

## Tema 11 – Radiação solar y clima

**Dependência da cobertura de céu nas frações solares Global, Difusa e Direta do espectro infravermelho em Botucatu/SP/Brasil**T. J. Rossi<sup>1</sup>, J. F. Escobedo<sup>2</sup>, C. M. dos Santos<sup>3</sup>, M. B. P. da Silva<sup>4</sup>, L. R. Rossi<sup>5</sup>

Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP/Brasil

Tel. + 55143811-7580 e-mail: [taizarossi@fca.unesp.br](mailto:taizarossi@fca.unesp.br)

**RESUMO.** É descrito no trabalho a obtenção das frações solares  $K_{GIV} = (H_{GIV}^d/H_G^d)$ ,  $K_{dIV} = (H_{dIV}^d/H_d^d)$  e  $K_{DIV} = (H_{DIV}^d/H_D^d)$  nas condições de cobertura de céu total e para quatro tipos discretos de coberturas de céu. A base de dados das radiações dos dois espectros foi medida no período de 2003 a 2006 em Botucatu/SP/Brasil. Os valores obtidos para cobertura de céu total foram:  $K_{GIV}^d = 46,1\%$ ,  $K_{dIV}^d = 38,2\%$  e  $K_{DIV}^d = 51,1\%$ . Nas coberturas discretas o valor da fração  $K_{GIV} = 43,3\%$  foi menor na cobertura nebulosa, e  $K_{GIV} = 46,9\%$  foi maior na cobertura céu aberto. Ao contrário, a fração  $K_{dIV} = 41,0\%$  foi maior na cobertura nebulosa, e  $K_{dIV} = 25,0\%$  foi menor na céu aberto. O valor da fração  $K_{DIV}$  não variou em função da cobertura de céu:  $K_{DIV} = 51,0\%$  foi igual nas coberturas nebulosa e aberta.

**Palavras-chave:** radiações solares global, difusa e direta, radiação infravermelha.

**INTRODUÇÃO**

Estudos sobre as frações solares UV, PAR e IV no espectro total, no tempo e espaço, é importante em muitas áreas científica e tecnológica.

A fração UV da radiação global  $G(K_{GUV} = UV/G)$  na faixa de 0,280 a 0,385  $\mu\text{m}$  tem sido investigada em muitos países (Robaa, 2004; Cañada et al., 2003; Martinez-Lozano et al., 1999; Jacovides et al., 2006; Ogunjobi e Kim, 2004; Escobedo et al., 2009; Escobedo et al., 2011; Leal et al., 2011; Porfírio et al., 2012) entre outros. Os resultados mostram que a fração  $K_{GUV}$  é altamente dependente das variações da concentração de nuvens, vapor de água e aerossóis na atmosfera do local, e seu valor varia entre 2,0 % a 9,5%. Estudos sobre a fração UV-difusa na difusa total ( $K_{dUV} = UV_d/d$ ) ou sobre a fração UV-direta na radiação direta ( $UV_{DUV}/D$ ) ainda possuem poucas informações na literatura.

Igualmente, a fração  $PAR_G$  (0,385-0,7  $\mu\text{m}$ ) da radiação solar global  $G$  ( $K_{GPAR} = PAR_G/G$ ) também já foi estudado em muitos locais e com diferentes climas (Jacovides et al., 2007; Finch et al., 2004; Rao, 1984; Papaioannou et al., 1993; Papaioannou et al., 1996; Escobedo et al., 2009; Escobedo et al., 2011). Os resultados mostram que a  $K_{GPAR}$  também dependem do clima local e entre 40,8% a 63,1%. Estudos com a radiação  $PAR_D$  - direta na radiação direta ( $K_{DPAR} = PAR_D/D$ ) bem como da fração  $PAR_d$ -difusa na radiação difusa ( $K_{dPAR} = PAR_d/d$ ) mostram dependência das variações da concentração de nuvens, vapor de água e aerossóis na atmosfera do local (Karalis, 1989; Alados e Alados-Arboledas, 1999).

A fração  $IV_G$  da radiação global  $G$  ( $K_{GIV} = IV_G/G$ ) foi menos estudada que as demais radiações espectrais UV e PAR, e ainda há poucas informações sobre observações experimentais simultâneas das duas radiações ( $G$  e  $IV$ ) na superfície terrestre. Estudos com a radiação  $IV_G$  global infravermelha na global total ( $K_{GIV} = IV_G/d$ ) mostram que a fração  $K_{IV}$  depende das condições de cobertura de céu, e

<sup>1</sup> Graduando em Biologia, Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP/Botucatu.

<sup>2</sup> Físico, Prof. Dr. Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP/Botucatu.

<sup>3</sup> Físico, Doutor em Irrigação e Drenagem, FCA/UNESP/Botucatu.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Irrigação e Drenagem, FCA/UNESP/Botucatu.

<sup>5</sup> Biólogo, Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP/Botucatu.

varia entre  $K_{IV}=44,0\%$  na cobertura de céu nublado a  $K_{IV}= 51,5\%$  na cobertura de céu aberto (Escobedo et al., 2009). Para todas as coberturas de céu juntas, a fração  $K_{IV}$  varia entre 46,9% a 51,0%, como mostram os trabalhos de Bolsenga (1997), Zhang (2000), Escobedo et al. (2011). Existem poucos estudos com as frações  $IV_d$ -difusa infravermelha na difusa total ( $K_{dIV}= IV_d/d$ ) e  $IV_D$ -direta infravermelha na direta total ( $K_{dIV}= IV_D/D$ ). Resultados recentes obtidos por Rossi et al. (2015) mostram que a fração  $K_{dIV}$  para todos as coberturas de céu, em Botucatu é da ordem de 38,2% e 51,1% respectivamente. Análise sazonal, mostrou ainda que a fração  $K_{dIV}$  é maior na primavera(40,1%), igual no verão(38,2%), e menores no outono (34,9%) e inverno (33,9%). Similarmente, a fração  $K_{DIV}$  é menor no verão (49,0%) e primavera (49,3%), e maior no outono (52,7%) e inverno (53,9%).

