

Estimativa das radiações global, difusa e direta do espectro IV em função das radiações global, difusa e direta do espectro total.

Taiza Juliana Rossi¹; Eduardo Nardini Gomes²; João Francisco Escobedo³

¹ Graduando em Ciências biológicas, IB-UNESP

² Campus Experimental de Registro/SP/Brasil

³ Departamento de Engenharia Rural, FCA/ UNESP/Botucatu

RESUMO: É descrito no presente trabalho a obtenção de equações de estimativas para as radiações infravermelho global (H_{GIV}^d), difusa (H_{dIV}^d) e direta (H_{DIV}^d) em função das radiações global (H_G^d), difusa (H_d^d) e direta (H_D^d) do espectro total, respectivamente. A base de dados utilizada na modelagem é do período de 2003 a 2006. Nas medidas das duas radiações globais, utilizou-se piranômetros da Eppley, sem e com filtro seletivo, respectivamente, enquanto que nas medidas das duas radiações difusas, piranômetros da Eppley, sem e com filtro seletivo, ambas com anéis de sombreamento. Correlacionou-se os pares da cada radiação por meio de regressão do tipo ($Y = a X$) e obteve-se as seguintes equações lineares com coeficientes de determinação R^2 :

$$H_{GIV}^d = 0,459 H_G^d \quad (R^2 = 0,936);$$

$$H_{dIV}^d = 0,385 H_d^d \quad (R^2 = 0,955);$$

$$H_{DIV}^d = 0,508 H_D^d \quad (R^2 = 0,944).$$

Os elevados coeficientes de determinação, próximos dos 100%, mostram que as radiações H_{GIV}^d , H_{dIV}^d e H_{DIV}^d estão estatisticamente bem correlacionadas com as radiações H_G^d , H_d^d e H_D^d respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: radiação infravermelha, modelos de estimativa, radiações global e difusa.

Estimates of the global, diffuse and direct radiation of the NIR spectrum as a function of the global, diffuse and direct radiation of the total spectrum

SUMMARY This study describes how estimate equations are obtained for global infrared (H_{GNIR}^d), diffuse (H_{dNIR}^d) and direct (H_{DNIR}^d) radiation as a function of the global (H_G^d), diffuse (H_d^d) and direct (H_D^d) radiation of the total spectrum, respectively. A data base from 2003 to 2006 was used for modeling. Measurement of the two kinds of global radiation was performed by Eppley pyranometers with and without selective filter, respectively, while measurement of the two kinds of diffuse radiation was performed by Eppley pyranometers, without and with selective filter, both equipped with shadow rings. Pairs of each radiation were correlated by ($Y = a X$) regression, and linear equations with determination coefficients R^2 were obtained as follows:

$$H_{GNIR}^d = 0.459 H_G^d \quad (R^2 = 0.936);$$

$$H_{dNIR}^d = 0.385 H_d^d \quad (R^2 = 0.955);$$

$$H_{DNIR}^d = 0.508 H_D^d \quad (R^2 = 0.944)$$

The high determination coefficients, close to 100%, show that the H_{GNIR}^d , H_{dNIR}^d and H_{DNIR}^d are statistically well correlated with the H_G^d , H_d^d and H_D^d radiation, respectively.

KEYWORDS: Infrared radiation, estimation model, global and diffuse radiation.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



INTRODUÇÃO.

A grande maioria dos trabalhos com as radiações espectrais UV, PAR e IV vem de estudos com os modelos estatísticos, os quais são simples e precisos nas estimativas dessas radiações para locais específicos de origem dos modelos (Correa et al 2012). A radiação UV e PAR já foram investigadas em muitas cidades do globo terrestre como mostram trabalhos de Robaa S. M. 2004, Cañada J. et al 2003; Jacovides et al 2007; Finch et al 2004; Escobedo et al., 2009 e 2011. As razões UV/G e PAR/G são altamente dependente das variações das concentrações de nuvens, vapor d'água, ar seco e aerossóis, na atmosfera do local. Com as radiações IV e G existem poucas informações por meio de modelos ou medidas na superfície terrestre. Resultados recentes mostram que a fração IV da radiação global é também dependente das variações climáticas (Escobedo et al. 2011; Zhang 2000 e Bolsenga (1997).

