

FRAÇÕES SOLARES HORÁRIA K_{UV} , K_{PAR} E K_{IV} EM FUNÇÃO DE K_T .

João F. Escobedo¹, Eduardo N. Gomes², Amauri P. de Oliveira³, Jacyra Soares⁴

RESUMO: No trabalho é apresentado as equações de estimativas horária, para as frações K_{UV} , K_{PAR} e K_{IV} em função de intervalos infinitesimais do índice de claridade K_T , e a validação por meio dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e “d” de Willmott. As correlações das frações K_{UV} , K_{PAR} e K_{IV} , em função do índice de claridade K_T geraram equações de estimativas de terceiro grau, com elevados coeficientes de determinação $R^2_{uv}= 0,9959$; $R^2_{par}= 0,9889$ e $R^2_{iv}= 0,9981$. Os indicativos estatísticos da validação: MBE inferior a 5.0%; o RMSE inferior a 10.0% e o indicativo “d” de Willmott superior a 0,80 mostram que as frações médias K_{UV} , K_{PAR} e K_{IV} , horária podem ser estimadas com precisão em função do índice de claridade,.

ABSTRACT: This work presents equations to estimate the hourly solar radiation fractions ultraviolet (K_{UV}), photosynthetically active (K_{PAR}), and infrared (K_{IV}) as function of clearness index infinitesimal intervals (K_t). It's also presented the equation's validation using the statistical indicators MBE, RMSE and "d" of Willmott. The correlations of the fractions K_{UV} , K_{PAR} and K_{IV} , as function of the K_t , generated equations of third degree, with high determination coefficients: hourly ($R^2_{UV}=0,9959$; $R^2_{PAR} = 0,9889$ and $R^2_{IV} = 0,9981$). The statistical indicators of the validation were: MBE less than 5.0%; RMSE less than 10.0% and "d" of Willmott higher than 0,80. This results showed that the hourly fractions K_{UV} , K_{PAR} and K_{IV} could be estimated as function of K_t , with accurately and accuracy.

Palavras-chave: Frações solares UV, PAR e IV, Espectro solar, Radiações Solares.

INTRODUÇÃO

¹ Físico, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, e-mail: escobedo@fca.unesp.br

² Eng^oAgr^o, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, e-mail: engomes@fca.unesp.br

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

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

O método de estimar radiações por meio de equação de regressão, cuja variável independente ou de entrada é outra radiação, medida na superfície terrestre, possui uma limitação singular: a validade da equação é restrita para o local de origem das medidas, ou para regiões similares climaticamente. Desta forma, o uso de um modelo por meio de radiações, não pode ser estendida a outros locais, principalmente no Brasil, país de extensão continental e com diferenças climáticas bastante significativas entre as regiões.

O modelo proposto por Liu-Jordan em 1960, o qual substitui da equação de estimativa, as radiações por frações, elimina grande parte da dependência do local. É uma alternativa técnica e economicamente viável, pois as equações poderão ser estendidas a outras regiões, onde a radiação global é medida de rotina e tem como vantagem não necessitar de radiômetros solares custosos e de difícil aferição. Esse modelo vem sendo usado por muitos pesquisadores para as radiações: difusa, direta, fotossintética e ultravioleta. (Liu & Jordan, 1960; Erbs et al., 1979; Iqbal, 1979b; Martínez-Lozano, et al., 1994; Reindl et al., 1990; Vignolia e Mcdaniels et al., 1986; Alados I., Alados-Arboledas, 1999).

Assim, objetivou-se neste trabalho, desenvolver por meio do modelo de Liu-Jordan equações de estimativa, horária, para as frações K_{UV} (H_{UV}/G); K_{PAR} (H_{PAR}/G) e K_{IV} (H_{IV}/G) em função de K_T (G/H_0), onde H_{UV} , H_{PAR} , H_{IV} e G são as radiações ultravioleta, fotossintética, infravermelha e global, integradas na hora.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS FRAÇÕES HORÁRIAS.

Na figura (1) é mostrado a distribuição de frequência das frações K_T^h , K_{UV}^h , K_{PAR}^h e K_{IV}^h , para os anos de 2001 a 2004, num total de 12365 horas. Contabilizou-se o número de frações nas quatro tipos de coberturas de céu como: para $K_T^h \leq 0,35$, atmosfera nebulosa, totalizou 2414 frações ou 19,52% do total; para $0,35 < K_T^h \leq 0,55$, parcialmente nublada com dominância para atmosfera difusa, 2508 frações ou 20,28% do total; para $0,55 < K_T^h \leq 0,65$, parcialmente nublado com dominância para atmosfera de céu claro 2106 frações ou 17,03% do total, e $K_T^h > 0,65$, céu aberto, 5337 frações ou 43,16% do total.

