

ANÁLISE DAS FREQUÊNCIAS DE DIAS DE CÉU ABERTO E NEBULOSO MENSAL EM FUNÇÃO DAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS EM BOTUCATU/SP.

E.T. Teramoto¹, J.F. Escobedo², E.N. Gomes³, L.C. Dall`Antonia Júnior⁴.

1 Eng. Agrícola, Mestrando em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu - SP, Fone: (0xx14) 3811 7162, ericoengineer@fca.unesp.br

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

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

4 Eng. Agrônomo, Mestrando em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 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 da frequência de dias de céu aberto e de nebuloso em função das variações climáticas, para uma base de dados de irradiação global medida em Botucatu/SP/Brasil, no período de 1996 a 2005. Inicialmente, classificaram-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 ($K_T < 0,35$); Os resultados mostraram que o mês de agosto apresentou a maior frequência de dias de céu aberto, com 53,80% e desvio padrão de 20,2%; e o mês de janeiro a menor frequência com 7,70% e desvio padrão de 5,08%. Para dias de céu nebuloso, o mês de janeiro apresentou maior média, 29,78%, com desvio padrão de 12,82, e julho a menor, 9,50%, com desvio padrão de 5,43.

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

ANALYSIS OF AVERAGE MONTHLY FREQUENCY OF CLOUDLESS SKY AND CLOUDY SKY DAYS IN FUNCTION OF CLIMATE CHANGES IN BOTUCATU/SP

ABSTRACT: This paper presents an analysis of the numbers of cloudless sky and cloudy sky days in function of climate change 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 skies 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 month of each of 10 years. August had the highest average of cloudless days, 53.80%, with standard deviation of 20.2%; and the lowest in January, 7.70%, with standard deviation of 5.08%. For days of cloudy skies, the month of January showed a greater average of 29.78%, with standard deviation of 12.82, and in July the lowest, 9.50%, with standard deviation of 5.43.

KEYWORDS: Solar radiation, clearness index, cloudiness.

INTRODUÇÃO: O índice de claridade (K_T), razão entre a radiação global e a radiação extra-terrestre, é inversamente proporcional à quantidade de nuvens, vapor d'água, materiais particulados na atmosfera e permite conhecer as condições de cobertura do céu, para um determinado instante ou período. Esse índice é frequentemente utilizado em modelos estatísticos para estimativa de radiações, sendo LIU & JORDAN (1960) o precursor ao propor no modelo estatístico a substituição das 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 presença apenas 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. O desenvolvimento da pesquisa, além do interesse dentro da área de engenharia nos processos térmico e fotovoltaico, guarda interessante também nas áreas da climatologia, meteorologia e ambiental, pois a atmosfera da região recebe todos os anos no período da seca, entre julho a novembro, elevadas concentrações de matérias particuladas resultantes da queima da cana-de-açúcar.

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, instalados na estação de Radiometria Solar de Botucatu/SP. A base de dados de horas de brilho solar foi registrada por um Heliógrafo - Campbell Stokes, e a de precipitação pluviométrica por um pluviógrafo Ota Keiki Seisakusho, instalados na Estação Climatológica de Botucatu/SP, no período de janeiro de 1996 a dezembro de 20. Ambas as estações estão situadas na Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP/Botucatu (latitude $22,85^\circ$, longitude $48,45^\circ W$, altitude 786 m), onde o clima do município é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido, e o inverno é seco.

Pela normal climatológica do município, os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, com temperaturas médias de $23,20^\circ C$ e $17,10^\circ C$, enquanto que, fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos (fig. 1, gráfico “a”), com percentuais de 78,4% e 63,22%, respectivamente. As maiores precipitações ocorrem no mês de janeiro (260,7 mm) e as mínimas em agosto com (38,2 mm). Chuvas de verão e a entrada das frentes frias no período da seca (maio, abril, junho, julho, agosto e setembro) modificam sazonalmente as concentrações da nebulosidade e de vapor de água na atmosfera.