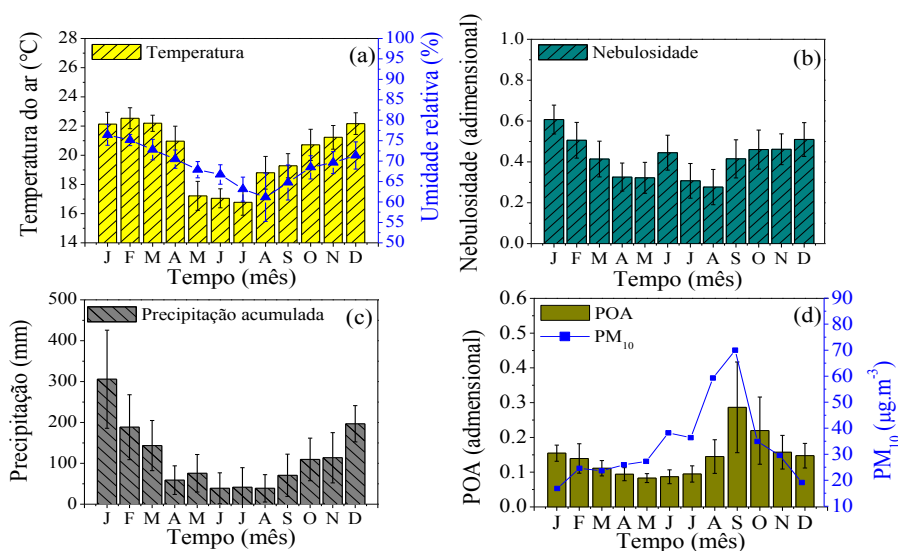
Diante da necessidade de se conhecer melhor as relações entre as radiações dos espectros total e IV, neste trabalho é apresentado um estudo sobre os efeitos da cobertura de céu nos valores das frações  $K_{GIV}$ ,  $K_{dIV}$  e  $K_{DIV}$  para uma base de dados das radiações  $G$ ,  $d$ ,  $G_{IV}$  e  $d_{IV}$  medidas em Botucatu, SP, Brasil no período de 4 anos, 2003 a 2006. É apresentada uma análise estatística e climática das frações  $K_t$ ,  $K_{GIV}^d$ ,  $K_{dIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$ . Posteriormente é mostrado os cálculos das regressões lineares usados para obtenção dos valores das frações  $K_{GIV}^d$ ,  $K_{dIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$  para coberturas de céu total e das 4 coberturas de céu discretas(nublado, parcialmente nublado para difuso,parcialmente nublado para claro e aberto), e em ultimo, é feito a comparação dos valores das frações total e por cobertura de céu discretas quantificando-se os efeitos das coberturas de céu.

## MATERIAS E METODOS

### Análise climática local

A variabilidade dos valores das radiações global, difusa e direta na horizontal dos espectros total e infravermelho está fortemente associada às variações do clima local. O clima local é classificado como Cwa (Cepagri, 2012), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco. As figuras 1 a, b, c e d mostram as séries climáticas da temperatura, umidade relativa, precipitação e nebulosidade, do período de 1970 a 2008 em Botucatu. A evolução anual da temperatura e umidade relativa Figura 1 a, mostra que fevereiro é mês mais quente e julho é o mais frio do ano, com temperaturas médias de 22,5°C e 16,8°C, respectivamente. Os meses de janeiro e agosto são o mais e o menos úmidos, com percentuais de 76,5% e 61,20% respectivamente.

A nebulosidade (f), calculada pela expressão  $f=1 - (n/N)$ , expressa a fração do número de horas em que o sol fica encoberto por nuvens no dia, onde  $(n/N)$  é a razão de insolação,  $n$  é o número de horas de brilho solar e  $N$  é o fotoperíodo. A nebulosidade Figura 1 b é mais elevada nos meses de janeiro ( $f = 0,61$ ) e menor em agosto ( $f = 0,28$ ). Por outro lado, os meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 229h e 175,28h, respectivamente.



**Figura 1.** Séries Climáticas (período: 1970-2008) da Temperatura e Umidade Relativa (a), Nebulosidade (b), Precipitação (c), Relação entre a evolução anual da Profundidade Ótica dos Aerossóis (POA) médias mensais (obtidas do satélite TERRA) no ano de 2001 a 2005 (d).

A evolução anual da precipitação segue a evolução da nebulosidade, e é constituído de dois períodos distintos: chuvoso e seco, onde o limite entre os períodos é o valor da precipitação de 100 mm, aproximadamente. No período chuvoso, de outubro a março (primavera e verão), a precipitação é de natureza microclimática originada do processo de convecção livre e macro-climáticas originadas dos eventos meteorológicos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais do Atlântico Sul. A ZCAS atua desde a Bacia Amazônica até o oceano Atlântico Sul, como resultado da convergência de massas de ar quente e úmido oriundas da Bacia Amazônica e do oceano Atlântico Sul. A ZCAS gera aumento da nebulosidade e ocorrência de chuvas intensas e persistentes entre a primavera e verão (Carvalho et al., 2004). A frequência de ocorrência é de duas a quatro vezes ao ano, com duração média de 8 dias e de intensidade variável (Nogués-Paegle e Mo, 1997). A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 304mm e a menor em junho e agosto com 38,8mm. No período seco, de abril a setembro (outono e inverno), a precipitação é do tipo frontal originada do encontro das massas frias e secas vindas da região sul com as massas quentes e úmidas, da região sudeste durante o outono, inverno. A distribuição da chuva frontal gera aumento na nebulosidade com ocorrência de chuvas generalizada na região. A intensidade da precipitação é fraca a moderada, dependendo do tipo de frente fria, e a duração é de média a longa (horas ou dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente (Satyamurty et al., 1998). Segundo Lemos e Calbete (1996), ocorrem em média 5 eventos de sistemas frontais por mês no Estado de São Paulo. A menor precipitação no período seco ocorre em agosto com 38,2mm. Ainda nos meses de seca, de junho a novembro, a atmosfera local apresenta elevada concentração de materiais particulados provenientes das queimadas da cana de açúcar e as queimadas e incêndios florestais de outros locais na região central do Brasil (Teramoto et al., 2013). Em anos onde há o enfraquecimento do período chuvoso na região Central e Norte do Brasil, a prática dos incêndios se intensifica no mês de outubro e pode se estender até novembro (Holben et al., 2001). A queima de biomassa gera aerossóis do tipo fino (diâmetro < 2,5  $\mu\text{m}$ ), que por meio de correntes convectivas são capazes de percorrer distâncias superiores a 1000 km e permanecer em suspensão na atmosfera durante vários dias (Jacobson, 2002). A evolução anual das médias mensais da POA (Profundidade Ótica de Aerossóis) obtidas pelo satélite TERRA do período de 2000 a 2005 mostra que no início das queimadas da cana de açúcar em julho, a concentração de aerossóis mensal aumenta consideravelmente passando por um valor máximo de POA=0,45 em setembro, o que é equivalente à concentração PM<sub>10</sub> de 70,0 $\mu\text{g.m}^{-3}$  (Figura 1d) (Codato et al., 2008).

### ***Medida das radiações global e difusa dos espectros total e infravermelho***

As medidas das radiações globais e difusas dos espectros totais e infravermelhas foram realizadas nos anos de 2003 a 2006, na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP da UNESP. As irradiâncias global do espectro total e infravermelho ( $I_G^d$  e  $I_{GIV}^d$ ) foram medidas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de transmissividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0 $\mu\text{m}$  e 0,70 a 3,0 $\mu\text{m}$  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 3,0 $\mu\text{m}$  e 0,70 a 3,0 $\mu\text{m}$  respectivamente, utilizando anéis de sombreamento tipo **MEO** (Melo e Escobedo, 1994) com as seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura e 1mm de espessura. O sistema operacional do anel de sombreamento **MEO** é inverso do anel de sombreamento de **Drummond**: ao invés da translação do anel, as variações na declinação solar são compensadas por meio da translação do piranômetro numa base móvel mantido sempre à sombra do anel. No sistema **MEO** o anel fixo é inclinado na latitude local, onde eixo central do anel é paralelo à direção polar.



