

ANÁLISE CLIMÁTICA ANUAL DAS RADIAÇÕES GLOBAL, DIRETA E DIFUSA DE BOTUCATU/SP.

THIAGO DO NASCIMENTO SANANTA DE ALMEIDA¹, JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO², AMAURI PEREIRA DE OLIVEIRA³, JACYRA SOARES⁴

1 Mestrando em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (14) 38117162, almeida.tns@fca.unesp.br

2 Dr. em Física, Prof. Associado, Depto. de Recursos Naturais

3 Dr. em Meteorologia, Professor Associado ao Departamento de Meteorologia do IAG.

4 Dra. em Meteorologia, Professora Associado ao Departamento de Meteorologia do IAG.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

RESUMO. No trabalho é apresentada uma análise estatística e climática das radiações global (G), direta na horizontal (Dh), difusa (d) para uma base de dados de radiação solar medida no período de 1996 a 2006 em Botucatu. A sazonalidade das radiações ao longo do ano é resultante das variações astronômica e climática. A variabilidade média anual das radiações, horária e diária não foi significativa entre os anos. A energia da radiação global média anual horária variou de 1,40 MJ/m² a 1,50 MJ/m² com média total de (1,49 ± 0,07) MJ/m² e a energia média anual diária de 17,20 MJ/m² a 18,39 MJ/m² com média total de (17,74 ± 0,48) MJ/m²; a energia da radiação direta média anual horária variou de 0,82 MJ/m² a 1,0 MJ/m² com média (0,90 ± 0,07) MJ/m² e a energia média anual diária de 9,31 MJ/m² a 11,12 MJ/m² com média de (10,74 ± 0,48) MJ/m²; a energia da radiação difusa média anual horária variou de 0,55 MJ/m² a 0,63 MJ/m² com média de (0,57 ± 0,04) MJ/m² e a energia média anual diária de 6,80 MJ/m² a 7,92 MJ/m² com média de (7,09 ± 0,05) MJ/m².

Palavras-chave: radiações solares global, difusa e direta na horizontal.

ANNUAL CLIMATICAL ANALYSIS OF GLOBAL, DIRECT AND DIFFUSE SOLAR RADIATION BOTUCATU CITY

ABSTRACT. This paper presents a climatic and statistical analysis of global (G), direct horizontal (Dh) and diffuse (d) radiation from a data base of solar radiation measured in the period from 1996 to 2006 in the city of Botucatu, SP, Brazil. Concerning annual variability of radiations, no statistically significant difference was found in annual average values of global, direct and diffuse solar radiation among years. Energy of annual hourly average global radiation ranged from 1.40 MJ/m² to 1.50 MJ/m² with total average energy of (1.49 ± 0.07) MJ/m² and annual daily average energy ranged from 17.20 MJ/m² to 18.39 MJ/m² with total average of (17.74 ± 0.48) MJ/m²; energy of annual hourly average direct radiation ranged from 0.82 MJ/m² to 1.0 MJ/m² with average of (0.90 ± 0.07) MJ/m² and annual daily average energy ranged from 9.31 MJ/m² to 11.12 MJ/m² with average of (10.74 ± 0.48) MJ/m²; energy of annual hourly average diffuse radiation ranged from 0.55 MJ/m² to 0.63 MJ/m² with average of (0.57 ± 0.04) MJ/m² and annual daily average energy ranged from 6.80 MJ/m² to 7.92 MJ/m² with average of (7.09 ± 0.05) MJ/m².

