

INFLUÊNCIA DAS QUEIMADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA FREQUÊNCIA DA COBERTURA DE CÉU CLARO EM BOTUCATU/SP

Érico Tadao Teramoto⁽¹⁾; João Francisco Escobedo⁽²⁾; Luciano Ronaldo Rossi⁽³⁾

⁽¹⁾ Eng. Agrícola, doutorando, Depto. de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – Unesp, Botucatu – SP, ericoengineer@fca.unesp.br.

⁽²⁾ Físico, Prof. Doutor., Depto. de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – Unesp, Botucatu – SP.

⁽³⁾ Biólogo, Depto. de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – Unesp, Botucatu – SP.

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

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise da frequência das coberturas de céu em Botucatu em função das queimadas realizadas na colheita da cana-de-açúcar. A classificação da cobertura de céu foi feita em função do índice de claridade K_T , calculado a partir de base de 6 anos de radiação solar global. Os resultados evidenciam possíveis influências das queimadas realizadas durante a colheita de cana-de-açúcar na frequência das condições no município, onde a elevada concentração de aerossóis gera aumento na nebulosidade e redução na frequência de céu claro.

Palavras-chave: Radiação solar, nebulosidade, índice de claridade.

INFLUENCE OF BURNS IN PLANTATIONS OF SUGAR CANE IN THE FREQUENCY OF SKY CONDITIONS IN BOTUCATU/SP

Abstract: This paper presents an analysis of the frequency of sky conditions in Botucatu as function of the burns made in the harvesting of sugar cane. The classification of sky condition was made as function of the K_T clearness index, calculated on the basis of six years of global solar radiation. The results shows possible influences of burning made during the harvesting of sugar cane in the frequency of conditions in the city, where the high concentration of aerosols leads to an increase in cloudiness and a reduction in the frequency of clear sky.

Keywords: Solar radiation, cloudiness, clearness index.

1. Introdução

O estudo das condições de cobertura do céu por nuvens permite conhecer a dinâmica da variação dos níveis de energia solar em qualquer localidade na superfície terrestre, além de servir como parâmetro na estimativa da radiação solar a partir de modelos estatísticos, ambos úteis em estudos e projetos de sistemas que utilizem ou que sejam influenciados pela radiação solar, na secagem de produtos agrícolas, entre outros.

A concentração e características das nuvens sobre o céu variam fortemente em função do tempo e localização geográfica, onde a variabilidade climática em diferentes escalas de tempo depende basicamente de variações na concentração de vapor de água e de núcleos de condensação de nuvens (NCN) presentes na atmosfera. Grande parte dos aerossóis provenientes da queima de biomassas ou combustíveis fósseis pode atuar como NCN ou

alterando as propriedades físicas (albedo, absorção, espalhamento) e tempo de vida das nuvens, afetando assim o sistema climático quanto à nebulosidade, precipitação e quantidade de radiação solar incidente sobre a superfície terrestre (ACKERMAN et al., 2000; ROSENFELD, 2000; WIELICKI et al., 2005; KAUFMANN & KOREN, 2006).

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma análise das variações na frequência das coberturas de céu claro em Botucatu em função das queimadas na colheita da cana-de-açúcar. A atmosfera da região de Botucatu recebe todos os anos no período da seca, entre junho a novembro, elevadas quantidades de aerossóis resultantes da queima da cana-de-açúcar, sendo ainda desconhecidos os efeitos dessas alterações ambientais sobre a frequência das coberturas de céu no município.