**Figura 2.** a) Piranômetro medindo a global total; b) Piranômetro com anel de sombreamento medindo a difusa; c) Piranômetro medindo a IV, e d) Piranômetro com anel de sombreamento medindo a difusa infravermelho.

A medida da radiação difusa necessitou de correções para compensar a parcela de radiação difusa obstruída pelo próprio anel, os quais dependem fortemente de vários parâmetros, tais como: largura e diâmetro, latitude, declinação solar entre outros. Assim a radiação difusa medida pelo anel de sombreamento *MEO* neste trabalho passou primeiramente por um processo de correção denominado isotrópico (FC), as quais fazem correções em função da geometria do anel de sombreamento, do local e dia. O fator de correção isotrópico (FC usado para compensar as radiações difusa interceptada pelo anel de sombreamento *MEO*, foram calculados pelas expressões:

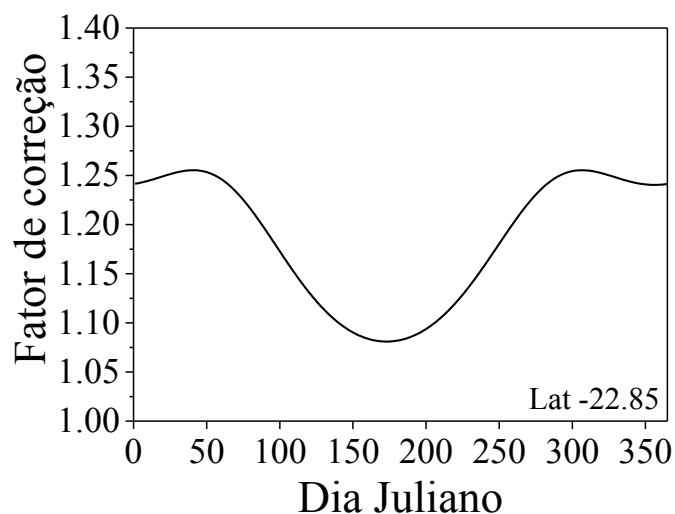
$$FC = \left[ 1 - \left( \frac{H'd}{H^d} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

Onde  $H_d$  ou  $H_{div}$  são as radiações difusas, enquanto que  $H'd$  ou  $H'_{div}$  são as radiações difusas interceptadas durante o dia pelo anel de sombreamento.

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):

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

Onde  $b$  e  $R$  são a largura e raio do anel,  $\delta$  a declinação solar,  $\phi$  é a latitude,  $z$  é o ângulo zenital e  $\omega$  é o ângulo horário do sol, variando do nascer até o pôr do sol.



**Figura 3.** Fator de correção isotrópico diário para o anel de sombreamento *MEO* para latitude de Botucatu ( $\phi = 22,85^\circ\text{S}$ ) ao longo do ano para as radiações difusa Total e IV.

As correções das medidas das radiações difusas total e IV pelo anel de sombreamento *MEO* em função do tipo de cobertura de céu pelas equações (1 e 2), quais levam em consideração os efeitos da cobertura nebulosa e da anisotropia da cobertura sem nuvens não foram realizadas neste trabalho. Segundo Dal Pai et al.(2011, 2014) a cobertura nebulosa aumenta em média 2,5% a radiação difusa, enquanto a cobertura de céu parcialmente nublada diminui em 3,4%, céu parcialmente nublado com dominância para claro 8,4% e céu aberto 12,0%. Sobre todas as cobertura de céu juntas, a correção é da ordem de 4,6 %.

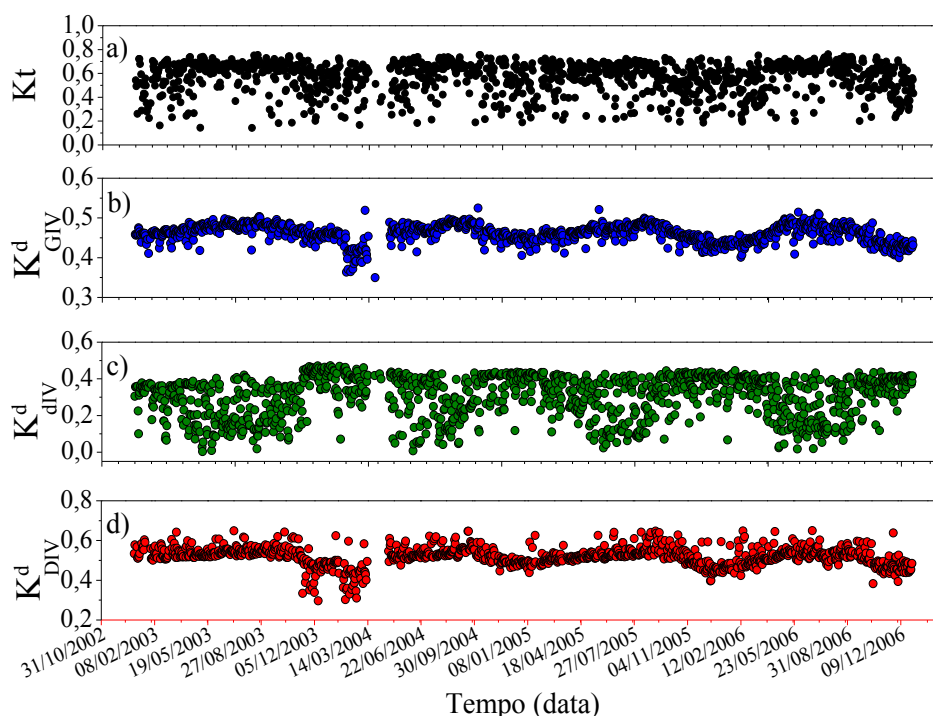
O erro da estimativa das irradiâncias direta e direta Infravermelha está associado à imprecisão das medidas de  $I_G$  e  $I_d$  pelos piranômetros da Eppley e à imprecisão das medidas de  $I_{GIV}$  e  $I_{dIV}$  pelos piranômetros PSP da Eppley, os quais possuem uma incerteza da ordem de 4,1% (Reda et al., 2008) e também as imprecisões da medida da difusa no anel de sombreamento devido os efeitos da cobertura nebulosa e da anisotropia da cobertura sem nuvens. Assim a radiação direta e direta Infravermelha obtida pelo método da diferença por meio das equações:  $I_D = I_G - I_d$  ou  $I_{DIV} = I_{GIV} - I_{dIV}$  possuem uma incerteza estimada de 12,8%.

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 onde foram eliminados os valores espúrios, e numa segunda etapa, foram processados as integrações das irradiações nas partições diária (Chaves e Escobedo, 2000). A Estação de Radiometria Solar dispõe de um piranômetro da Eppley PSP, o qual é utilizado unicamente para aferição dos piranômetros de rotina, periodicamente pelo método comparativo sugerido pela OMM (Fröhlich e London, 1986).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### *Análise estatística e climática das frações $K_t$ , $K_{GIV}^d$ , $K_{dIV}^d$ e $K_{DIV}^d$*

Geralmente é comum expressar as medidas (horária ou diária) em função das irradiações espectrais como frações das componentes do espectro total, para melhor detectar as relações entre as irradiações dos espectros espectrais e total.