Keywords: Global, direct and diffuse solar radiation.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das radiações global, direta e difusa na superfície terrestre é de fundamental importância para muitos projetos de pesquisas otimizados. Nas ciências térmicas por exemplo, a quantificação dos níveis de energia permite estudos de simulação e modelagem com coletores e concentradores solares. Para o clima, o conhecimento das séries das três irradiações é importante porque permite calcular os índices radiométricos, os quais expressam a transmissão das radiações na atmosfera independentemente do dia e local. Do ponto de vista agrônomo está associado aos estudos de balanço de energia e hídrico, atualmente de grande importância para o uso racional da água, potencial energético, análise da claridade para fins turísticos, entre muitas outras aplicações. No Brasil, o monitoramento das radiações solares global, direta e difusa é restrito a pouquíssimos locais e, em menor número ainda, são aqueles que medem simultaneamente as três radiações. (Souza *et al.*, 2005; Tiba *et al.*, 2005; Soares, *et al.*, 2004; Oliveira *et al.* 2002a, b; Cavalcanti, 1991; Oliveira *et al.*, 2006; Gomes *et al.*, 2006; Escobedo *et al.* 2007). Porém, a Estação de Radiometria de Botucatu, além destas três radiações, monitora ainda as radiações ultravioleta, par, infravermelho curto, infravermelho longo, global e difusa em superfícies inclinadas. A base de dados de radiação global, direta e difusa, essa última calculada pelo método da diferença para este trabalho, é constituída de 11 anos (1996 a 2006), tempo este que permite, com boa aproximação, determinar as tendências das três radiações em Botucatu, ao longo dos anos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar estatística e climaticamente as radiações global, direta e difusa, nas partições horária e diária, bem como calcular seus valores médios anuais em Botucatu.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição do clima

As medidas foram realizadas na Estação de Radiometria Solar de Botucatu, FCA, UNESP, Botucatu-SP, com coordenadas geográficas: latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m. O clima é temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno.

A figura (1a, b, c) mostram as séries climáticas da temperatura, umidade relativa, nebulosidade e precipitação, do período de 1970 a 2000 em Botucatu. A temperatura e umidade são maiores quando os valores da radiação são mais elevados (declinação mais próximo da latitude local) e são menores quando a radiação é menos elevada, onde o sol o declina no hemisfério norte, mais distante da latitude local. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2 °C e 17,1 °C, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente. A figura 1d mostra a evolução anual das médias mensais diárias da AOD (profundidade ótica de aerossóis) obtidas pelo satélite TERRA do período de 2000 a 2005.

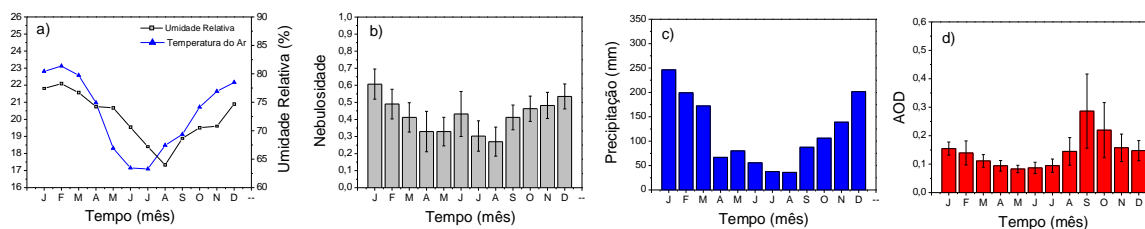


Figura 1(a,b,c) – Séries Climáticas da temperatura e Umidade (a), Nebulosidade (b), Precipitação (c) no período de 1970 a 2000 em Botucatu. Figura 1(d) – Série de 6 anos do período de 2000 a 2005 da concentração de aerossóis em Botucatu.

2.2 Instrumentação

A irradiância global (I_G) foi monitorada por um piranômetro Eppley PSP enquanto a direta na incidência (I_b) por um pireliômetro Eppley NIP, acoplado a um rastreador solar ST3 da Eppley. A irradiância difusa (I_d) foi gerada pelo método indireto, ou seja, pela diferença entre a irradiância I_G e a irradiância direta na horizontal I_{Dh} , calculada na mesma frequência, por meio da equação: $I_d = I_G - I_b \cos z$, onde z é o ângulo zenital. Na aquisição dos dados foi utilizado um Datalogger da Campbell CR23X operando na frequência de 1 Hz, armazenando médias instantâneas de 5 minutos.