2. Material e métodos

2.1 Localização e clima

Botucatu/SP/Brasil (latitude 22,85°S, longitude 48,43°W, 786m nmm), com área territorial total de 1.483 km², está situada na região centro-sul do estado de São Paulo e distante 221 km do Oceano Atlântico, inserida em uma região rural caracterizada pela produção de cana-de-açúcar e eucalipto, possuindo aproximadamente 9% de seu território ocupado por estas duas culturas (IBGE, 2006), e pela proximidade a duas represas hidroelétricas localizadas em um raio de 100 km: a de Barra Bonita (22,48°S, 48,57°W), com aproximadamente 310 km² de área alagada, e a de Jurumirim (23,20°S, 49,22°W), com aproximadamente 449 km² de área alagada. O clima do município é caracterizado por um inverno seco (junho - agosto) e verão úmido (dezembro - fevereiro). Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e o mais frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,21°C e 17,05°C, enquanto os meses de fevereiro e agosto são o mais e o menos úmido, com percentuais de 77,07% e 61,72% respectivamente. O ciclo da chuva, anualmente, é constituído de dois períodos bem distintos: um período chuvoso (outubro a março), onde ocorre de 75 a 90% do total anual de precipitação acumulada, e um período seco (abril a setembro), onde os índices pluviométricos encontram-se abaixo do nível de 100 mm. O maior valor de precipitação acumulada ocorre no mês de janeiro (288,22 mm) e o menor em agosto (40,69 mm).

Com relação à emissão de materiais particulados na atmosfera local, o período da seca apresenta uma atmosfera sujeita a materiais particulados proveniente das queimadas da cana-de-açúcar feitas em aproximadamente 70 cidades adjacentes e das usinas que produzem o álcool e açúcar. Segundo Codato et al. (2008), com base em dados de materiais particulados medidos no ano de 2004 em Jaú (distante 80 km de Botucatu), considerando estes dados representativos para Botucatu, a partir do início das queimadas da cana em junho/julho, a concentração de aerossóis aumenta consideravelmente, atingindo no mês de setembro o valor máximo de PM₁₀ ($d_p > 10 \mu\text{m}$) de 70.0 μgm^{-3} . O ciclo da colheita da cana de açúcar termina no mês de novembro devido a dificuldade do transporte da matéria prima no período chuvoso. Nos meses seguintes do ano até junho, a concentração de aerossóis decresce até atingir os menores níveis de concentração PM₁₀ no mês de maio, respondendo basicamente à emissão feita por indústrias e veículos automotores, antes de iniciar o novo ciclo.

2.2 Classificação das coberturas de céu

O critério usado neste trabalho para classificar a cobertura de céu foi o desenvolvido por Escobedo et al. (2009) para Botucatu/SP, o qual classifica a cobertura do céu em função de K_T em 4 tipos:

- Cobertura de céu I, nebuloso: $K_T \leq 0,35$, no qual a parcela global é equivalente a difusa;

- Cobertura de céu II, parcialmente nebuloso com dominância para o difuso: $0,35 < K_T \leq 0,55$, a radiação global é composta de uma maior parcela da radiação difusa que decresce, variando gradativamente de 88 a 50% da global;
- Cobertura de céu III, parcialmente nebuloso com dominância para o claro: $0,55 < K_T \leq 0,65$, a radiação global é composta de uma maior parcela da radiação direta, que aumenta gradativamente enquanto a difusa diminui variando de 50 a 30% da global;
- Cobertura de céu IV, claro: $K_T > 0,65$, a radiação global é composta por maior parcela da radiação direta em relação a da difusa.

Para a determinação das frequências relativas mensais das coberturas de céu em Botucatu, a partir dos valores de K_T calculados, classificaram-se os dias da base total de dados de 6 anos em com cobertura de céu I, II, III ou IV. Em seguida foi feita a distribuição de frequência relativa para as quatro classes. O índice de claridade (K_T) foi calculado através da $K_T = H_G / H_0$ (LIU & JORDAN, 1960), onde K_T representa o índice de claridade, adimensional; H_G a irradiação solar global na horizontal, expressa em MJ/m²; e H_0 a irradiação solar no topo da atmosfera, expressa em MJ/m². A irradiação global na horizontal diária foi calculada a partir da integração diária da irradiância global (I_G), medida no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2005 por um piranômetro Eppley PSP instalado na Estação Radiométrica da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP em Botucatu/SP, e a irradiação no topo da atmosfera diária (I_0), calculada através da equação $I_0 = I_{SC} \cdot E_0 \cdot [\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega) \cdot \text{sen}(h)]$ (IQBAL, 1983), onde I_{SC} representa a constante solar, equivalente a 1367W/m²; E_0 o fator de correção da excentricidade da órbita terrestre, expressa em u.a.; δ a declinação solar, expressa em graus; ϕ a latitude local, expressa em graus; e ω o ângulo horário, expresso em graus.