A distribuição de frequência das frações K_{UV}^h , K_{PAR}^h e K_{IV}^h (figura 1 b,c,d) mostra que a fração K_{UV}^h variou de 0,030 a 0,073 com 2508 frações, ou 20,3% do total em $K_T^h = 0,041$; a fração K_{PAR}^h variou no intervalo de 0,35 a 0,69 com 4117 frações ou 33,3 % do total em $K_T^h = 0,4975$; a fração K_{IV}^h variou de 0,24 a 0,60, com 4462 frações, ou 28,25% do total em $K_T^h = 0,4725$.

Na tabela 1 é apresentada a estatística das frações médias $\langle K_{UV}^h \rangle$, $\langle K_{PAR}^h \rangle$ e $\langle K_{IV}^h \rangle$ com respectivos desvios em percentagem, frações mínima e máxima, sobre o total de 12365 frações.

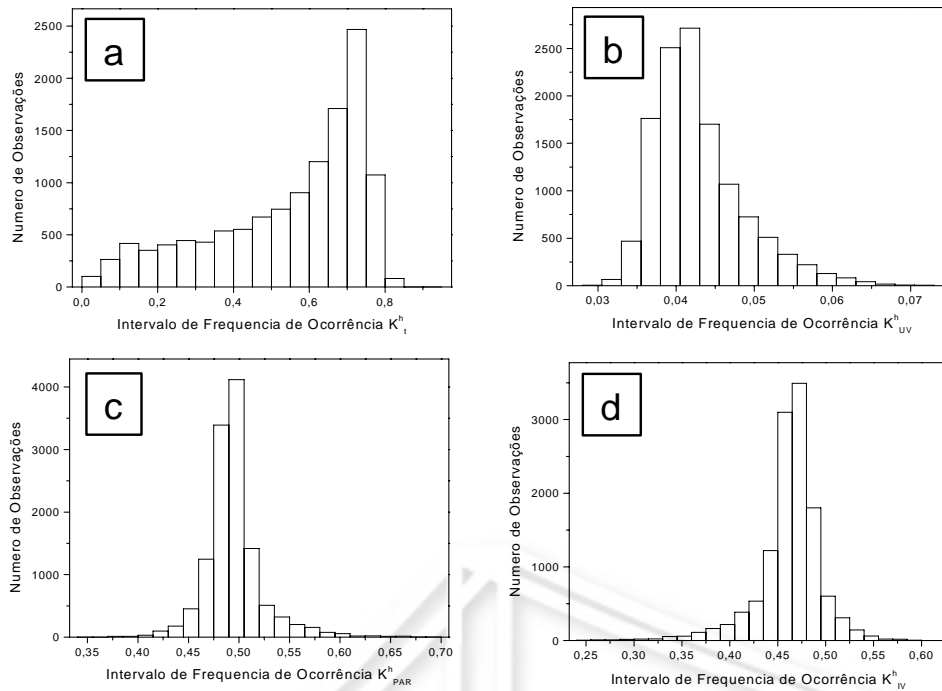


Figura 1. Histograma da de freqüência das frações horárias (a) K_T^h ; (b) K_{UV}^h ; (c) K_{PAR}^h e (d) K_{IV}^h

Para intervalo total de K_T^h , a fração média obtida foi $\langle K_T^h \rangle = 0,5463$ e desvio de 37,1%, enquanto as frações médias foram: $\langle K_{UV}^h \rangle = 0,0429$ e desvio de 13,5%; $\langle K_{PAR}^h \rangle = 0,4947$ e desvio de 5,8% e $\langle K_{IV}^h \rangle = 0,4624$ e desvio de 7,2%.

Tabela 1. Estatística das frações médias $\langle K_{UV}^h \rangle$, $\langle K_{PAR}^h \rangle$ e $\langle K_{IV}^h \rangle$ com respectivos desvios em percentagem, frações mínima e máxima, sobre o total de 12365 frações

Fração	Horas	Média	Desvio (%)	Mínimo	Máximo	Varição
$\langle K_T^h \rangle$	12365	0,5464	37,10	0,01	0,90	0,89
$\langle K_{UV}^h \rangle$	12365	0,0429	13,55	0,03	0,07	0,04
$\langle K_{PAR}^h \rangle$	12365	0,4947	5,79	0,35	0,69	0,34
$\langle K_{IV}^h \rangle$	12365	0,4624	7,17	0,24	0,60	0,36

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura (2) mostra que as correlações das frações K_{UV}^h , K_{PAR}^h e K_{IV}^h variam nos sentidos vertical e horizontal em função de K_T^h : na vertical, as frações K_{UV}^h , K_{PAR}^h e K_{IV}^h possuem um largo intervalo de variação para cada intervalo infinitesimal de K_T^h , enquanto que na horizontal, as frações K_{UV}^h e K_{PAR}^h decrescem e K_{IV}^h cresce, gradativamente, no sentido crescente de K_T^h , até atingir o equilíbrio.

