

EQUAÇÕES DE ESTIMATIVAS PARA IRRADIAÇÕES GLOBAL, DIFUSA E DIRETA INFRAVERMELHA MENSIS EM BOTUCATU/SP/BRASIL.

TAIZA JULIANA ROSSI¹, LUCIANO ROSSI², CICERO MANOEL DOS SANTOS³,
MAURICIO BRUNO PRADO DA SILVA⁴, JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO⁵

1 Logística, Mestranda em Energia na Agricultura, UNESP-FCA/Botucatu- SP, taizarossi@fca.unesp.br; 2 Biólogo
3 Físico, 4 Engenheiro Agrônomo, 5 Físico,

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil.

RESUMO: É descrito no trabalho a obtenção das equações para estimativas das irradiações global, difusa e direta mensais do espectro infravermelho em função das mesmas irradiações do espectro total. Em relação às equações anuais, as equações mensais para a irradiação global, apresentaram valores de K_{GIV} menores nos meses mais úmidos e de cobertura de céu mais nebulosa, a exceção de outubro; para a difusa, os valores de K_{DIV} mensais são maiores nos meses mais nebulosos e úmidos; e para a direta, os valores de K_{DIV} foram iguais a K_{GIV} .

PALAVRAS CHAVES: irradiação solar: global, difusa e direta.

ABSTRACT: It is described in this study the obtainment of the equations for estimations of the global, diffuse and direct monthly radiation of the infrared spectrum in function of the same irradiations of the total spectrum. In relation to the annual equations, the monthly equations for global irradiation presented lower values of K_{GIV} in the wetter months and of cloudy skies, with the exception of October. For the diffuse, the monthly K_{DIV} values are higher in the months Cloudy and humid, and for the direct, the K_{DIV} values were equal to K_{GIV} .

KEY WORDS: solar irradiation: global, diffuse and direct.

INTRODUÇÃO:

Estudos com a radiação solar Infravermelha (NIR) no espectro total são de fundamental importância para a elaboração de projetos de pesquisa em muitas áreas científica e tecnológica. As frações (NIR) global (H_{NIR}^G/H^G), difusa (H_{NIR}^d/H^d) e direta (H_{NIR}^D/H^D) na faixa espectral de 0,7 μm a 3,0 μm , foram menos estudada que as demais radiações espectrais (PAR e UV) e ainda há poucas informações sobre observações experimentais na superfície terrestre (Rossi et al., 2015; Rossi et al., 2016). Diante da necessidade de se conhecer melhor as relações entre as radiações dos espectros total e infravermelho (NIR) em Botucatu/SP/Brasil, neste trabalho é mostrada a obtenção e validação de equações de estimativas mensais para as irradiações infravermelhas em função das irradiações do espectro total.

MATERIAL E MÉTODOS:

As medidas das irradiâncias global e difusa dos espectros total e infravermelho foram realizadas nos anos de 2003 a 2006 em Botucatu-SP. As irradiâncias global de (I^G e I_{NIR}^G) foram medidas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de seletividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0 μm e 0,70 a 3,0 μm , respectivamente. As irradiâncias difusas (I^d e I_{NIR}^d) foram monitoradas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de transmissividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0 μm e 0,70 a 3,0 μm ,



Figura 1: a) Piranômetro medindo a global total; b) piranômetro com anel de sombreamento medindo a difusa total; c) piranômetro medindo a global NIR, e d) piranômetro com anel de sombreamento medindo a difusa NIR