Para análise da influência do aumento na concentração dos aerossóis em suspensão na atmosfera, oriundos das queimadas na colheita de cana-de-açúcar, sobre a variação das coberturas de céu, foram utilizadas médias mensais da profundidade ótica de aerossóis AOD. A base de dados de AOD utilizada foi a medida pelo satélite TERRA, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2005, através do instrumento MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) na banda 4 (banda de 0,55 μm).

3. Resultados e discussão

3.1 Efeitos das queimadas de cana-de-açúcar sobre a frequência das coberturas de céu

Na região de Botucatu/SP, o aumento na concentração de aerossóis presentes na atmosfera ocorre no período seco, com o início das queimadas na cana-de-açúcar (junho/julho), onde a frequência de dias com precipitação é baixas, favorecendo o acúmulo na atmosfera dos aerossóis. Ao longo do ano, o pico na concentração de aerossóis é registrado em setembro ($\overline{AOD} = 0,29 \pm 0,13$). Na Figura 1 são apresentadas as frequências das coberturas de céu nebuloso com dominância para o difuso, nebuloso com dominância para o claro e claro e as médias mensais diárias da profundidade ótica de aerossóis para o mês de setembro no período de 2000 a 2005.

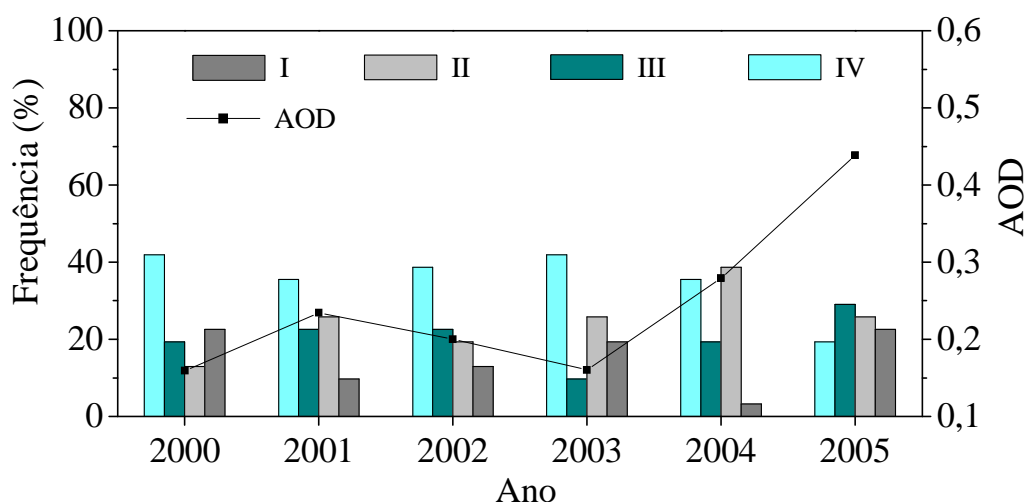


Figura 1 - a) Frequência mensal diária das quatro coberturas de céu e média mensal diária da AOD, em setembro no período de 2000 a 2005.

Analisando a AOD média mensal diária em Botucatu durante o mês de setembro (Figura 1), no período de 2000 a 2005, constata-se que apenas no ano de 2005 ocorreu possibilidade de que os aerossóis tenham influenciado nos valores de outros parâmetros climáticos, ou seja, aumento da nebulosidade e redução na frequência de dias de claro. Nos demais anos a concentração dos aerossóis foi da ordem de concentração do período chuvoso.