A causa da dispersão vertical das frações esta associada à variação da massa ótica. As frações K_{UV}^h e K_{PAR}^h , são maiores no sentido decrescente da massa ótica ou seja, as frações são maiores nas massa ótica menores, enquanto que a evolução da fração K_{IV}^h , é maior no sentido crescente da massa ótica, ou ainda, a fração é maior na massa ótica maior.

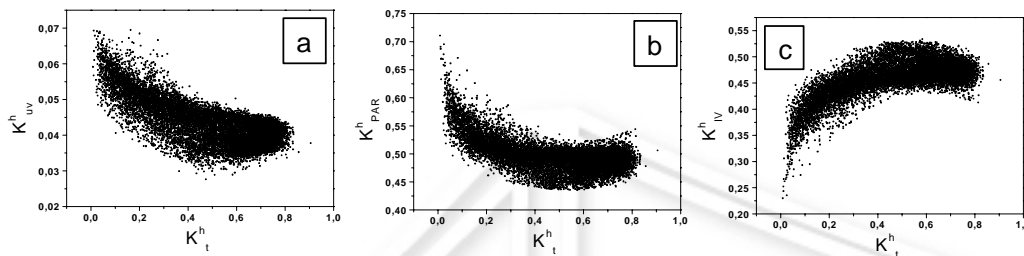


Figura 2. Correlações das frações K_{UV}^h , K_{PAR}^h e K_{IV}^h em função de K_T^h .

Na variação horizontal, as frações K_{UV}^h e K_{PAR}^h decrescem e K_{IV}^h cresce no sentido em que K_T^h aumenta, até atingir o equilíbrio. As K_{UV}^h e K_{PAR}^h decrescem em função da mudança de cobertura do céu, e ambas, são maiores na cobertura de céu nublado ($K_T^h \leq 0,35$) e menores na cobertura de céu sem nuvens ($K_T^h \geq 0,65$). A K_{IV}^h evoluiu de forma inversa as K_{UV}^h e K_{PAR}^h , ou seja, aumenta no sentido crescente de K_T^h , sendo menor na cobertura de céu nublado e maior em céu claro.

Para ajustar uma função simples, optou-se em utilizar nas correlações, frações médias \overline{K}_{UV}^h , \overline{K}_{PAR}^h e \overline{K}_{IV}^h para cada intervalo centesimal K_T^h . Esta técnica foi utilizada por diversos pesquisadores, para as frações difusa K_d^h e direta K_D^h , relacionadas com intervalos centesimais de K_T^h (Orgill et al 1977, Bártoli et al 1982). A figura (3) mostra as correlações das \overline{K}_{UV}^h , \overline{K}_{PAR}^h e \overline{K}_{IV}^h em função de K_T^h . As equações de estimativa horárias com os coeficientes de determinação (R^2) estão apresentadas na tabela (2).

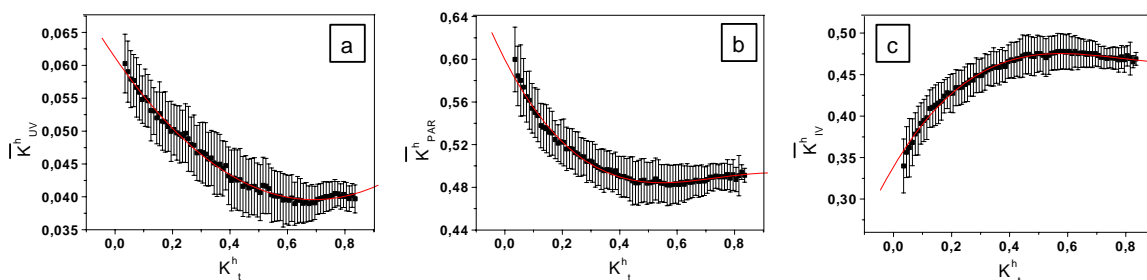


Figura 3. Correlações das Frações médias: (a) \overline{K}_{UV}^h ; (b) \overline{K}_{PAR}^h e (c) \overline{K}_{IV}^h , em função de K_t^h .