Figura 2 - Vista parcial da Estação de Radiometria Solar de Botucatu.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Evolução Temporal e Análise Estatística.

A evolução temporal das radiações horárias e diárias H_G , H_D e H_d é periódica anualmente e a sazonalidade é resultante da variação astronômica (declinação solar), geográfica (latitude) e das variações da atmosfera: a nuvens, vapor d'água e aerossóis.

3.2 Energia das radiações média anual horária e diária

Os valores médios das radiações global, direta e difusa anual total foram (figura 3): horária $\langle \overline{H}_G \rangle = (1,49 \pm 0,07 \text{ MJ/m}^2)$ e diária $\langle \overline{H}_G \rangle = (17,74 \pm 0,48 \text{ MJ/m}^2)$; horária $\langle \overline{H}_D \rangle = (0,9 \pm 0,07 \text{ MJ/m}^2)$ e diária $\langle \overline{H}_D \rangle = (10,33 \pm 0,48 \text{ MJ/m}^2)$; horária $\langle \overline{H}_d \rangle = (0,57 \pm 0,04 \text{ MJ/m}^2)$ e diária $\langle \overline{H}_d \rangle = (7,09 \pm 0,05 \text{ MJ/m}^2)$ respectivamente. A linha com os alteres representam o valor das radiações global, direta e difusa média anual com seu respectivo desvio padrão da média.

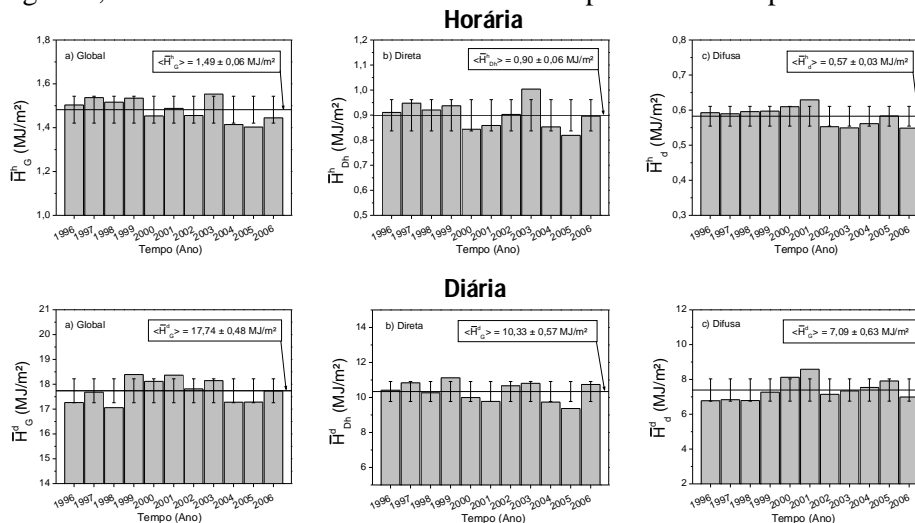


Figura 3 - Energia da radiação global, direta e difusa média anual, horária e diária, 1996 a 2006.

O desvio percentual entre a energia média anual e a energia média total, no período de 1996 a 2006, calculada pela expressão 1, expressa a variabilidade das radiações por ano.

$$D(\%) = \left(\frac{\text{Energia média do ano} - \text{Energia média total}}{\text{Energia média total}} \right) * 100 \quad (1)$$