Para um valor de \overline{AOD} da ordem de $0,46 \pm 0,32$ houve baixa frequência da condição de céu IV (19,34%), abaixo da média da série climatológica de 10 anos ($34,91 \pm 10,67\%$) (TERAMOTO et al., 2010), e aumento na das coberturas I, II e III. Este resultado está em concordância com os observados por Li e Lam (2001) em Hong Kong, Che et al. (2006) em várias cidades na China e Ogunjobi et al. (2002) em Kwangju e Seoul na Coreia do Sul, onde a elevada concentração de aerossóis oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis e biomassa resulta em baixas frequências da cobertura de céu claro ao longo do ano. Algumas destas cidades possuem profundidade óptica de aerossóis (AOD) média anual entre 0,37 e 0,65 (LUO et al., 2000; CHENG et al., 2006).

4. Conclusões

Os resultados evidenciam possíveis influências das queimadas durante a colheita de cana-de-açúcar, realizadas no estado de São Paulo, nas frequências das coberturas de céu em Botucatu, com redução na frequência da cobertura de céu claro. Porém, ressalta-se que são necessários mais estudos a partir de uma base de dados de aerossóis maior.

5. Referencial bibliográfico

ACKERMAN, A. S.; TOON, O. B.; STEVENS, D. E.; HEYMSFIELD, A. J.; RAMANATHAN, V.; WELTON, E. J. Reduction of Tropical Cloudiness by Soot. **Science**, v. 288, p. 1042-1047, 2000.

CHE, H. Z.; SHI, G. Y.; ZHANG, X. Y.; ZHAO, J. Q.; LI, Y. Analysis of sky conditions using 40 year records of solar radiation data in China. **Theory and Applied Climatology**, v. 89, p. 83-94, 2006.

CHENG, A.Y.S., CHAN, M.H.; YANG, X. Study of aerosol optical thickness in Hong Kong, validation, results, and dependence on meteorological parameters. **Atmospheric Environment**, v. 40, p. 4469-4477, 2006.

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. N.; 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.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 27 mar. 2010.

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

KAUFMAN, Y. J., KOREN, I. Smoke and pollution aerosol effect on cloud cover. **Science**, v. 313, p. 655-658, 2006.

LI, D. H. W; LAM, J. C. An analysis of climatic parameters and sky condition classification. **Building and Environment**, v. 36, n. 4, p. 435-450, 2000.

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.

LUO, Y; LÜ, D.; HE, Q.; LI, W.; ZHOU, X. Characteristics of atmospheric aerosol optical depth variation over China in recent 30 years. **Chinese Science Bulletin**, v. 45, n. 14, p. 1328-1333, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Terra: the EOS Flagship**. Disponível em: <<http://terra.nasa.gov/>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2010.

OGUNJOBI, K. O.; KIM, Y. J.; ADEDOKUN, J. A.; RYU, S. Y.; KIM, J. E. Analysis of sky conditions using solar radiation data at Kwangju and Seoul, South Korea and Ile-Ife, Nigeria. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 72, p. 265-272, 2002.

ROSENFELD, D. Suppression of Rain and Snow by Urban and Industrial Air Pollution. **Science**, v. 287, 2000.

TERAMOTO, E. T. ; ESCOBEDO, J. F. Distribuição de frequência das coberturas de céu em Botucatu/SP. In: CBENS 2010 - III Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2010. **Anais...** Belém/PA. Disponível em: <www.cbens-crlises.com.br/pdf/resumos/1109.pdf>. Acesso em: 13 de fev. 2010.

WIELICKI, B. A., WONG, T., LOEB, N., MINNIS, P., PRIESTLEY, K., KANDEL, R. Changes in Earth's Albedo Measured by Satellite. **Science**, v. 308, n. 5723, p. 825, 2005.