Com relação à emissão de aerossóis na atmosfera, no período da seca pode apresentar uma atmosfera sujeita a material particulado proveniente das queimadas da cana-de-açúcar e das usinas que produzem o álcool e açúcar, localizadas num raio de 100 Km da cidade. A partir do início das queimadas da cana de açúcar em junho/julho, a concentração de aerossóis aumenta consideravelmente no mês de setembro (fig. 1, gráfico “b”), onde passa pelo valor máximo de $AOD=0,313$, equivalente a concentração de PM_{10} de $70,0 \mu g m^{-3}$ (CODATO et al., 2008). Nos meses de outubro a dezembro, a concentração de aerossóis decresce gradativamente, até atingir valores de $AOD = 0,14$ ou $20,0 \mu g m^{-3}$. De janeiro até junho, a concentração de aerossóis continua a decrescer até atingir o menor nível de concentração AOD no mês de maio (0,077).

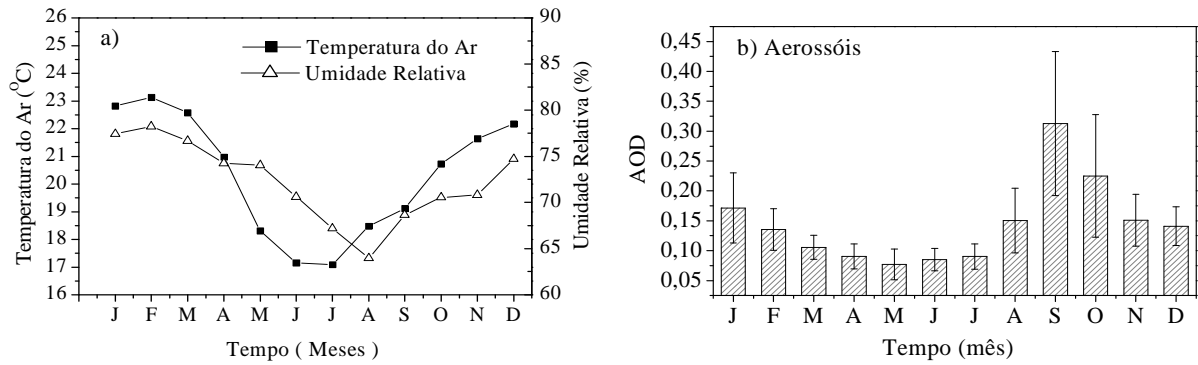


Figura 1. a) Temperatura do ar e umidade do ar; b) Concentração de aerossóis na atmosfera de Botucatu/SP, (CODATO et al., 2008).

Inicialmente, classificaram-se os dias da base total de dados, em função de K_T , 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 feita a distribuição de frequência relativa percentual para as quatro classes, para cada mês de cada um dos 10 anos. A frequência relativa percentual corresponde à razão entre o valor da frequência absoluta e o número total de observações multiplicado cem, conforme equação [1], (MOORE, 2000),

$$F_R = \frac{F_A}{n} \times 100, \quad [1]$$

A partir daí, calculou-se a média e o desvio padrão para cada mês entre os 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/m²; e I_0 a irradiação extraterrestre diária na horizontal, expressa em MJ/m², calculada conforme IQBAL (1983) através da equação [3] integrada no intervalo de horas correspondente ao fotoperíodo

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

onde: I_0 representa a irradiância extraterrestre na horizontal, expressa em W/m²; I_{SC} a constante solar, expressa em W/m²; E_0 o fator de correção da excentricidade da órbita terrestre; δ a declinação solar, expressa em graus; ϕ a latitude local, expressa em graus; e ω o ângulo horário, expresso em graus. A irradiação global, em MJ/m², 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:

