



IMPACTO DA QUEIMA DE BIOMASSA SOBRE A TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DA RADIAÇÃO SOLAR UV EM BOTUCATU/SP/BRASIL

ÉRICO T. TERAMOTO¹; JOÃO F. ESCOBEDO²; CÍCERO M. SANTOS³; LUDMILA A. FUKUNAGA⁴; LUCAS C. LENZ⁵.

1 Eng. Agrícola, Doutorando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (0xx14) 3880-7585, ericoengineer@fca.unesp.br.

2 Licenciado em Física, Prof. Dr. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP.

3 Licenciado em Física, Doutorando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP.

4 Agrônoma, Mestranda em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP.

5 Graduando em Agronomia, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu - SP.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

Resumo - A radiação UV possui efeito nocivo sobre a biosfera e pode causar fotodegradação em polímeros sintéticos e fibras naturais. É também a componente espectral da radiação solar mais afetada pelo aumento na concentração de aerossóis na atmosfera. Por isso, informações sobre a variação temporal e geográfica da incidência da radiação solar UV é útil em estudos nas áreas de engenharia, ciências ambientais e agronomia. O objetivo deste estudo foi analisar o impacto da queima de biomassa, durante o inverno e primavera, sobre a transmissividade atmosférica da radiação solar UV (K_{TUV}) em Botucatu, São Paulo, Brasil. A cidade de Botucatu é uma das poucas no Brasil que monitoram a radiação solar UV e possui base de dados com mais de 10 anos de medições. Ela sofre influência da queima de cana-de-açúcar e dos incêndios em florestas e pastagens durante os meses de maio a novembro, que geram o aumento na concentração de aerossóis na atmosfera. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que, ao longo do período de junho a outubro, o K_{TUV} horário em condições de céu claro é em média $0,483 \pm 0,035$. O aumento da concentração de aerossóis nos meses do inverno e primavera gera reduções de 6 a 18% nos valores horários de K_{TUV} .

PALAVRAS-CHAVE: Radiação solar, aerossóis, queima de cana-de-açúcar, radiação UV.

IMPACT OF BIOMASS BURNING ON THE ATMOSPHERIC TRANSMISSIVITY OF THE SOLAR UV RADIATION IN BOTUCATU/SP/BRASIL

Abstract - The UV radiation has harmful effects on the biosphere and can cause photodegradation in synthetic polymers and natural fibers. It is also the spectral component of the solar radiation most affected by the increase in the concentration of aerosol in the atmosphere. Therefore, information on the temporal and geographical variation of incidence of solar UV radiation is useful in studies in engineering, environmental sciences and agronomy. The aim of this study was to analyze the impact of biomass burning during the winter and spring on the atmospheric transmissivity of solar UV radiation (K_{TUV}) in Botucatu, São Paulo, Brazil. The city of Botucatu is one of the few in Brazil that monitor solar UV radiation and has a database with more than 10 years of measurements. The city is influenced by the sugarcane burning and fires in forests and grasslands during the months from May to November, which generate an increase in the concentration of aerosols in the atmosphere. Based on these results, it was found that, over the period from June to October, the K_{TUV} in





clear sky conditions is on average 0.483 ± 0.035 . The increased concentration of aerosols in the winter and spring months generates reductions of 6-18% in the hourly values of K_{TUV} .

KEYWORDS: Solar radiation, aerosols, sugarcane burning, UV radiation.

INTRODUÇÃO

No Estado de São Paulo, durante o período de colheita de cana-de-açúcar (maio-novembro), há o aumento na concentração de aerossóis na atmosfera em função da queima de cana-de-açúcar (LARA et al., 2005; CODATO et al., 2008). A função dos incêndios feitos em lavouras de cana-de-açúcar é facilitar a colheita manual dos colmos. Além deste, outro fator que contribui com o aumento na concentração de aerossóis são os incêndios em florestas e pastagens praticados em outros estados do Brasil (HOLBEN et al., 2001; CPTEC, 2010). Os aerossóis originados na queima de biomassa são capazes de alterar a transmissividade atmosférica da radiação solar de maneira direta (absorção e espalhamento) ou indireta (alteração da nebulosidade). Dentre as componentes espectrais da radiação solar, a UV é uma das mais afetadas pelo efeito direto dos aerossóis. Além disto, ela possui notoriedade em relação à PAR e a NIR em função de seus efeitos nocivos sobre a biosfera (DIFFEY, 1991; BACHELOR & 2004; HARRISON & SMITH, 2009; NAZARI et al., 2010).

A transmissividade atmosférica da radiação solar UV pode ser expressa através do índice K_{TUV} , definido como sendo a razão entre a radiação solar UV incidente sobre a superfície terrestre e a UV extraterrestre. A utilização do K_{TUV} permite analisar a variação na incidência da radiação solar UV eliminando a dependência astronômica e geográfica.

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da queima de biomassa sobre a K_{TUV} durante o inverno e primavera em Botucatu, São Paulo, Brasil. Botucatu está localizada na região produtora de cana-de-açúcar e é uma das poucas cidades no estado de São Paulo que monitora a radiação solar UV e que possui base de dados com mais de 10 anos de medições.

MATERIAIS E MÉTODOS

Botucatu (22°51S, 48°26W, 742 m), considerada uma cidade rural, possui área territorial de 1482,87 km² e população de 127 mil habitantes. A cidade está distante 221 km do Oceano Atlântico e apresenta clima caracterizado por inverno frio e seco (junho-agosto) e verão quente e úmido (dezembro-fevereiro). Durante os meses de maio a novembro, em função dos incêndios em lavouras de cana-de-açúcar em várias cidades adjacentes á Botucatu, há a tendência de aumento na concentração de aerossóis na atmosfera local (Codato et al., 2008). As maiores concentrações ocorrem nos meses de junho a outubro, com pico no mês de setembro.

