

# ANÁLISE DAS FREQUÊNCIAS MÉDIAS ANUAIS DE DIAS DE CÉU ABERTO E NEBULOSO EM BOTUCATU/SP

E.T. Teramoto<sup>1</sup>, J.F. Escobedo<sup>2</sup>, E.N. Gomes<sup>3</sup>, L.C. Dall`Antonia Júnior<sup>4</sup>.

1 Eng. Agrícola, Mestrando em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu - SP, Fone: (0 xx 14) 3811 7162, [ericoengineer@fca.unesp.br](mailto:ericoengineer@fca.unesp.br)

2 Bacharel em Física, Prof. Adjunto do Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu - SP.

3 Eng. Agrônomo, Pós-doutorando, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu - SP.

4 Eng. Agrônomo, Mestrando em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu - SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma análise dos números de dias de céu aberto e de nebuloso para uma base de dados de radiação global medida em Botucatu/SP/Brasil, no período de 1996 a 2005. Inicialmente, classificou-se as coberturas de céu com base em  $K_T$ : dias de céu aberto ( $K_T > 0,65$ ), parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso ( $0,35 < K_T \leq 0,55$ ), parcialmente nebuloso com dominância para de céu claro ( $0,55 < K_T \leq 0,65$ ) e nebuloso ( $K_T < 0,35$ ), e em seguida feita a distribuição de frequência relativa para as quatro classes, para cada ano. As frequências médias anuais variaram de 19,30% a 39,81% para dias de céu aberto, com média dos 10 anos de 31,21%, e de 13,68% a 20,78% para dias de céu nebuloso, com média dos 10 anos de 16,72%. A distribuição de frequência mostrou ainda uma pequena tendência de decréscimo no número de dias de céu aberto a partir de 1999, enquanto que não foi observada nenhuma tendência do número de dias de céu nebuloso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Radiação solar, índice de claridade, nebulosidade.

## ANALYSIS OF THE AVERAGE ANNUAL FREQUENCY OF CLOUDLESS SKY AND CLOUDINESS SKY DAYS IN BOTUCATU/SP

**ABSTRACT:** This paper presents an analysis of the numbers of cloudless sky and cloudy sky days to a database of global irradiation measured in Botucatu/SP/Brazil, from 1996 to 2005. Initially, the days of the total data were classified based in  $K_T$ : cloudy sky day ( $K_T < 0.35$ ), with partly cloudy sky for the diffuse dominance ( $0.35 < K_T \leq 0.55$ ), with partly cloudy to dominance of cloudless sky ( $0.55 < K_T \leq 0.65$ ) or cloudless sky ( $K_T > 0.65$ ), and then made the distribution of relative frequency for the four classes for each of 10 years. The frequencies to medium annuals ranged from 19.30% to 39.81% for cloudless sky days, with an average of 10 years of 31.21% and 13.68% to 20.78% for days of cloudy sky, with an average of 10 years of 16.72%. The distribution of frequency also showed a small tendency to decrease in number of cloudless sky day, the number of cloudless sky days from 1999, but with the number of days of cloudy sky was not observed any trend.

**KEYWORDS:** Solar radiation, clearness index, cloudiness.

**INTRODUÇÃO:** A radiação solar ao incidir na atmosfera recebe o nome de radiação solar extraterrestre, e esta, ao entrar na atmosfera, tem sua intensidade modificada por três processos físicos: reflexão; absorção por gases atmosféricos; e espalhamento ou difusão, causado por moléculas de gases, vapor de água, poeiras, e outras partículas de aerossóis.

Existe uma parcela, que é transmitida diretamente sem espalhamento com a atmosfera e que atinge a superfície terrestre, chamada de radiação solar direta na incidência normal ( $I_D$ ), enquanto uma segunda é proveniente do espalhamento da radiação por gases e partículas sus-

pensas na atmosfera, chamada radiação solar difusa ( $I_d$ ). Ao incidir sobre a superfície terrestre, a soma das duas componentes recebe o nome de radiação solar global ( $I_G$ ), ou seja,  $I_G = I_D + I_d$ .

O índice de claridade, que é a razão entre a radiação global e a radiação extraterrestre, inversamente proporcional à quantidade de nuvens e materiais particulados na atmosfera, permite conhecer as condições de cobertura do céu, para um determinado instante ou período, e é frequentemente utilizado em modelos estatísticos para estimativa de radiações, sendo LIU & JORDAN (1960) os precursores destas ao propor o modelo que substitui da equação as radiações por frações. Essa mudança elimina a dependência dos modelos do dia e local.