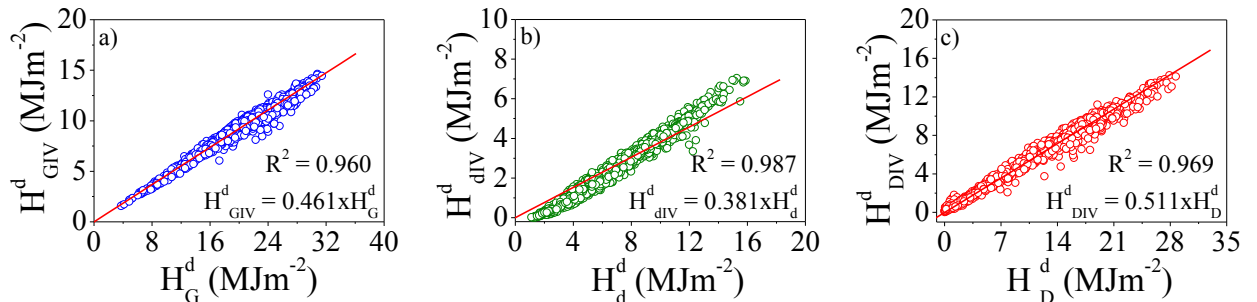
**Figura 4.** Evolução temporal das frações  $K_t^d$ ,  $K_{GIV}^d$ ,  $K_{dIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$  período de 2003 a 2006.

A evolução temporal das frações  $K_t = (H_G^d/H_D^d)$ ,  $K_{GIV}^d = (H_{GIV}^d/H_G^d)$ ,  $K_{dIV}^d = (H_{dIV}^d/H_d^d)$  e  $K_{DIV}^d = (H_{DIV}^d/H_D^d)$  período de 2003 a 2006, Figura 4, é periódica, e a sazonalidade é resultante das variações climáticas por meio das variações das concentrações de nuvens, vapor de água e aerossóis da

atmosfera local do ano. A Figura 4 (a, b, c, d) mostra que a nebulosidade é o parâmetro meteorológico mais efetivo na variabilidade das frações  $K_t$ ,  $K_{GIV}^d$ ,  $K_{DIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$ . Os valores das  $K_{GIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$  (Figura 4 a e Figura 4 c), acompanham os valores de  $K_t$ (Figura 4 a), são menores no período chuvoso, primavera e verão, nas quais a atmosfera possui maiores concentrações de nuvens e vapor de água no ano, e foram maiores no período seco, outono e inverno, nas quais a atmosfera possui as menores concentrações de nuvens e vapor de água, e maior concentração de aerossóis Figura 2. Os valores médios de  $K_{GIV}^d$  por estação do ano foram: primavera  $K_{GIV}^d = 0,45$ ; verão  $K_{GIV}^d = 0,44$ ; outono  $K_{GIV}^d = 0,47$ ; inverno  $K_{GIV}^d = 0,48$ . Para  $K_{DIV}^d$  os valores foram: primavera  $K_{DIV}^d = 0,50$ ; verão  $K_{DIV}^d = 0,49$ ; outono  $K_{DIV}^d = 0,53$ ; inverno  $K_{DIV}^d = 0,55$ . No período de 2003 a 2006, o valor de  $K_G^d$  variou de 0,35 a 0,525 com média geral de 0,46. O valor de  $K_d^d$  variou de 0,04 a 0,47 com média geral de 0,30. O valor  $K_D^d$  variou de 0,30 a 0,65 com média geral de 0,519. Os valores de  $K_{DIV}^d$  Figura 4 b foram contrários aos valores de  $K_t$ , são maiores na primavera e verão, nas quais são maiores concentrações de nuvens e vapor de água no ano, e foram menores no outono e inverno, em atmosferas com menores concentrações de nuvens e vapor de água, e maior concentração de aerossóis. Os valores médios de  $K_{DIV}^d$  por estação do ano foram primavera  $K_{DIV}^d = 0,36$ ; verão  $K_{DIV}^d = 0,36$ ; outono  $K_{DIV}^d = 0,26$ ; inverno  $K_{DIV}^d = 0,24$ .

### ***Cálculo das frações $K_{GIV}^d$ , $K_{DIV}^d$ e $K_{DIV}^d$ para cobertura de céu total***

As Figuras 5 (a,b ec) mostram 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, bem como a reta de regressão, respectivamente. As equações entre  $H_{GIV}^d$  e  $H_G^d$  (Figura 2a),  $H_{DIV}^d$  e  $H_d^d$  (Figura 2 b) e  $H_{DIV}^d$  e  $H_D^d$ (Figura 2c), são lineares em amplos intervalos de variações:  $H_G^d$  de 3,73MJ/m<sup>2</sup> a 31,4MJ/m<sup>2</sup>,  $H_d^d$  de 1,1MJ/m<sup>2</sup> a 15,9MJ/m<sup>2</sup>,  $H_D^d$  variou de 0,001MJ/m<sup>2</sup> a 28,70 MJ/m<sup>2</sup>. As equações lineares (tipo  $Y = aX$ ) obtidas das correlações(Figuras 5a,b e c) por meio de regressão com respectivos coeficientes de determinação  $R^2$  foram:



**Figura 5.** 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.

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

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

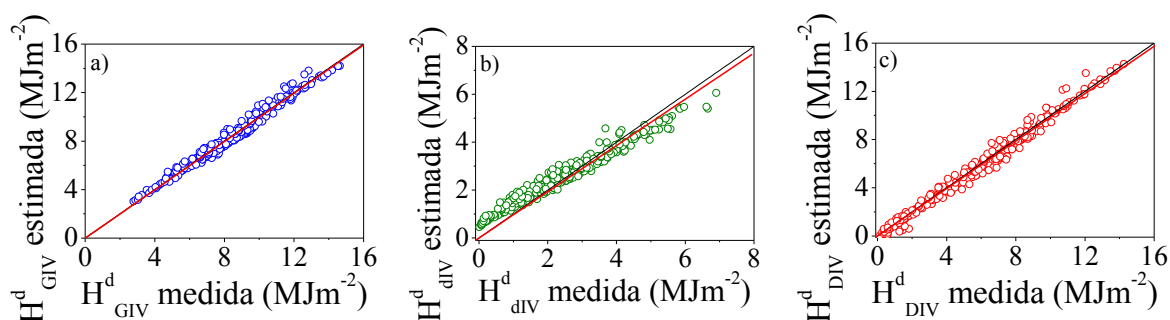
$$H_{DIV}^d = 0,511 H_D^d \quad (R^2 = 0,969) \quad (5)$$