Estudos com as radiações global e difusa do espectro total e das radiações global e difusa do espectro IV, em um único local há poucas informações disponíveis na literatura. Com esse propósito, monitorou se as radiações G e difusa do espectro total e IV no período de 2003 a 2006 em Botucatu/SP/Brasil. Neste trabalho é apresentada as correlações entre as radiações infravermelho global diárias (H_{GIV}^d) difusa (H_{dIV}^d) e direta (H_{dIV}^d) em função das radiações global (H_G^d), difusa (H_d^d) e direta (H_D^d) do espectro total. A validação do modelo foi analisada por meio dos indicativos estatísticos MBEM, RMSE e d de Wilmott.

MATERIAIS E MÉTODOS

As medida foram realizadas nos anos de 2003 a 2006, na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP da UNESP na seguinte coordenada geográfica: latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m. O clima local é temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido, e o inverno é seco. As irradiâncias global do espectro total e infra-vermelho (I_G^d e I_{GIV}^d) foram medidas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de transmissividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0um e 0,70 a 3,0um respectivamente. As irradiâncias difusas (I_d^d e I_{dIV}^d) foram monitoradas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de transmissividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0um e 0,70 a 3,0 um respectivamente, utilizando anéis de sombreamento tipo **MEO** com as seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura e 1mm de espessura (Melo e Escobedo, 1994) (Fig 1). A incerteza na medida da irradiâncias com piranômetros da Eppley foi de 4,1% (Reda, 2008). Na aquisição dos dados, utilizou-se um Datalogger Campbell 23X, operando na frequência de 1Hz e armazenando médias de 5 minutos. Os dados de irradiâncias passaram por um controle de qualidade e numa segunda etapa, foram processados as integrações das irradiações na partição diária (Chaves e Escobedo, 2000). As radiações direta H_D^d e H_{dIV}^d foram obtidas pelo método indireto, ou seja, pela diferença entre as radiações H_G e H_d ou H_{GIV} e H_{dIV} por meio da equação: $H_D = H_G - H_d$ e $H_{dIV} = H_{GIV} - H_{dIV}$



Figura 1 Piranômetros Eppley PSP medindo as radiações globais e piranômetros Eppley PSP com anéis de sobreamento medindo as radiações difusas.

A radiação difusa medida pelo anel de sobreamento **MEO** passou primeiramente por um processo de correção isotrópico (FC), as quais fazem correções em função da geometria do anel de sobreamento, do local e dia. O fator de correção isotrópico (FC) usado para compensar as radiações difusas (total e IV) interceptadas pelo anel de sobreamento **MEO**, foi calculado pela expressão:

$$FC = [1 - (H'_d/H_d)]^{-1} \quad (1)$$

em que: H_d ou H_{dIV} são as radiações difusas (total e IV), enquanto que H'_d ou H'_{dIV} são as radiações difusas (total e IV) interceptadas durante o dia pelo anel de sobreamento. A razão H'_d/H_d ou H'_{dIV}/H_{dIV} foram calculadas pela equação (2) proposta por Oliveira et al 2002 em função das dimensões do anel (largura e diâmetro) do dia (declinação solar) e local das medidas (latitude):

$$H'_d / H_d = \left(\frac{2b}{\pi R} \right) \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \int_0^{\omega_p} \cos(z) d\omega \quad (2)$$

onde b e R são a largura e raio do anel, δ é a declinação solar, ϕ é a latitude, z é o ângulo zenital e ω é o ângulo horário do sol, variando do nascer até o pôr do sol.

Na obtenção do modelo estatístico estabeleceu correlações entre as radiações global (H_G^d), difusa (H_d^d) e direta (H_D^d) do espectro total com as radiações global (H_{GIV}^d), difusa (H_{dIV}^d) e direta (H_{DIV}^d) do espectro infravermelho na partição diária. As equações de estimativa foram ajustadas através de regressão linear do tipo ($Y = aX$) entre as correlações H_{GIV}^d e H_G^d ; H_{dIV}^d e H_d^d ; H_{DIV}^d e H_D^d .

