}^h que apresentou os coeficientes “d” pouco mais elevados que os “d” do ajuste das estimativas H_{IV}^h e H_{UV}^h , nos quatro intervalos de K_T .

CONCLUSÕES: As equações de estimativas horária para as radiações em função da global, nas quatro coberturas de céu, são simples, com coeficientes de determinação próximos de 1. As frações horária UV, PAR e IV dependem da cobertura de céu :o para ($K_T \leq 0,35$), $b_{UV}^h = 4,9\%$; $b_{PAR}^h = 51,0\%$ e $b_{IV}^h = 44,0\%$; para ($0,35 < K_T \leq 0,55$), $b_{UV}^h = 4,4\%$; $b_{PAR}^h = 49,4\%$ e $b_{IV}^h = 46,0\%$; para ($0,55 < K_T \leq 0,65$), $b_{UV}^h = 4,2\%$; $b_{PAR}^h = 49,0\%$ e $b_{IV}^h = 46,8\%$ e ($K_T > 0,65$), $b_{UV}^h = 4,0\%$; $b_{PAR}^h = 48,9\%$ e $b_{IV}^h = 47,0\%$. Na validação, os indicativos estatísticos *MBE*, *RMSE* e “d” mostraram que a equações de estimativas horária são precisas e entre as radiações o desempenho é melhor na para as radiações PAR, IV e UV.

AGRADECIMENTO: À FAPESP, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA:

- ESCOBEDO, João Francisco; GOMES, Eduardo Nardini; OLIVEIRA, Amauri Pereira de; SOARES, Jacyr. RADIAÇÕES SOLARES UV, PAR E IV: I-ESTIMATIVA EM FUNÇÃO DA GLOBAL. In: II ISES, Internacional Solar Energy Society. 2006.
- FOYO-MORENO, I. ALADOS, I. OLMO, F.J. ALADOS-ARBOLEDAS, L. The influence of cloudiness on UV global irradiance (295-385nm). *Agricultural and Forest Meteorology*. V. 120, P. 101-111, 2003.
- JACOVINDES, C.P., TIMBIOS, F., ASIMAKOPOULOS, D.N., STEVEN, M.D. Urban aerosol and clear skies spectra for global and diffuse photosynthetically active radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.87, p. 91-104, 1997.
- PAPAIIOANNOU, G., NIKOLIDAKIS, G., ASIMAKOPOULUS, D.N., RETALIS, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. For. Meteorol.*, v.81, p.287-98, 1996.
- PEDRÓS, G., MARTINEZ, M. P., LOPEZ, A. Modelización de la dependência entre la radiation ultravioleta horária y la radiación total horária para Córdoba. Espanha. Congresso Ibérico de Energia Solar, 9. Córdoba, 27 a 29 de março de 2000.
- 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.