Os elevados valores de  $R^2$ , próximos de 1 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. O resultado foi melhor em seqüência para as radiações difusa ( $R^2 = 0,987$ ), direta( $R^2 = 0,969$ ) e global( $R^2 = 0,960$ ).O efeito da anisotropia da radiação difusa, também obstruída pelo anel de sombreamento em função da cobertura de céu e não corrigida neste trabalho, pode ser observada (Figura 5 b) nos baixos valores de  $H_{DIV}^d$  e  $H_d^d$  em dias de céu aberto. Nas condições céu claro, o anel de sombreamento barra as radiações difusas direcionais ou anisotrópicas, as quais tiveram origens nas interações com aerossóis e vapor de água em suspensão na atmosfera, principalmente em torno da região circular perpendicular à incidência dos raios solares ou radiação circunsolar (Gueymard, 2001). Segundo Dal Pai et al (2016) a redução dos valores de  $H_{DIV}^d$  e  $H_d^d$  foi de 12,0%, fator esse responsável pela distribuição dos pontos experimentais estarem a baixo da reta de regressão na curva. Por outro lado, o efeito de nuvens não

previsto na correção isotrópica pela equação(2)do metodo de medida da difusa com anel de sombreamento, pode ser observada nos elevados valores de  $H_{div}^d$  e  $H_d^d$  em dias de céu totalmente nebulosos (Figura 5 b). Nas condições de céu nebuloso, o fator de correção usado aumenta a radiação difusa, mesmo que a radiação difusa seja igual à global medida fora do anel, elevando assim desnecessariamente, os valores de  $H_{div}^d$  e  $H_d^d$  acima da reta de regressão na curva.

Os coeficientes angulares das Equações (3, 4, 5),  $H_{GIV}^d/H_G^d = 0,461$ ;  $H_{div}^d/H_d^d = 0,382$  e  $H_{DIV}^d/H_D^d = 0,511$  representam as frações médias das radiações global, difusa e direta do espectro IV das radiações global, difusa e direta do espectro total:  $K_{GIV}^d$ ,  $K_{div}^d$ , e  $K_{DIV}^d$  respectivamente. A Equação (3) mostra que de 100% da radiação global ( $H_G^d$ ) do espectro total que atingiu a superfície terrestre, 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/G constitui o percentual entre 46,9% a 51,0%, 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/território dinamarquês. Similarmente, as Equações (4 e 5) mostram que dos 100% das radiações difusa ( $H_d^d$ ) e direta ( $H_D^d$ ), espectro total que atingiram a superfície terrestre, os percentuais de 38,2% e 51,1% são radiações difusa ( $H_{div}^d$ ) e direta ( $H_{DIV}^d$ ) infra-vermelha, respectivamente.

A Figura 6 (a, b, c) mostra as correlações obtidas na validação, comparação entre estimativa de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$ , e  $H_{DIV}^d$  por meio das equações (3, 4, 5) e a medida de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$ , e  $H_{DIV}^d$  selecionadas do ano atípico. As correlações entre os valores estimados e medidos estão em concordância com as curvas ideais de 45° nos ajustes e são lineares nos intervalos de variação das medidas de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$ , e  $H_{DIV}^d$ . Os valores do coeficiente de correlação (r), próximo de 1, para cada uma das curvas  $r_{GIV} = 0,980$ ,  $r_{div} = 0,993$ ,  $r_{DIV} = 0,984$  indicam que as estimativas das equações e as medidas estão bem correlacionadas estatisticamente.

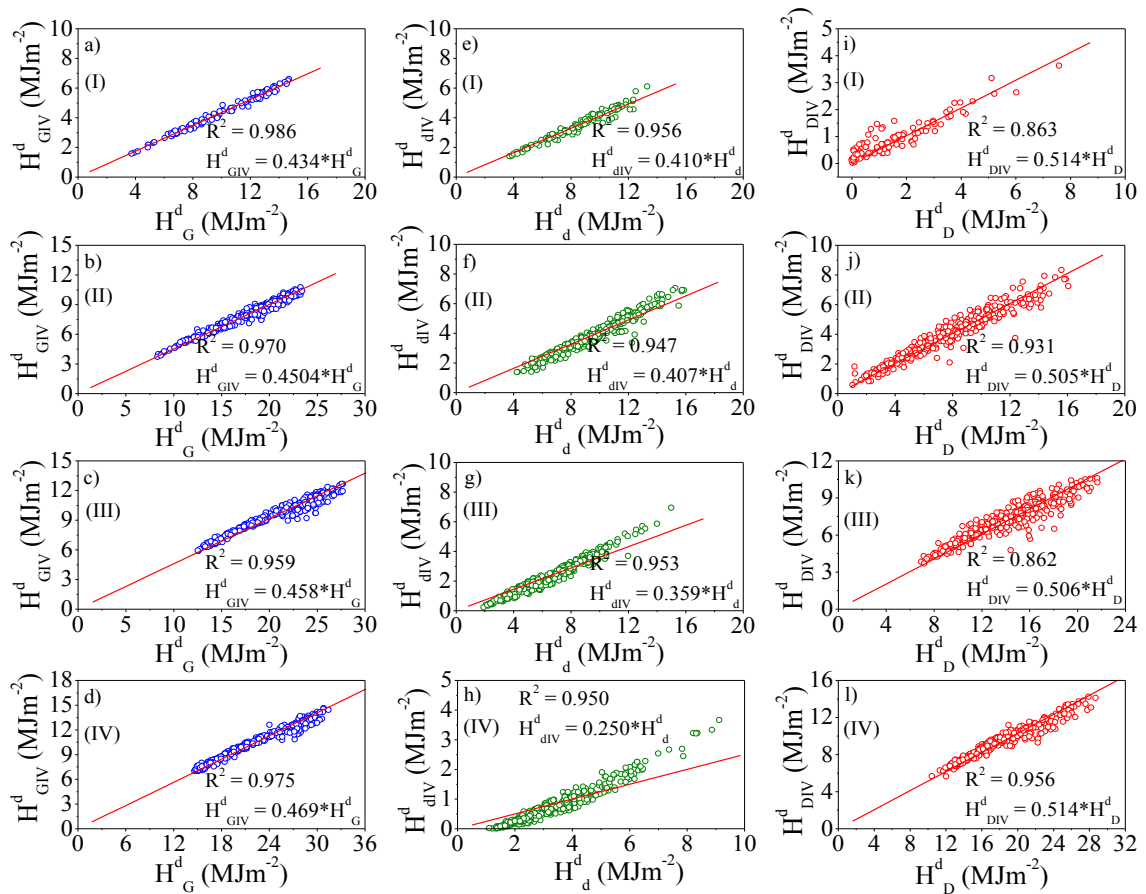


**Figura 6.** Comparações entre estimativa e medida de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$ , e  $H_{DIV}^d$  do ano atípico.