Para sistemas de aquecimento solar de água, em dias de céu nebuloso (com predominância de radiação solar difusa), faz-se necessário o uso de um sistema de aquecimento elétrico complementar ao solar. Portanto, para uma projeção da redução no consumo de energia elétrica a partir da utilização da solar, é também necessário ter o conhecimento da frequência de dias de céu nebuloso.

Este trabalho apresenta uma análise dos números de dias de céu aberto e de nebuloso, a partir do índice de claridade ( $K_T$ ), para uma base de dados de radiação global medida em Botucatu/SP/Brasil, no período de 1996 a 2005.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** A base de dados de irradiância global na horizontal ( $I_G$ ), média de 5 minutos, foi medida por um piranômetro Eppley-PSP ( $K=8,13$  micro  $Vm^2/W$ ) e registradas por um sistema automático de aquisição de dados CR23X da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC, no período de janeiro de 1996 a dezembro de 2005. Estes equipamentos estão instalados na estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP (latitude  $22,85^\circ$ , longitude  $48,45^\circ W$ , altitude 786 m), situada na Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP/Botucatu. Inicialmente, classificaram-se os dias da base total de dados em de céu aberto ( $K_T > 0,65$ ), parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso ( $0,35 < K_T \leq 0,55$ ), parcialmente nebuloso com dominância para de céu claro ( $0,55 < K_T \leq 0,65$ ) ou nebuloso ( $K_T < 0,35$ ), e em seguida feito a distribuição de frequência relativa percentual para as quatro classes, para cada um dos 10 anos. A frequência relativa percentual corresponde ao valor da frequência absoluta dividido pelo número total de observações, conforme equação [1], (MOORE, 2000),

$$F_R = \frac{F_A}{n} \times 100 \quad [2]$$

onde:  $F_R$  - frequência relativa, expressa em %;  $F_A$  - frequência absoluta, correspondente ao número de repetições observadas para um determinado intervalo de  $K_T$ ; e  $n$  - número total de observações. A partir daí, calculou-se o desvio padrão para cada ano e a média dos 10 anos.

O índice de claridade foi determinado através da equação [2], conforme Iqbal (1983),

$$k_T = \frac{I_G}{I_0}, \quad [2]$$

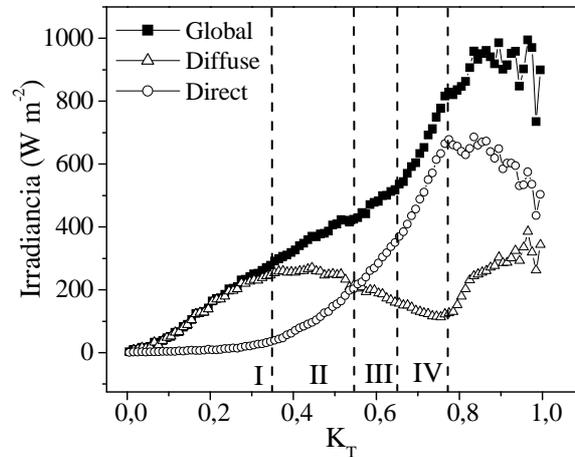
onde:  $K_T$  representa o coeficiente de claridade atmosférica, adimensional;  $I_G$  a irradiação solar global diária na horizontal, expressa em  $MJ/m^2$ ; e  $I_0$  a irradiação extraterrestre diária na horizontal, expressa em  $MJ/m^2$ , calculada conforme IQBAL (1983) através da equação [3] integrada no intervalo de horas correspondente ao fotoperíodo

$$I_0 = I_{SC} \cdot E_0 \cdot (\text{sen } \delta \cdot \text{sen } \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega), \quad [3]$$

onde:  $I_0$  representa a irradiância extraterrestre na horizontal, expressa em  $W/m^2$ ;  $I_{SC}$  a constante solar, expressa em  $W/m^2$ ;  $E_0$  o fator de correção da excentricidade da órbita terrestre;  $\delta$  a declinação solar, expressa em graus;  $\phi$  a latitude local, expressa em graus; e  $\omega$  o ângulo

horário, expresso em graus. A irradiação global, em MJ/m<sup>2</sup>, foi calculada a partir da integração diária das irradiâncias globais.