- $K_T \leq 0,35$, a irradiação direta é praticamente igual a zero, e a irradiação global é igual à irradiação difusa: a cobertura do céu é nebuloso;
- $0,35 < K_T \leq 0,55$, a irradiação global é a soma de uma maior parcela da irradiação difusa que é decrescente e uma menor da direta que crescente, gradativamente até a igualdade das duas irradiações, 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 irradiação direta que aumenta e uma menor da di-

fusa que diminui, gradativamente. A cobertura do céu neste caso é denominada parcialmente nebuloso com dominância para de céu claro;

- $K_T > 0,65$, a irradiação global possui a maior parcela da irradiação 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 para os quatro intervalos de K_T e a fig. 3 a nebulosidade e a precipitação acumulada, médias mensais. A nebulosidade é um dos efeitos climáticos que afetam diretamente a incidência da irradiação solar, e conseqüentemente os valores de K_T , e refere-se à fração do céu coberta pelas nuvens quando observado de uma localização em particular e foi calculada pela equação $f = 1 - n/N$ e expressa o número de horas que o sol ficou encoberto numa razão de insolação n/N , onde n é o número de horas de brilho solar e N é o fotoperíodo.

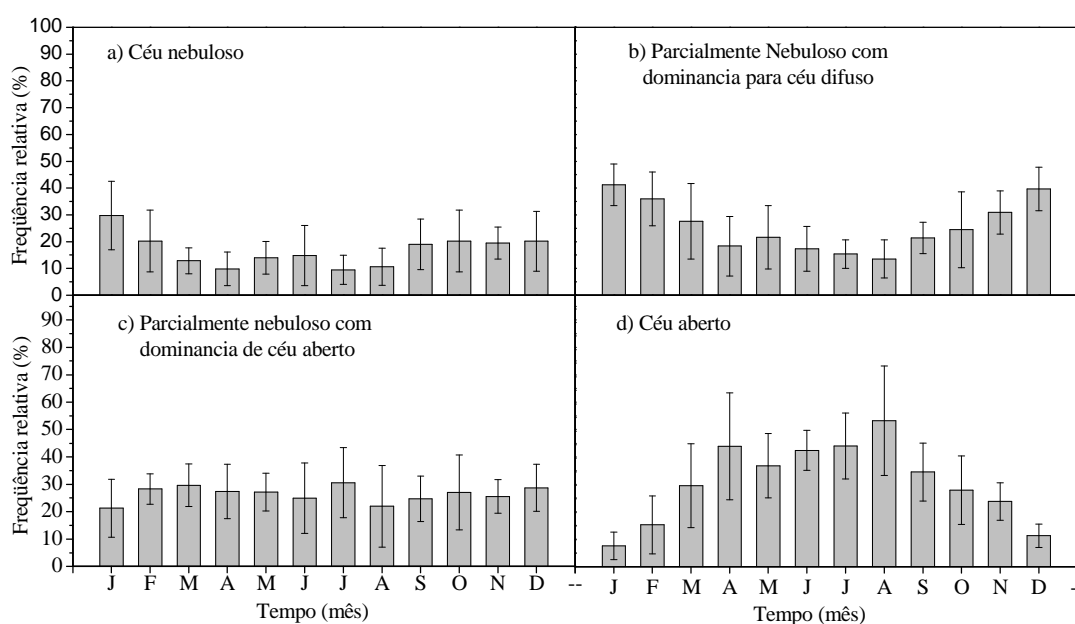


Figura 2. Distribuição de frequência relativa entre os anos de 1996 a 2005: a) Céu nebuloso; b) Céu parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso; c) Céu parcialmente nebuloso com dominância para de céu claro e d) Céu aberto.