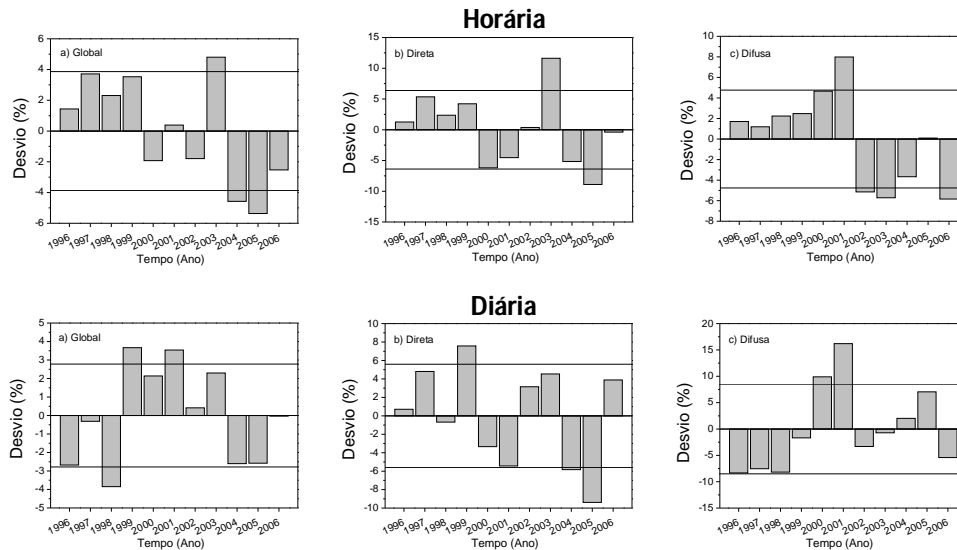


Figura 4 - Desvios percentuais entre a energia média anual e energia média anual total do período 1996-2006.

O resultado da variabilidade anual das radiações global, direta e difusa, está representado na figura 4. Para a radiação global horária, a variação dos desvios (D%) foi entre -5,4% a 4,8% com média de $\pm 3,8\%$, enquanto que, a radiação global diária entre -3,8% a 3,6% com média de $\pm 2,8\%$. Para a radiação direta horária a variação dos desvios (D%) foi de -6,2% a 11,6% com média de $\pm 6,4\%$, enquanto que, a radiação global diária entre -9,4% a 7,6% com média de $\pm 5,6\%$. Para a radiação difusa horária a variação dos desvios (D%) foi de -5,8% a 8,0% com média de $\pm 4,8\%$, enquanto que, a radiação difusa diária entre -8,3% a 16,2% com média de $\pm 8,5\%$.

Como mostrado na figura 4, os valores da radiação global horária dos anos de 2003, 2004 e 2005, e a global diária de 1998, 1999 e 2001 estão fora da previsão da série normal. Similarmente, os anos de 2003 e 2005 para a direta horária, e para a direta diária 1999 e 2005, enquanto que, para a radiação difusa horária, os anos de 2001, 2002, 2003 e 2006, e a diária 2000 e 2001 respectivamente.

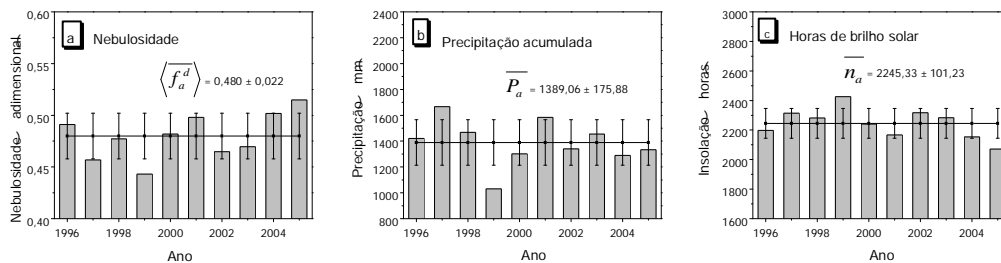


Figura 5: a) - Nebulosidade média anual diária; b) - precipitação acumulada anual, período de 1996 a 2005; c) - número de horas de brilho solar(n);