Na validação do modelo estatístico foi utilizada uma base de dados de dois anos das irradiações diárias aqui denominada por anos típico e atípico, ambos selecionados a partir da base de dados total dos 4 anos. A seleção dos anos típico e atípico, foi efetuada através de análises estatísticas onde se comparou para cada mês do ano, o valor da irradiação média entre os anos, considerando o intervalo de variação do desvio padrão da média, com o valor da irradiação média de cada ano. Os indicadores estatísticos utilizados na avaliação do desempenho das equações de estimativa foram: desvio das médias MBE (Mean Bias Error), raiz quadrada do desvio quadrado médio RMSE (Root Mean Square Error), e “ d ” de Willmott. Estes índices estatísticos permitem a detecção de subestimativa ou superestimativa, espalhamento ou tendência sistemática e ajustamento, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura (2a ,b c) mostra as correlações entre os valores de H_{GIV}^d , H_{dIV}^d e H_{DIV}^d do espectro IV e os valores de H_G^d , H_d^d e H_D^d do espectro total respectivamente. As correlações entre H_{GIV}^d e H_G^d (fig2a), H_{dIV}^d e H_d^d (fig2b) e H_{DIV}^d e H_D^d (fig2c) são lineares em amplos intervalos de variações: H_G^d de 3,73MJ/m² a 31,4MJ/m², H_d^d de 1,1MJ/m² a 15,9MJ/m², H_D^d variou de 0,001MJ/m² a 28,7,0MJ/m² .

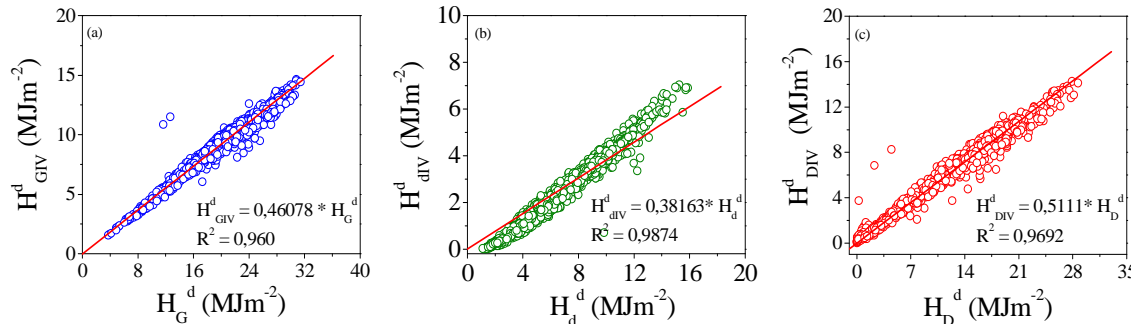


Figura 2abc Correlações entre os valores de H_{GIV}^d , H_{dIV}^d e H_{DIV}^d do espectro IV e os valores de H_G^d , H_d^d e H_D^d do espectro total, respectivamente.

As equações lineares (tipo $Y = a X$) obtidas das correlações mostradas na figura(2a,b,c) por meio de regressão com respectivos coeficientes de determinação R^2 foram:

$$H_{GIV}^d = 0,461 H_G^d \dots\dots\dots R^2 = 0,960. \quad (3)$$

$$H_{dIV}^d = 0,382 H_d^d \dots\dots\dots R^2 = 0,987. \quad (4)$$

$$H_{DIV}^d = 0,511 H_D^d \dots\dots\dots R^2 = 0,969. \quad (5)$$

Os coeficientes angulares das equações (3, 4 e 5) representam as frações das radiações global, difusa e direta do espectro IV das radiações global, difusa e direta do espectro total. Os elevados valores de R^2 , próximos de 100%, mostram que as radiações do espectro IV e total, H_{GIV}^d e H_G^d , H_{dIV}^d e H_d^d , e H_{DIV}^d e H_D^d estão estatisticamente muito bem correlacionados.