respectivamente, utilizando anéis de sombreamento tipo MEO (Melo e Escobedo, 1994) nas seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura e 1mm de espessura. Ainda os valores das irradiações H^d e H^d_{NIR} passaram por correções isotrópicas para compensar a parcela de irradiação difusa obstruída pelo próprio anel de sombreamento, os quais dependem de parâmetros geométricos como: largura, diâmetro, latitude e geográficos como latitude e astronômico (declinação solar). Os dados da irradiação direta de ambos os espectros (H^D e H^D_{NIR}) foram calculados pelo método da diferença entre irradiações globais e irradiações difusas de seu respectivo espectro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 (a, b, c) mostram as correlações entre as irradiações global, difusa e direta dos espectros total e infravermelho, bem como a reta de regressão. As equações lineares (tipo $Y = a \times X$) obtidas das correlações foram: $H^G_{NIR} = 0,461 \times H^G$ ($R^2=0,96$), $H^d_{NIR} = 0,381 \times H^d$ ($R^2=0,99$) e $H^D_{NIR} = 0,511 \times H^D$ ($R^2=0,969$). Os valores de R^2 , próximos de 1 mostram que as irradiações do espectro NIR e total, estão estatisticamente muito bem correlacionados, global ($R^2 = 0,960$), difusa ($R^2 = 0,987$) e direta ($R^2 = 0,969$). Os coeficientes angulares das equações expressam os valores das frações das radiações do espectro infravermelho no espectro total: global (46,1% infravermelha), difusa (38,1% infravermelha) e direta (51,0% infravermelha).

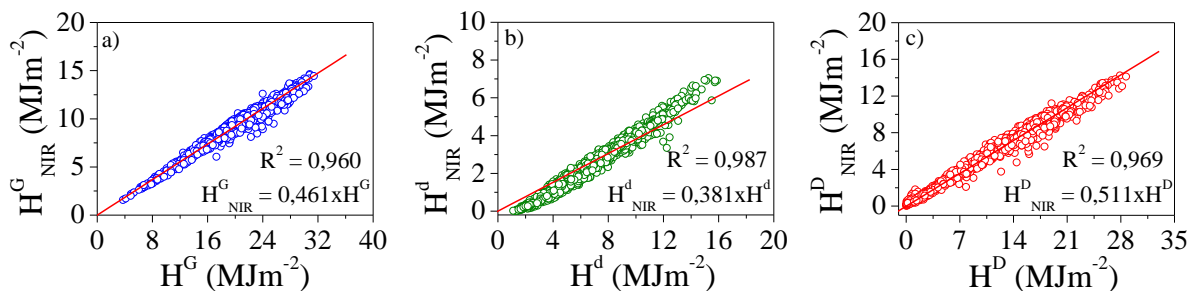


Figura 2: Correlações entre irradiações do espectro NIR e do espectro total.

Na validação das equações de estimativas (Figura 3), os valores obtidos para MBE mostram que para global infravermelha, a equação, subestima as medidas em 0,35 %. A equação de estimativa da difusa infravermelha superestima em 5,0% os valores medidos e a equação da direta infravermelha subestima as medidas em -2,3%. Os erros das subestimativa e superestimava são da mesma ordem dos erros das medidas das irradiâncias. Os valores obtidos para RMSE mostram que o espalhamento das equações iguais a 4,3 %, 17,8% e 7,3%, é maior para a validação da difusa. Os valores do “d” superiores 0,97 expressam elevada concordância no ajuste entre a estimativa e a medida, para as três irradiações.

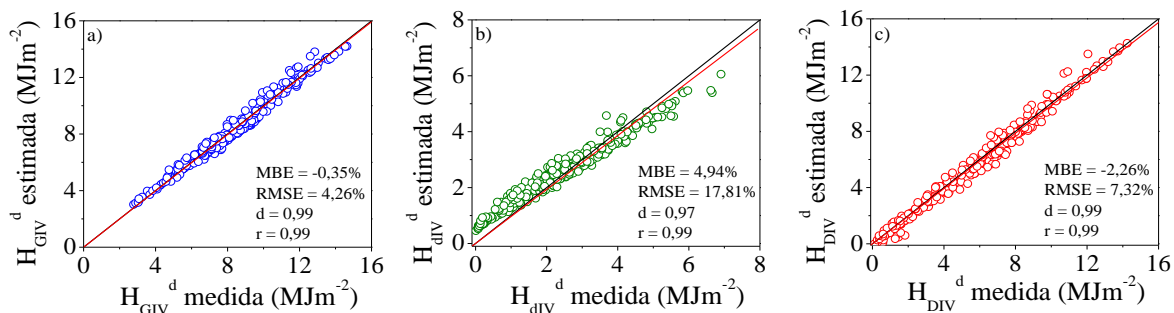


Figura 3: Validação - Comparação entre estimativa e medida para: a) H_{GIV}^d , b) H_{DIV}^d e c) H_{DIV}^d .