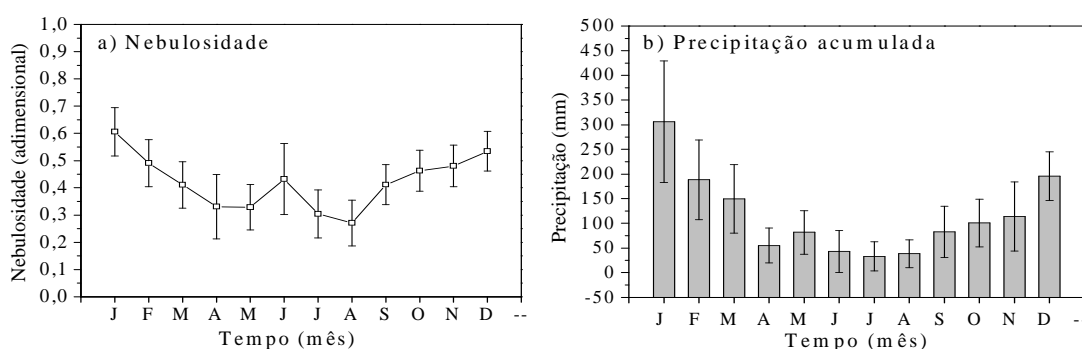


Figura 3. a) Nebulosidade média mensal, período de 1996 à 2005; b) Precipitação acumulada média mensal, período de 1996 à 2005.

A frequência relativa para dias de céu nebuloso (fig. 2, gráfico “a”) é maior no período chuvoso, meses de outubro a fevereiro, onde a concentração de nuvens é elevada no ano. Neste

período, a precipitação característica da época e a nebulosidade são responsáveis por esses resultados. Enquanto que a menor frequência ocorreu no período seco, abril a setembro, onde a concentração de nuvens e vapor de água é a menor do ano; sendo exceções os meses de maio e junho, nos quais a nebulosidade aumenta, a baixos níveis de temperatura e umidade, por conta das entradas das frentes frias vindas do sul do país que arrastam grandes quantidades de massas de ar frio. O mês de janeiro apresentou o maior valor, 29,78%, com desvio padrão de 12,82%; e julho o menor valor, 9,50%, com desvio padrão de 5,43%. Para céu parcialmente nebuloso com dominância para o céu difuso (figura 2, gráfico “b”), acompanha as evoluções anuais de precipitação, quando aumenta gradativamente nos meses que compreendem o período chuvoso e diminui nos meses mais secos. Janeiro apresentou maior média, 41,23%, com desvio padrão de 7,76; e agosto o mês de menor, 13,57%, com desvio padrão de 7,08%. E para céu parcialmente nebuloso com dominância para de céu claro (figura 2, gráfico “c”), o mês de julho apresentou maior média, 30,60%, com desvio padrão de 12,80%; e janeiro a menor, 21,29%, com desvio padrão de 10,59%.

A frequência relativa para dias de céu aberto (figura 2, gráfico “d”) é maior nos meses de abril a setembro, acompanhando o período seco que vai de maio a setembro. Abril apresenta um dos maiores valores, 44,36%, onde as variações climáticas predominaram sobre as variações astronômicas; é um mês posterior ao período chuvoso, quando há redução da concentração de aerossóis, e precedente ao período das entradas de frentes frias, com redução dos valores de nebulosidade e precipitação acumulada. O mês de agosto apresentou o maior valor, 53,80%, com desvio padrão de 20,20%; e janeiro o menor valor, 7,70%, com desvio padrão de 5,08%.

CONCLUSÃO: Em função dos resultados obtidos, observa-se que em Botucatu/SP, no período seco, meses abril a setembro, a frequência de dias com cobertura de céu aberto varia de 17 dias (53,80% do mês) em agosto a 10 dias (34,91% do mês) em setembro; tendo abril a segunda maior frequência, aproximadamente 13 dias (44,36% do mês). Para o período chuvoso, meses de outubro a fevereiro, a frequência de dias de céu nebuloso varia de 13 dias (41,23% do mês) em janeiro a 6 dias (20,24% do mês) em outubro.

AGRADECIMENTO: Agradecimentos a CAPES pelo apoio financeiro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CODATO, G., OLIVEIRA, A. P., SOARES, J., ESCOBEDO, J. F., GOMES, E. N., PAI, A. D. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in Southeast Brazil. **Theory and Appl. Climat.**, v. 93, p. 57-73; 2008.

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.