Os valores obtidos para MBE mostram que a equação (3) subestima as medidas em 0,6 %, a equação (4) superestima em 5,0%, e a equação (5) subestima em 0,7%. Os erros das subestimativa e superestimativa são da mesma ordem dos erros das medidas. Os resultados obtidos para RMSE mostram que o espalhamento das equações (3,4 e 5) é de 5,6%, 20,4% e 9,2% respectivamente. Os valores do  $d$  de Willmott superiores a 0,98 expressam elevada concordância no ajuste entre a estimativa e a medida, para as três radiações. Os valores dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e  $d$  de Willmott obtidos indicam que as equações (3, 4, 5) podem ser utilizadas com precisão e exatidão nas estimativas de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$ , e  $H_{DIV}^d$ .

#### ***Cálculo das frações $K_{GIV}^d$ , $K_{div}^d$ e $K_{DIV}^d$ para cobertura de céu discretas***

Para análise das variações das frações  $H_{GIV}^d/H_G^d$ ,  $H_{div}^d/H_d^d$  e  $H_{DIV}^d/H_D^d$  em função das variações da cobertura ou das variações das concentrações da nebulosidade, vapor de água e aerossóis na atmosfera, a base de dados das radiações foram separadas em função de  $K_t$  em quatro tipos de cobertura de céu (I, II, III e IV).



**Figura 7.** 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 nas coberturas de céu I, II, III e IV respectivamente.

O índice Kt, denominado transmissividade atmosférica da radiação global, é um importante parâmetro meteorológico, definido como sendo a relação entre a radiação global na superfície terrestre  $H_G^d$  e a radiação extraterrestre  $H_o^d$  ou  $Kt = H_G^d/H_o^d$ . O indicativo Kt é o principal indicador da atenuação dos constituintes atmosféricos. A cobertura I- representa céu nebuloso (CN) com  $Kt < 0,35$ ; cobertura II- céu parcialmente nublado com dominância para difuso (CPN1) com  $0,35 < Kt < 0,55$ ; cobertura III- céu parcialmente nublado com dominância para claro (CPN2) com  $0,55 < Kt < 0,65$  e cobertura IV- céu aberto ou sem nuvens (CA) com  $Kt > 0,65$  (Escobedo et al., 2009). A Figura 6 mostra as correlações entre os valores de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{dIV}^d$ ,  $H_{DIV}^d$  do espectro IV e os valores de  $H_G^d$ ,  $H_d^d$ ,  $H_D^d$  do espectro total respectivamente nas coberturas de céu I, II, III e IV respectivamente. As equações lineares (tipo  $Y = aX$ ) foram obtidas por meio de regressão e são mostradas na Tabela(1) com respectivos coeficientes de determinação  $R^2$ . Similarmente as correlações anuais, as correlações por cobertura de céu entre  $H_{GIV}^d$ ,  $H_G^d$ ,  $H_{dIV}^d$  e  $H_d^d$  e  $H_{DIV}^d$  e  $H_D^d$  são lineares em amplos intervalos de variações. As equações (Tabela 1) possuem também elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ): para a correlação  $H_{GIV}^d$  e  $H_G^d$  (Figura 6 a, b, c, d) os valores de  $R^2$  foram maiores em seqüência para as coberturas I, IV, II e III. Para a correlação  $H_{GIV}^d$  e  $H_G^d$  (Figura 6 e, f, g, h) os valores de  $R^2$  foram maiores em seqüência para as coberturas I, IV, III e II. Para a correlação  $H_{dIV}^d$  e  $H_d^d$  (Figura 6 i, j, k, l) os valores de  $R^2$  foram maiores em seqüência para as coberturas IV, II, I e III.

O valor da fração  $H_{GIV}^d/H_G^d$  cresce no sentido do aumento da transmissividade das  $H_{GIV}^d$  e  $H_G^d$  da cobertura de céu nebuloso para aberto, ou a fração  $H_{GIV}^d/H_G^d$  cresce no sentido em que as concentrações da nebulosidade e o vapor de água, decrescem na atmosfera. A fração  $H_{GIV}^d/H_G^d = 0,434$  ou 43,4% é menor na cobertura I porque a absorção pelo vapor de água na cobertura nebulosa é desproporcional, é maior para  $H_{GIV}^d$  que  $H_G^d$ , diminuído os valores da fração  $H_{GIV}^d/H_G^d$  (Martinez-Lozano, 1999). A fração  $H_{GIV}^d/H_G^d = 0,469$  ou 46,9% é maior na cobertura IV claro e seca (baixa concentração de vapor de água e com aerossóis), por que a baixa absorção de  $H_{GIV}^d$  e  $H_G^d$  pelo vapor de água, e o alto espalhamento pelos aerossóis é desproporcional, é menor ou mais lenta, para  $H_{GIV}^d$  que para  $H_G^d$ , aumentando o valor da fração  $H_{GIV}^d/H_G^d$ . O espalhamento não proporcional na cobertura



de céu por aerossóis deve-se ao fato que comprimentos de onda curtos são preferencialmente extintos (Alados e Alados-Arboledas, 1999).

Tipo de céu	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
<b>I</b>	$H_{GIV}^d = 0,434 * H_G^d$	0,986	$H_{div}^d = 0,410 * H_d^d$	0,956	$H_{DIV}^d = 0,514 * H_D^d$	0,863
<b>II</b>	$H_{GIV}^d = 0,450 * H_G^d$	0,970	$H_{div}^d = 0,407 * H_d^d$	0,947	$H_{DIV}^d = 0,506 * H_D^d$	0,931
<b>III</b>	$H_{GIV}^d = 0,458 * H_G^d$	0,959	$H_{div}^d = 0,359 * H_d^d$	0,953	$H_{DIV}^d = 0,506 * H_D^d$	0,862
<b>IV</b>	$H_{GIV}^d = 0,469 * H_G^d$	0,975	$H_{div}^d = 0,250 * H_d^d$	0,950	$H_{DIV}^d = 0,514 * H_D^d$	0,956
<b>Total</b>	$H_{GIV}^d = 0,461 * H_G^d$	0,960	$H_{div}^d = 0,382 * H_d^d$	0,987	$H_{DIV}^d = 0,511 * H_D^d$	0,969

Tabela 1. Equações para  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$  e  $H_{DIV}^d$ , em função de  $H_G^d$ ,  $H_d^d$  e  $H_D^d$  nas coberturas de céu I, II, III e IV respectivamente.

O valor da fração  $H_{div}^d/H_d^d$  decresce no sentido do céu nebuloso para céu aberto. Ou, da fração  $H_{div}^d/H_d^d$  diminui no sentido em que as concentrações de nuvens e o vapor de água, decrescem e aumenta a concentração de aerossóis na atmosfera. A fração  $H_{div}^d/H_d^d = 0,410$  ou 41% é maior na cobertura de céu nebulosa e a menor na cobertura céu claro  $H_{div}^d/H_d^d = 0,250$  ou 25,0%.