A Tabela 1 mostra as correlações mensais de H_{NIR}^G e os valores de H^G ; as correlações entre de H_{NIR}^d e os valores de H^d e as correlações de H_{NIR}^D e de H^D . As correlações de janeiro a dezembro são lineares em amplos intervalos de variações. As equações mensais, para a global, difusa e direta, com elevados coeficientes de determinação: $R^2 = 0,996$; $R^2 = 0,916$ e $R^2 = 0,990$, respectivamente, mostram que os pares das irradiações dos dois espectros estão muito bem correlacionados estatisticamente nos doze meses. Em relação ao valor da fração anual, $H_{NIR}^G / H^G = 0,461$, os valores mensais de H_{NIR}^G são menores nos meses mais úmidos e de cobertura de céu mais nebulosa, a exceção de outubro e são maiores na maioria dos meses seco e de menor nebulosidade. O valor da fração total $H_{NIR}^d / H^d = 0,381$ em relação aos valores das frações mensais, é maior nos meses de novembro, dezembro e janeiro (meses mais úmidos e de cobertura de céu nebulosa) e é menor nos demais meses. Para a direta, similarmente a global, o valor da fração total $H_{NIR}^D / H^D = 0,511$, em relação ao valor da fração mensal da mesma, é menor nos meses mais nebulosas e úmidas com exceção de outubro, e maior nos meses de baixa nebulosidade e secos.

Mês	Equação Global	R ²	Equação Difusa	R ²	Equação Direta	R ²
Jan	$H_{NIR}^G = 0,449 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,396 * H^d$	0,986	$H_{NIR}^D = 0,490 * H^D$	0,991
Fev	$H_{NIR}^G = 0,442 * H^G$	0,996	$H_{NIR}^d = 0,377 * H^d$	0,981	$H_{NIR}^D = 0,483 * H^D$	0,990
Mar	$H_{NIR}^G = 0,452 * H^G$	0,997	$H_{NIR}^d = 0,372 * H^d$	0,981	$H_{NIR}^D = 0,500 * H^D$	0,995
Abr	$H_{NIR}^G = 0,469 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,357 * H^d$	0,957	$H_{NIR}^D = 0,519 * H^D$	0,999
Mai	$H_{NIR}^G = 0,477 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,349 * H^d$	0,942	$H_{NIR}^D = 0,527 * H^D$	0,999
Jun	$H_{NIR}^G = 0,477 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,330 * H^d$	0,916	$H_{NIR}^D = 0,533 * H^D$	0,999
Jul	$H_{NIR}^G = 0,476 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,352 * H^d$	0,938	$H_{NIR}^D = 0,530 * H^D$	0,998
Ago	$H_{NIR}^G = 0,484 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,306 * H^d$	0,924	$H_{NIR}^D = 0,538 * H^D$	0,998
Set	$H_{NIR}^G = 0,479 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,347 * H^d$	0,956	$H_{NIR}^D = 0,546 * H^D$	0,997
Out	$H_{NIR}^G = 0,463 * H^G$	0,998	$H_{NIR}^d = 0,376 * H^d$	0,978	$H_{NIR}^D = 0,517 * H^D$	0,996
Nov	$H_{NIR}^G = 0,449 * H^G$	0,998	$H_{NIR}^d = 0,404 * H^d$	0,987	$H_{NIR}^D = 0,490 * H^D$	0,997
Dez	$H_{NIR}^G = 0,443 * H^G$	0,999	$H_{NIR}^d = 0,414 * H^d$	0,993	$H_{NIR}^D = 0,472 * H^D$	0,998
Anual	$H_{NIR}^G = 0,461 * H^G$	0,960	$H_{NIR}^d = 0,381 * H^d$	0,987	$H_{NIR}^D = 0,511 * H^D$	0,969

Tabela 1: Equações de estimativa mensal das irradiações infravermelhas

Para análise das equações de estimativas mensais, calculou-se desvio relativo $D(\%)$ por meio da equação: $D(\%) = 100 \times \left(\frac{a_a - a_m}{a_a} \right)$ em que $D(\%)$ expressa à capacidade das equações anual (a_a) de superestimar ou subestimar as equações mensais (a_m), como mostrado na Figura 2 (a, b, c). Para a estimativa H_{NIR}^G , a Figura (2 a) mostra que a equação anual H_{NIR}^G superestima a mensal nos meses novembro (44,9%), dezembro (44,3%), janeiro (44,9%), fevereiro (44,2%) e março (45,2%) e subestima nos dos meses abril (46,9%), maio (47,7%), junho (47,7%), julho (47,6%), agosto (48,4%), setembro (47,9%) e outubro (46,3%).