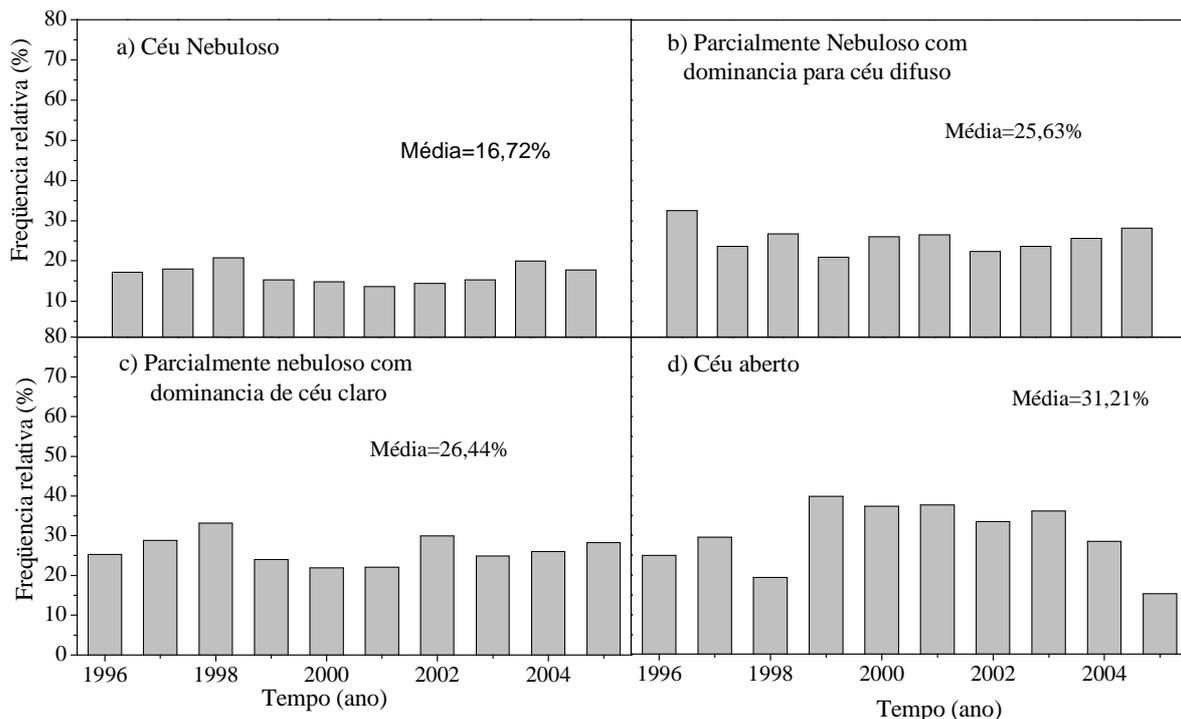
O critério usado para classificar a cobertura do céu foi o descrito por ESCOBEDO et al. (2009) para Botucatu, conforme descrito abaixo e ilustrado na fig. 1:



**Figura 1.** Evoluções das radiações médias de 5 minutos global, difusa e direta na horizontal médias em função de intervalos infinitesimais de  $K_T$ .

- $K_T \leq 0,35$ , a radiação direta é praticamente igual a zero, e a radiação global é igual à radiação difusa: a cobertura do céu é nebuloso;
- $0,35 < K_T \leq 0,55$ , a radiação global é a soma de uma maior parcela da radiação difusa que é decrescente e uma menor da direta que crescente, gradativamente até a igualdade das duas radiações, que ocorre em torno de 200W/m. Neste caso a cobertura do céu é denominada de parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso;
- $0,55 < K_T \leq 0,65$ , a evolução das radiações difusa e direta é contrario do segundo intervalo, a global é a soma de uma maior parcela da radiação direta que aumenta e uma menor da difusa que diminui, gradativamente. A cobertura do céu neste caso é denominada parcialmente nebuloso com dominância para de céu claro;
- $K_T > 0,65$ , a radiação global possui a maior parcela da radiação direta e mínima de difusa, portanto a cobertura de céu é denominada aberto.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** A fig. 2 abaixo apresenta a distribuição de frequência relativa para os quatro intervalos de  $K_T$  para cada ano da série de 10 anos.