Os valores das frações  $H_{div}^d/H_d^d$  são maiores nas estações nebulosas e úmidas, porque a extinção de  $H_{div}^d$  e  $H_d^d$  é desproporcional, é maior para  $H_d^d$  que para  $H_{div}^d$ . As gotículas de água que possuem dimensões maiores do que as partículas dos aerossóis, aumentam mais os valores  $H_{div}^d$  nos comprimento longos, que efetivamente  $H_d^d$  pelos os aerossóis, crescendo o valor da fração  $H_{div}^d/H_d^d$ . Por outro lado, os valores das frações  $H_{div}^d/H_d^d$  são menores nas estações de baixa nebulosidade e seca com aerossóis, por que a extinção de  $H_{div}^d$  e  $H_d^d$  pelos aerossóis é desproporcional, maior para  $H_{div}^d$  que para  $H_d^d$ . Os aerossóis que possuem dimensões muito menores as gotículas de vapor de água, aumentam mais os valores  $H_d^d$  nos comprimento curtos, que efetivamente  $H_{div}^d$  pelo vapor de água, decrescendo o valor da fração  $H_{div}^d/H_d^d$ . Os valores das frações  $H_{DIV}^d/H_D^d$  das 4 coberturas de céu em relação ao valor da fração total  $H_{DIV}^d/H_D^d = 0,511$  ou 51,1%, são aproximadamente iguais e dentro da margem dos desvios estatísticos e dos erros experimentais.

### Comparação entre as frações das coberturas de céu total e discreta

Para análise do efeito da cobertura de céu para as três radiações  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$  e  $H_{DIV}^d$ , calculou-se desvio relativo D(%) por meio da equação (7) entre os coeficientes angulares das equações totais (**a**) para todas coberturas de céu total e das equações por coberturas de céu individualizadas CN, CNN1, CNN2 e CA (**a<sub>c</sub>**), como mostrado na Figura 8 (a,b,c):

$$D(\%) = 100 * (a_t - a_c) / a_t \quad (7)$$

O desvio percentual D(%) expressa a capacidade das frações total de superestimar ou subestimar as frações nas coberturas de céu discretas. Para as radiações global, os valores dos desvios D(%) mostram que o valor  $K_{GIV}^d$  total é maior que os valores das  $K_{GIV}^d$  nas coberturas CN, CNN1, CNN2 em 5,8%, 2,4% e 0,7% respectivamente, e menor na cobertura CA em 1,7%.

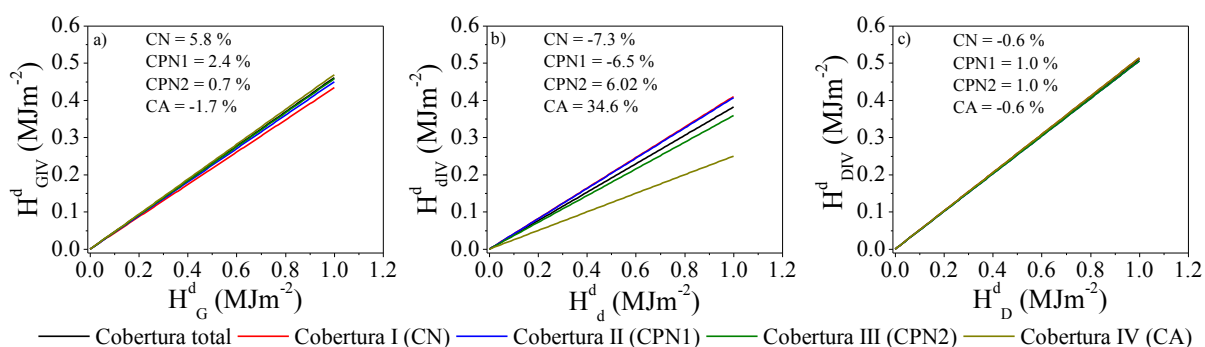


Figura 8. (a,b,c) curva estimada de  $H_{GIV}^d$ ,  $H_{div}^d$  e  $H_{DIV}^d$  por cobertura discreta de céu e total em função de  $H_G^d$ ,  $H_d^d$ , e  $H_D^d$ .

Para a difusa, os valores dos desvios D(%) mostram que o valor de  $K_{div}^d$  total é menor nas coberturas CN e CNN1 em 7,3 % e 6,5% respectivamente, e maior nas coberturas CNN2 e CA em 6,% e 34,6% respectivamente. Para as radiações direta, os valores de  $K_{div}^d$  total é menor na cobertura CN e CA em 0,6 % e maior nas coberturas CNN1 e CNN2 em 1,0%.

## CONCLUSÕES

As variações sazonais das frações  $K_t$ ,  $K_{GIV}$ ,  $K_{div}$  e  $K_{DIV}$  é resultante das variações climáticas (nuvens, vapor de água e aerossóis) da atmosfera local. Os valores das  $K_{GIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$  acompanham os valores de  $K_t$  e foram menores quando a atmosfera possui maiores concentrações de nuvens e vapor de água no ano, e foram maiores na atmosfera com menores concentrações de nuvens e vapor d'água, e maior concentração de aerossóis. Os valores de  $K_{div}^d$  evoluíram contrários aos valores de  $K_t$ ,  $K_{GIV}^d$  e  $K_{DIV}^d$ .

As equações para todas as coberturas de céu obtidas apresentaram as seguintes frações:  $K_{GIV} = 0,461$ ;  $K_{div} = 0,382$  e  $K_{DIV} = 0,511$ . As equações para todas as coberturas de céu apresentaram as seguintes frações: a fração  $K_{GIV}$  cresce no sentido da cobertura de céu nublada (43,4%) para céu aberto(46,9); a fração  $K_{div}$  decresce no sentido da cobertura de céu nublado (41%) para aberta (25,0%); fração  $K_{div}^d$  ( $H_{DIV}^d/H_D^d$ ) é aproximadamente constante nas quatro coberturas de céu.

A comparação das frações total e por cobertura de céu mostra que o valor  $K_{GIV}^d$  total é maior que  $K_{GIV}^d$  nas coberturas CN, CNN1, CNN2 em 5,8% e 2,4% e 0,7% respectivamente, e menor na cobertura CA em 1,7%; o valor de  $K_{div}^d$  total é menor nas coberturas CN e CNN1 em 7,3% e 6,5% respectivamente, e maior nas coberturas CNN2 e CA em 6,% e 34,6% respectivamente. O valor de  $K_{DIV}^d$  total é menor na cobertura CN e CA em 0,6 % e maior nas coberturas CNN1 e CNN2 em 1,0%.

## Agradecimentos:

A FAPESP e CNPq.

## REFERÊNCIAS

- Alados, I. e Alados-Arboledas, L. (1999). Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest and Meteorology*, v.93, 27-38.
- Bolsenga, S. J. (1997). Near Infrared Radiation in Northern Greenland. *Journal Applied Meteorology*, v. 6, 449-451.
- Cañada, J.;Pedros, G.;Bosca, J.V. (2003). Relationships between UV (0.290-0.385 $\mu$ m) and broad band solar radiation hourly values in Valencia and Córdoba, Spain. *Energy*, v. 28, 199-217.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B. (2004). The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, 88-108.
- CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_086.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_086.html), acesso em 14/09/2012.
- Chaves, M. e Escobedo, J.F. (2000). A software to process daily solar radiation data. *Renewable Energy*, v.19,nº1, 339-344.
- Codato, G.; Oliveira, A. P.; Soares, J.; Escobedo, J. F.; Gomes, E. G.; Dal Pai, A. (2008). Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, 57–73.
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F. Correa, Dal Pai, E.; Santos M. C. (2014). Estimation of Hourly, Daily and Monthly mean Diffuse Radiation Based Shadowring Correction. *Energy Procedia*, v. 57, 1150 – 1159.
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F. Correa, F. H. (2011). Numerical correction for the diffuse solar irradiance by the Melo-Escobedo shadowring measuring method In: ISSES SOLAR WORLD CONGRESS, Kassel.
- Escobedo, J. F.; Gomes E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. (2009). Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v. 86, 299-309.
- Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. R. (2011). Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy*, v. 36, 169-178.