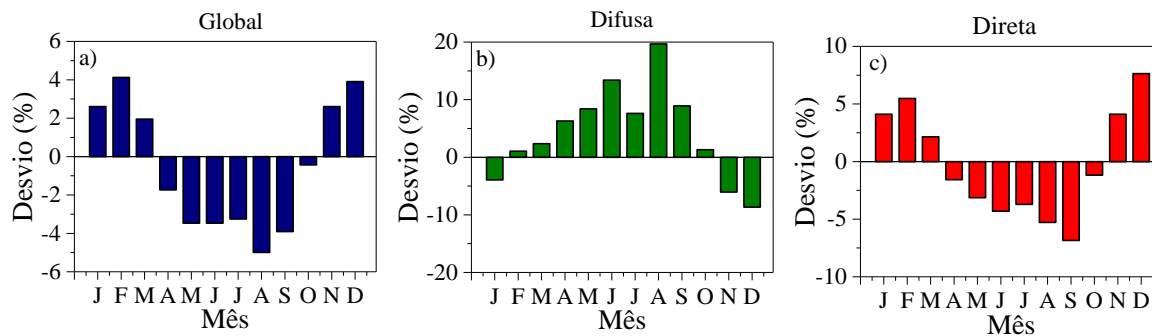


Figura 4: (a, b, c) desvios de estimativas entre equações anual e mensal.

A equação anual de estimativa de H_{NIR}^d em comparação a equação mensal de H_{NIR}^d subestima os meses: novembro (40,4%), dezembro (41,4%) e janeiro (39,6%) e superestima de março (37,2%), abril (35,7%), maio (34,9%), junho (33,0%) julho (35,2%), agosto (30,6%), setembro (34,7%) e outubro (37,6%). Já a H_{NIR}^D , assim como a H_{NIR}^G , pela equação anual, a estimativa, superestima os meses de novembro (49,0%), dezembro (47,2%), janeiro (49,0%), fevereiro (48,3%) e março (50%) e subestima de abril (51,9%), maio (52,7%), junho (53,3%), julho (53%), agosto (53,8%), setembro (54,6%) e outubro (51,7%).

CONCLUSÕES

As equações de estimativas: $H_{NIR}^G = 0,461 \times H^G$ ($R^2=0,96$), $H_{NIR}^d = 0,381 \times H^d$ ($R^2=0,99$) e $H_{NIR}^D = 0,511 \times H^D$ ($R^2= 0,969$) mostram que existe uma elevada correlação entre as irradiações do espectro total e infravermelho. Os valores de 46,1%; 38,2% e 51,1%, das irradiações global, difusa e direta do espectro total são infravermelhos respectivamente. Os valores de MBE, RMSE e d de Willmott obtidos na validação das equações anual mostram que as mesmas podem ser utilizadas com precisão e exatidão. A análise comparativa entre as estimativas anual e mensal mostra que a equação anual global pode ser usada com uma incerteza inferior a 4,1%, para a difusa a equação anual pode ser usadas em todos os meses, a exceção de junho e agosto, cujas incertezas são maiores que os erros das medidas, e para a radiação direta, a equação anual pode ser usada com uma incerteza inferior a 6,8% em todos os meses do ano.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Rossi, T. J.; Escobedo, J. F.; Santos, C. M.; Silva, M. B. P.; Rossi, L. R. Dependência da Cobertura de Céu nas Frações Solares Global, Difusa e Direta do Espectro Infravermelho em Botucatu-SP-Brasil. Revista Brasileira de Energia Solar, v. VII, p. 40-49, 2016.
- Rossi, T. J.; Escobedo, J. F.; Santos, C. M.; Silva, M. B. P.; Gomes, E. N. Equações de estimativas sazonais para as radiações global, difusa e direta infravermelha em Botucatu/SP/Brasil. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 19, p. 55-66, 2015.