4 CONCLUSÕES

A sazonalidade das radiações H_G , H_D e H_d , horária e diária, ao longo do ano é resultante da variação da declinação solar (dia), da latitude (local), e das variações climáticas da atmosfera. A energia da radiação global média anual horária variou de $1,40 \text{ MJ/m}^2$ a $1,50 \text{ MJ/m}^2$ com média total de $(1,49 \pm 0,07) \text{ MJ/m}^2$ e a energia média anual diária de $17,20 \text{ MJ/m}^2$ a $18,39 \text{ MJ/m}^2$ com média total de $(17,74 \pm 0,48) \text{ MJ/m}^2$; a energia da radiação direta média anual horária variou de $0,82 \text{ MJ/m}^2$ a $1,0 \text{ MJ/m}^2$ com média $(0,90 \pm 0,07) \text{ MJ/m}^2$ e a energia média anual diária de $9,31 \text{ MJ/m}^2$ a $11,12 \text{ MJ/m}^2$ com média de $(10,71 \pm 0,48) \text{ MJ/m}^2$; a energia da radiação difusa média anual horária variou de $0,55 \text{ MJ/m}^2$ a $0,63 \text{ MJ/m}^2$ com média de $(0,57 \pm 0,04) \text{ MJ/m}^2$ e a energia média anual diária de $6,80 \text{ MJ/m}^2$ a $7,92 \text{ MJ/m}^2$ com média de $(7,09 \pm 0,05) \text{ MJ/m}^2$. Como a variabilidade anual das três radiações não foi muito elevada de um ano a outro, conclui-se que Botucatu apresenta um bom potencial energético para várias aplicações, permitindo, por exemplo, o uso de coletores solares com uma considerável eficiência além de se apresentar viável no ponto de vista turístico por apresentar um alto nível de claridade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cavalcanti, E.S.C., 1991. Analysis of experimental solar radiation for Rio de Janeiro, Brazil. *Solar Energy*, v.47, p.231-235.
- Codato, G., Oliveira, A. P., Soares, Jacyra, Escobedo, J. F., Gomes, E.N., Dal Pai, A., 2007. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v.1, p.12 - .
- Escobedo, J. F., Gomes, E.N., Furlan Junior, Carlos Roberto, Oliveira, A. P., Soares, J., 2007. Estimativas das radiações global, direta e difusa horária, diária e mensal em função do índice de claridade (kt) e razão de insolação (n/N). In: Congresso Brasileiro De Energia Solar, 1, 2007, Fortaleza, CE. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Gomes, E.N., Escobedo, J. F., Oliveira, A. P., Soares, J., 2006. Evolução diurna e anual da radiação direta na incidência. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v.10, p.129 – 136.
- Oliveira, A. P., et al., 2006. An Application of Neural Network Technique to Correct the Dome Temperature Effects on Pyreometer Measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v.23, p.80 – 89
- Oliveira, A.P., Escobedo, J.F., Machado, A.J., Soares, J., 2002. Correlation models of diffuse-solar radiation applied to the city of São Paulo, Brazil. *Applied Energy*, v.71, p.59-73.
- Oliveira, A.P., Machado, A.J., Escobedo, J.F., Soares, J., 2002. Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the city of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theor. Appl. Clim.*, v.71, p.231-250.
- Soares, J., Oliveira, A.P., Boznar, M.Z., Mlakar, P., Escobedo, J.F., Machado, A.J., 2004. Modeling hourly diffuse solar-radiation in the city of São Paulo using a neural-network technique. *Applied Energy*, v.79, p.201-204.
- Souza, J.L., Nicácio, R.M., Moura, M.A.L., 2005. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. *Renewable Energy*, v.30, p.1203-1220.
- Tiba, C. Aguiar, R., Fraidenraich., 2005. N. Analysis of a new relationship between monthly global irradiation and sunshine hours from a database of Brazil. *Renewable Energy*, v.30, p.957-966