Os elevados valores dos coeficientes de determinação: $R^2_{uv}=0,9959$; $R^2_{par}= 0,9889$ e $R^2_{iv}=0,9981$, mostram que as variações das \overline{K}_{UV}^h , \overline{K}_{PAR}^h e \overline{K}_{IV}^h estão bem relacionadas com as variações de K_t^h . O resultado foi positivo estatisticamente, para todas as frações e melhor na seqüência para \overline{K}_{UV}^h , \overline{K}_{PAR}^h e \overline{K}_{IV}^h , respectivamente.

Tabela 2: Equações de estimativa para as frações \overline{K}_{UV}^h , \overline{K}_{PAR}^h e \overline{K}_{IV}^h em função de K_t^h , e coeficientes de determinação.

Equações de Estimativa Horária	R^2
$\overline{K}_{UV}^h = 0,06119 - 0,06323(K_t^h) + 0,04727(K_t^h)^2 - 0,00151(K_t^h)^3$	0,99182
$\overline{K}_{PAR}^h = 0,59975 - 0,52412(K_t^h) + 0,76022(K_t^h)^2 - 0,34354(K_t^h)^3$	0,98489
$\overline{K}_{IV}^h = 0,33897 + 0,5881(K_t^h) - 0,80989(K_t^h)^2 + 0,34719(K_t^h)^3$	0,9876

Na tabela (3) são apresentados os indicativos estatísticos MBE, RMSE, “d” da validação das equações das tabelas (2), onde foi comparada a estimativa horária com as medidas.

Tabela 3 indicativos estatísticos MBE, RMSE, “d” de ajustamento da validação das equações

	Modelo	MBE	RMSE	MBE(%)	RMSE(%)	d
Horária	\overline{K}_{UV}^h	0,0014	0,0041	3,2263	9,7350	0,8736
	\overline{K}_{PAR}^h	-0,0081	0,0234	-1,6021	4,6283	0,7860
	\overline{K}_{IV}^h	0,0067	0,0249	1,4875	5,5120	0,8276

Os sinais negativos do indicativo MBE mostram que a estimativa horária das frações UV e PAR superestima a medida, enquanto, o sinal positivo do BEM para IV indica que subestima. O indicativo estatístico MBE horário de -1,6% para PAR, de 1,5% para IV, e de -3,2% para UV, foram considerados bom estatisticamente, pois mostra que a estimativa, sub ou superestima na mesma ordem de grandeza do erro experimental. O indicativo RMSE inferior a 10,0% : 4,6%(PAR) 5,5% (IV) e 9,7%(UV) mostra que a dispersão é inferior a validação de outras radiações. O

coeficiente “d” superior a 0,80 e mostra que o ajuste é positivo com melhor desempenho para as estimativas das radiações UV, IV e PAR.

CONCLUSÕES

As frações das radiações UV, PAR e IV, horária na superfície terrestre dependem de fatores climáticos. As correlações horárias geraram equações de estimativas polinomial de terceiro grau, com coeficientes de determinação próximos de 1, onde o melhor ajuste foi para as frações UV, IV e PAR. Na validação, os indicativos estatísticos MBE, RMSE, “d” para UV, PAR e IV foram: MBE inferior a 5,0%, RMSE inferior a 10,0% e “d” superior a 0,80. As equações podem ser usadas com boa precisão e razoável exatidão estatística.

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

REFERÊNCIAS

- ALADOS I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.93, p.27-38, 1999.
- BARTOLI, B., CUOMO, V., AMATO, U. Diffuse and bean components of daily global radiation in Genova and Macerata. *Solar Energy*, v.28, p.307-11, 1982.
- ERBS, D.G., KLEIN, S.A., DUFFIE, J.A. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy*, v.28, p.293-302, 1982.
- IQBAL, M. A study of Canadian diffuse and total solar radiation data - II, Monthly average hourly horizontal radiation. *Solar Energy*, v.22, p.87-90, 1979b.
- LIU, B. Y. H., JORDAN, R. C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, v.3, n.4, p.1-19, 1960.
- MARTÍNEZ-LOZANO, J.A., CASANOVAS, A.J. and UTRILLAS, M.P. Comparison of global UV (290 -385 nm) and global irradiation measured during the warm season in Valencia, Spain. *International Journal of Climatology*, v.14, p.93-102, 1994.
- ORGILL, J. F., HOLLANDS, K. G. T. Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy*, v.19, n.3, p.357-359, 1977.
- REINDL, D. T., BECKMAN, W. A., DUFFIE, J. A. Diffuse fraction correlations. *Solar Energy*, v.45, n.1, p.1-7, 1990.
- VIGNOLIA, F. , McDANIELS, D. K. Beam-global correlations in the pacific northwest. *Solar Energy*, v.36, p.409-18, 1986.