A equação (3) mostra que de 100% da radiação global (H_G^d) do espectro total que atingiu a superfície terrestre em Botucatu, 46,1% é do tipo infravermelha (H_{GIV}^d). Os demais percentuais espectrais estão distribuídos para as radiações UV e PAR, cujas frações UV/G e PAR/G em Botucatu é da ordem de 4,2% e 49,0%. respectivamente (Escobedo et al 2011). Para valores sobre todas as coberturas de céu, a fração IV constitui o percentual entre 46.9% a 51.0% da radiação global, como mostram os trabalhos de Escobedo et al (2011) para Botucatu no Brasil; Zhang (2000) em Lhasa na China e Bolsenga (1997) em Thule na Groenlândia. Similarmente, as equações (4 e 5) mostram os percentuais das frações difusa e direta na horizontal IV e radiações difusa e direta na horizontal do espectro total. Para 100% das radiações difusa (H_d^d) e direta na horizontal(H_D^d) espectro total, os valores percentuais de 38,2% e 51,1% são radiações difusa (H_{dIV}^d) e direta na horizontal(H_{DIV}^d) espectro infra-vermelho.

A figura (3) mostra as correlações obtidas para duas situações de validação entre estimativa de H_{GIV}^d , H_{dIV}^d , e H_{DIV}^d e medida de H_{GIV}^d , H_{dIV}^d , e H_{DIV}^d com as bases de dados típico e atípico. As distribuições dos valores estimados e medidos, para ambas as bases de dados típica e atípica, estão em concordância na linearidade e que representam curvas ideais de 45° nos ajustes.

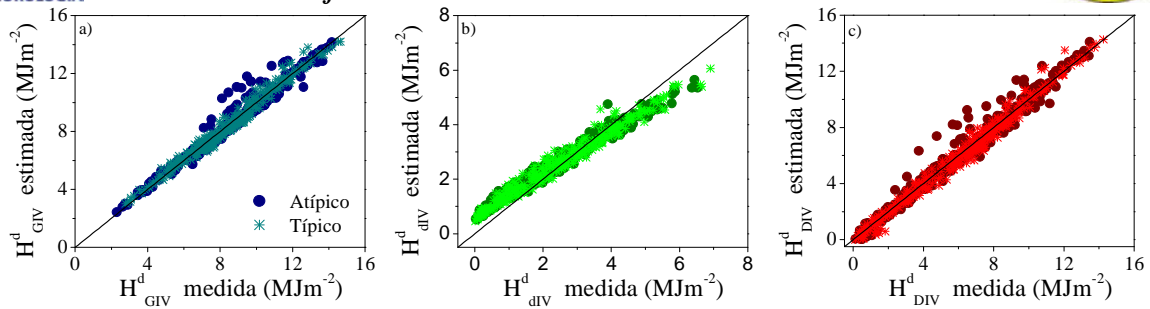


Figura 3 Comparação entre estimativa de H^d_{GIV} , H^d_{ativ} , e H^d_{DIV} e medida de H^d_{GIV} , H^d_{ativ} , e H^d_{DIV} do ano típico e do ano atípico.

Os indicadores estatísticos MBE, RMSE e d de Willmott, obtidos da comparação dos valores estimados pelas equações (3,4 e 5) e as medidas são mostradas na figura(4)

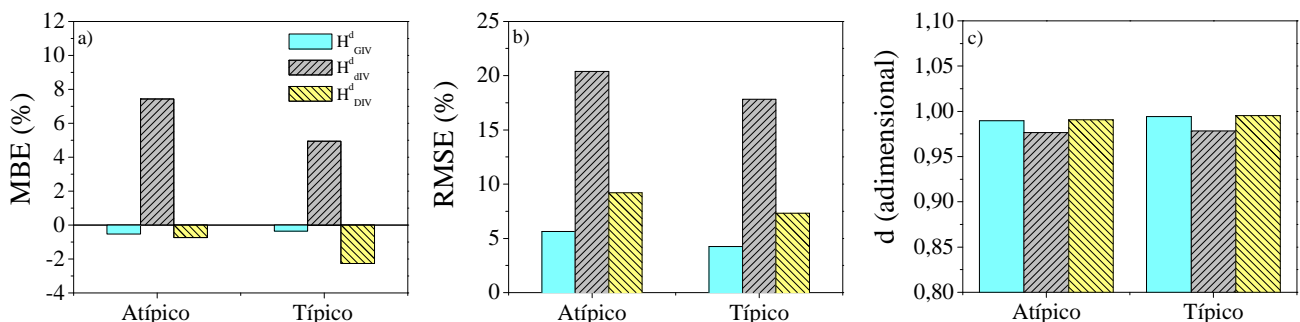


Figura 4 : Indicativos estatísticos MBE, RMSE e d de Willmott na validação das equações (1,2 e 3).