- Finch, D.A.; Bailey, W. G.; McArthur, L. J. B.; Nasitwitwi, M. (2004). Photosynthetically active radiation regimes in a Southern African savanna environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.122, 229-238.
- Fröhlich, C.; London, J. (1986). Revised Instruction manual on radiation instruments and measurements. WCRP Publications series No. 7. WMO/TD No. 149.
- Holben, B. N.; Tanre', D.; Smirnov, A.; Eck, T. F.; Slutsker, I.; Abuhassan, N.; Newcomb, W. W.; Schafer, J. S.; Chatenet, B.; Lavenu, F.; Kaufman, Y. J.; Vande Castle, J.; Setzer, A.; Markham, B.; Clark, D.; Frouin, R.; Halthore, R.; Karneli, A.; O'Neill, N. T.; Pietras, C.; Pinker, R. T.; Voss, K.; Zibordi, G. (2001). An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET. *Journal of Geophysical Research*, v. 106, n. 11, 12.067–12.097.
- Jacobson, M. Z. (2002). Analysis of aerosol interactions with numerical techniques for solving coagulation, nucleation, condensation, dissolution and reversible chemistry among multiple size distributions. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, 1-23.
- Jacovides, C. P.; Assimakopoulos, V. D.; Tymvios, F. S.; Theophilou, K.; Asimakopoulos, D. N. (2006). Solar global UV radiation and its relationship with solar global radiation measured on the island of Cyprus. *Energy*, v. 31, 2728-2738.
- Jacovides, C.P.; Tymvios, F.S.; Assimakopoulos, V.D.; Kaltsounides, N. A. (2007). The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.143, 277-287.
- Karalis, J. D. (1989). Characteristics of direct photosynthetically radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 48, 225-234.
- Leal, S. S.; Tiba, C.; Piacentini, R. (2011). Daily UV radiation modeling with the usage of statistical correlations and artificial neural networks. *Renewable Energy*, v.36, 3337-3344.
- Lemos, C.F.; Calbete, N. O. (1996). Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995. **Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos (INPE-10717-PRE/6178).
- Martinez-Lozano, J. A.; Tena, F.; Utrillas, M.P. (1999). Ratio of UV to global broadband irradiation in Valencia, Spain. *International Journal of Climatology*, v.19, 903–911.
- Melo, J.M.D. e Escobedo, J.F. (1994). Medida da radiação solar difusa. VII Congresso Ibérico de Energia Solar, Vigo, Espanha. *Anais do Internacional Solar Energy Society*.
- Nogués-Paegle, J.; MO, K.C. (1997). Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon Wea Rev*, v. 125, 279-291.
- Ogunjobi, K. O. e Kim, Y. J. (2004). Ultraviolet and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of their correlation with aerosol optical depth and clearness index. *Atmospheric Research*, v.71, 193-214.
- Oliveira, A.P.; Escobedo, J.F.; Machado, A.J. (2002). A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston, v.5, 698-708.
- Papaioannou, G.; Papanikolaou, N.; Retalis, D. (1993). Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theoretical and Applied Climatology*, v.48, 23-27.
- Papaioannou, G.; Nikolidakis, G.; Assimakopoulos, D.; Retalis, D. (1996). Photosynthetically active radiation in Athens. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.81, 287–298.
- Porfirio, A. C. S.; Souza, J. L.; Lyra, G. B.; Lemes, M. A. M. (2012). An assessment of the global UV solar radiation under various sky conditions in Maceió-Northeastern Brazil. *Energy*, v. 44, 584-592.
- Rao, C. R. N. (1984). Photosynthetically active components of global solar radiation: measurements and model computations. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology*, v.34, 353-64.
- Reda, I.M.; Myers, D.R.; Stoffel, T.L. (2008). *Uncertainty Estimate for the Outdoor Calibration of Solar Pyranometers*: NCSLI Measure, *The Journal of Measurement Science*, v. 3, n. 4, 58-66.
- Robaa, S.M. (2004). A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. *Solar Energy*, v. 77, 251-59.
- Rossi, T. J.; Escobedo, J. F.; Santos, C. M.; Silva, M. B. P.; Gomes, E. N. (2015). Equações de estimativas sazonais para as radiações global, difusa e direta infravermelha em Botucatu/SP/Brasil. *Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, v.3, 11.83-11.94.
- Satyamurty, P.; Nobre, C. A.; Silva Dias, P. L. (1998). Topics: South America. *Meteorological Monographs*, v. 27, n. 49, 119-139.

Teramoto, E. T.; Escobedo, J. F.; Pai, A. D.; Santos, C. M.; Fukunaga, L. A.; Silva, M. B. P. (2013). Influência de nuvens, aerossóis e ozônio sobre o KTUV em Botucatu/SP/Brasil: cidade produtora de cana-de-açúcar. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 1, 11.151-11.160.

Zhang X, Zhang Y, Zhou Y. (2000). Measuring and modeling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. *Agricultural Meteorology*, v. 102, 207-212.

## **Dependence of sky conditions on Global, Diffuse and Direct fractions of the Infrared spectrum in Botucatu/SP/Brazil**

**ABSTRACT.** The study describes linear equations for four sky covers, which express the dependence of cloud, water vapour and aerosol variations in the atmosphere on the values of the ratios  $H_{\text{GNIR}}/H_{\text{G}}$ ,  $H_{\text{dNIR}}/H_{\text{d}}$  and  $H_{\text{DNIR}}/H_{\text{D}}$ . The value of the fraction  $H_{\text{GNIR}}/H_{\text{G}} = 43,3\%$  is lower in the cloudy cover, while  $H_{\text{GNIR}}/H_{\text{G}} = 46,9\%$  is higher in the clear sky condition. On the contrary, the fraction  $H_{\text{dNIR}}/H_{\text{d}} = 41,0\%$  is higher in the cloudy cover, while  $H_{\text{dNIR}}/H_{\text{d}} = 25,0\%$  is lower in the clear sky condition. No variation was found in the value of the fraction  $H_{\text{DNIR}}/H_{\text{D}}$  as a function of the sky cover. The ratio  $H_{\text{DNIR}}/H_{\text{D}} = 51,0\%$  is the same in the cloudy cover and clear sky condition.

**Keywords:** Global, Diffuse and Direct Solar Irradiations, Infrared Irradiation.