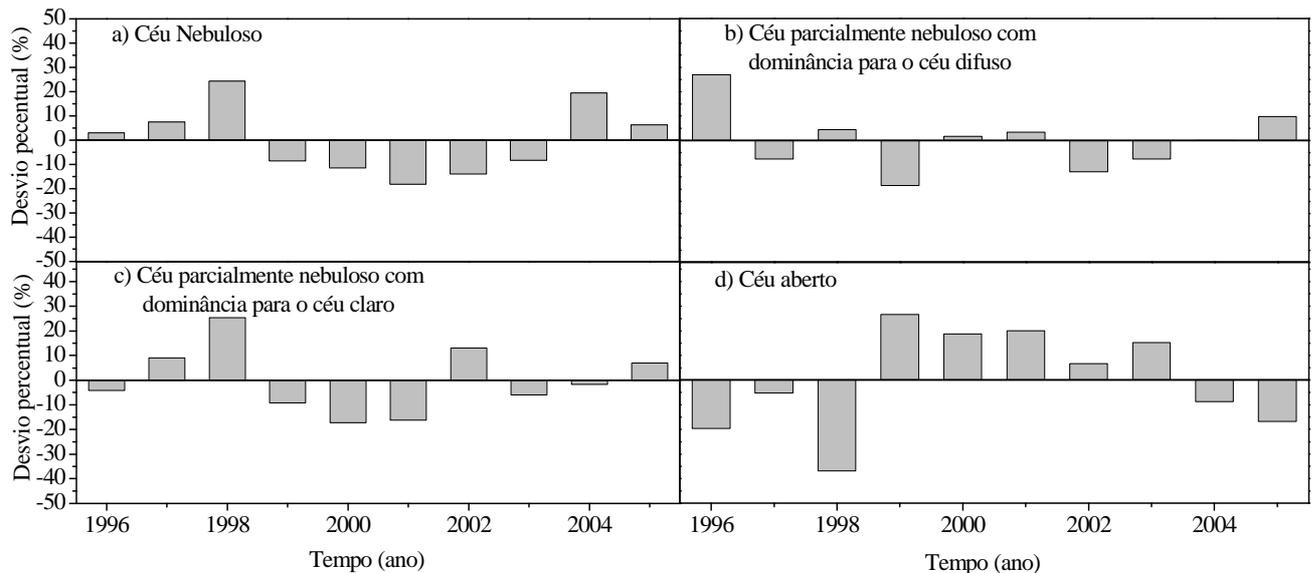
**Figura 2.** Distribuição de freqüência relativa entre os anos de 1996 a 2005: a)  $K_T \leq 0,35$ ; b)  $0,35 < K_T \leq 0,55$ ; c)  $0,55 < K_T \leq 0,65$ ; d)  $K_T > 0,65$ .

As freqüências relativas anuais, para dias de céu nebuloso variaram de 13,68% a 20,78%, com média de 16,72%. Para dias de céu parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso, variaram de 20,90% a 32,56%, com média de 25,63%. Para dias de céu parcialmente nebuloso com dominância para o céu claro, variaram de 21,88% a 33,13%, com média de 26,44%. Para dias de céu aberto, variaram de 19,30% a 39,81%, com média de 31,21%. A distribuição de freqüência mostra uma pequena tendência de decréscimo no número de dias de céu aberto a partir de 1999 (fig. 2, gráfico “d”), porém, com o número de dias de céu nebuloso não foi observada nenhuma tendência.

O desvio percentual (D%), obtido da comparação da freqüência média de cada ano do período em estudo ( $FM_{\text{média do ano}}$ ) em relação à média do período ( $FM_{\text{média total}}$ ), mostra a variabilidade da freqüência relativa por ano, fig. 2, sendo expressa pela equação [3]:

$$D(\%) = \left( \frac{FM_{\text{média total}} - FM_{\text{média do ano}}}{FM_{\text{média total}}} \right) * 100 \quad [3]$$

A figura 3 apresenta os desvios percentuais das freqüências relativas para os quatro intervalos de  $K_T$  para cada ano da série de 10 anos. Analisando os gráficos, nota-se que o ano de 1998 foi atípico em relação às médias dos outros anos, quando apresentou considerável aumento no número de dias de céu nebuloso, 24,29%, de céu parcialmente nebuloso com dominância para o céu claro, 25,30%, e pequena no de céu parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso, 4,53%. Ao mesmo tempo, percebe-se uma redução de 36,98% na freqüência de dias com céu aberto (fig. 3, gráfico “c”).



**Figura 3.** O desvio percentual (D%) entre os anos de 1996 a 2005: a)  $K_T \leq 0,35$ ; b)  $0,35 < K_T \leq 0,55$ ; c)  $0,55 < K_T \leq 0,65$ ; d)  $K_T > 0,65$ .

**CONCLUSÃO:** Em função dos resultados obtidos, é conclusivo que em Botucatu/SP há uma predominância ao longo do ano de dias com cobertura de céu de aberto, com percentual de 31,21% dos dias do ano, ou seja, aproximadamente 114 dias do ano com predominância de radiação solar direta. A frequência de dias com céu nebuloso é a menor dentre os quatro intervalos, aproximadamente 61 dias do ano (16,72%).

**AGRADECIMENTO:** Agradecimentos a CAPES pelo apoio financeiro.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ESCOBEDO, J; GOMES, E; OLIVEIRA, A; 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**, v.86, p.299-309, 2009.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. London: Academic Press., 1983. 390 p.

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.

MOORE, D.. **A estatística básica e sua prática**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000. 482 p.