Os resultados obtidos para MBE (fig 4a) mostram que a equação (3) subestima as medidas nas duas situações: em 0,6 % no ano atípico e 0,5% no ano típico. Diferentemente, equação (4) superestima as medidas nas duas situações 7,5% e 5,0% respectivamente. A equação (5) subestima as medidas nas duas situações: em 0,7% na pior e 2,3% na melhor condição validação. Os resultados obtidos para RMSE (fig 4b) mostram o que o espalhamento com a equação (3) é maior na pior condição de validação (RMSE = 5,6%) e menor na melhor condição de validação (RMSE = 4,3%); similarmente com a equação (4): RMSE = 20,4% e RMSE = 17,8% respectivamente. Igualmente com a equação (5) RMSE = 9,2% e RMSE = 7,3% respectivamente. Os níveis de ajuste d (fig 4c) foram superiores 0,98 nas duas condições de validação para as três radiações.

CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos e discutidos neste trabalho pode-se concluir que existe uma correlação linear entre as irradiações diárias global, difusa e direta do espectro total com as radiações diárias global, difusa e direta do espectro IV. As equações de estimativas mostram que para irradiação global que atinge a superfície terrestre em Botucatu 46,1% é do tipo infravermelha. Para 100% das irradiações difusa e direta na horizontal espectro total, os valores de 38,2% e 51,1% são irradiações difusa e direta na horizontal espectro infravermelho. As equações de estimativas $H^d_{GIV} = 0,459 H_G^d$ ($R^2 = 0,936$); $H^d_{ativ} = 0,385 H_d^d$ ($R^2 = 0,955$); $H^d_{DIV} = 0,508 H_D^d$ ($R^2 = 0,944$) e com os baixos valores dos indicadores MBE, RMSE, e o elevado valor do "d" de Willmott, obtidos na validação mostram que as equações podem ser utilizadas com precisão e exatidão em aplicações nas áreas biológica, agrônômica e meteorológica entre outras com elevados coeficientes de determinação.

Agradecimentos FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolsenga S. J. Near Infrared Radiation in Northern Greenland. *Journal Applied Meteorology* 6, 449-451, 1997.
- Cañada J., Pedros G., Bosca J. V. Relationships between UV (0.290-0.385 μm) and broad band solar radiation hourly values in Valencia and Córdoba, Spain. *Energy* 28, 199-217, 2003.
- Chaves M., Escobedo, J.F. A software to process daily solar radiation data. *Renewable Energy*, v19, n^o1, p339-344, 2000.
- Côrrea, F. ; Escobedo, J. F. ; Dal Pai, A.; Teramoto, E. T. Modelo de Angström-PreScott para estimativa das radiações UV, PAR e IV em Botucatu/SP/Brasil. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 16, p. 61-68, 2012.
- Escobedo J. F., Gomes E., Oliveira A. P., Soares J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy* 86, 299-309, 2009.
- Escobedo J. F., Gomes E. N., Oliveira A. P., Soares J. R.. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy* 36, 169-178, 2011
- Finch D. A., Bailey W. G., McArthur L. J. B., Nasitwitwi M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 122, 229-38, 2004.
- Jacovides C. P., Tymvios F. S., Assimakopoulos V. D.. The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. *Agricultural and Forest Meteorology* 143, 277-87, 2007.
- Melo, J.M.D.; Escobedo, J.F. Medida da radiação solar difusa. VII Congresso Ibérico de Energia Solar, Vigo, Espanha. *Anais do Internacional Solar Energy Society*, v.1, 1994.
- Oliveira, A.P., Escobedo, J.F., Machado, A.J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston, v.5, p 698-708, 2002.
- Reda, I.M.; Myers, D.R.; Stoffel, T.L. *Uncertainty Estimate for the Outdoor Calibration of Solar Pyranometers*: NCSLI Measure, *The Journal of Measurement Science*; 3(4), pp. 58-66, 2008.
- Robaa S. M. A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. *Solar Energy* 77, 251-59, 2004.
- Zhang X., Zhang Y., Zhou Y. Measuring and modeling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. *Agricultural Meteorology* 102, 207-12, 2000.