Na medição das irradiâncias solar UV (290-400 nm) e global (290-2.800 nm) foram utilizados, respectivamente, um radiômetro CUV3 da Kipp & Zonen e um piranômetro modelo PSP da Eppley. A imprecisão do CUV3 é de 5% e a do PSP é de 2,5% (AMBROSETTI et al., 1984; HUANG et al., 2011). Na aquisição dos dados foi utilizando um datalogger CR23X da Campbell operando na frequência de 0,1 Hz e o armazenamento (média) ocorreu a cada 5 minutos. Os dados médios de 5 minutos passaram por um controle de qualidade no qual os valores espúrios foram eliminados e em seguida foram processados por programas desenvolvidos para o cálculo das irradiâncias horárias (Chaves & Escobedo, 2000). As aferições são realizadas a cada 2 anos pelo método comparativo sugerido pela OMM (FRÖHLICH & LONDON, 1986).

Os valores de K_{TUV} e do índice de claridade K_T foram calculados, respectivamente, a partir das equações $K_{TUV} = UV/0,057H_0$ e $K_T = G/H_0$, onde H_0 é a irradiação solar extraterrestre



(IQBAL, 1983). Os valores de K_T diários foram usados para classificação das condições de céu, onde $K_T > 0,65$ corresponde a condição de céu claro (ESCOBEDO et al. 2009).

Os dados diários de profundidade óptica de aerossóis (AOD) utilizados foram os medidos pelo satélite TERRA através do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Utilizou-se a AOD na faixa espectral do visível ($0,55 \mu\text{m}$), correspondem ao produto nível 3, com imprecisão de $\pm(0,05 + 0,15AOD)$ e disponível na resolução $1^\circ \times 1^\circ$ (REMER et al., 2008).

Os dados diários utilizados de coluna total de ozônio (TOC) foram os medidos pelo satélite Earth Probe nos anos de 2000 a 2004 e pelo satélite Aura nos anos de 2005 a 2007, resolução $1^\circ \times 1^\circ$, disponíveis em <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>. O satélite Earth Probe mede o TOC através do sensor TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) e o satélite Aura através do sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument). A imprecisão dos dois sensores é de aproximadamente 2% (MCPETERS et al., 2008). A base de dados de TOC, composta pelas medições dos dois satélites, possui aproximadamente 88% dos dados do período de junho a outubro dos anos de 2000 a 2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução diurna da K_{TUV} durante o inverno e a primavera

A figura 1 mostra a distribuição de frequência relativa e a evolução diurna dos valores médios de K_{TUV} em condições de céu claro durante o período de maio a novembro.

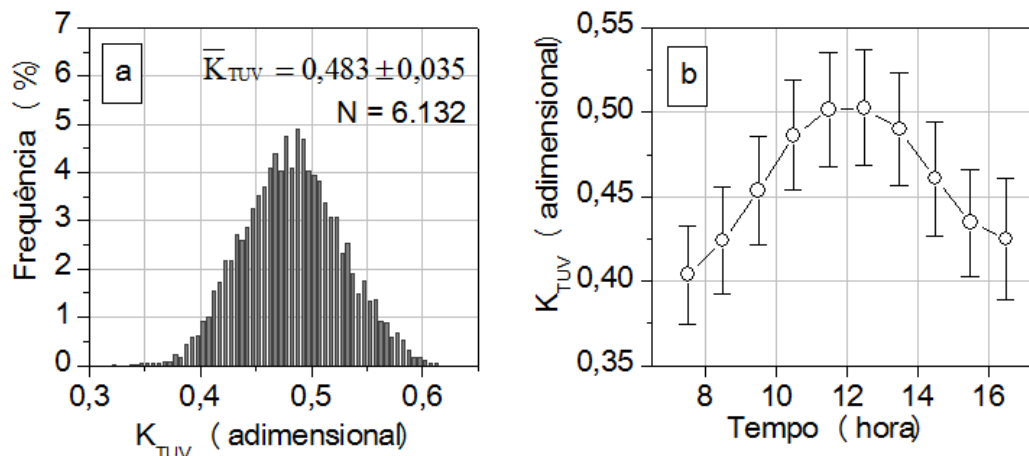


Figura 1 – (a) Distribuição de frequência relativa e (b) evolução diurna dos valores médios horários de K_{TUV} em condições de céu claro durante o período de colheita da cana-de-açúcar.

A frequência dos valores médios horários de K_{TUV} segue distribuição normal, com média de $0,483 \pm 0,035$ (figura 1a), primeiro quartil $Q_1 = 0,453$ e terceiro quartil $Q_3 = 0,512$. Ao longo do fotoperíodo, o valor médio de K_{TUV} variou de $\bar{K}_{TUV} = 0,502 \mp 0,034$, nos horários de maior ângulo de elevação solar, até $\bar{K}_{TUV} = 0,404 \pm 0,029$, no intervalo horário entre as 7 e as 8 horas.

Influência da queima de biomassa sobre o K_{TUV}

A figura 2a abaixo mostra a evolução diurna do K_{TUV} registrados nos dias 11/09/2004 e 11/09/2006, ambos com condições de céu claro. O objetivo da comparação dos dois dias é exemplificar a alteração da K_{TUV} gerada pelo aumento na concentração de aerossóis na

atmosfera. Nos dois dias, os valores diários de K_T foram iguais ($\sim 0,67$), porém os de TOC e de AOD foram diferentes. O valor de AOD registrado no dia 11/09/2004 foi aproximadamente 288,24% maior (respectivamente, 0,2 e 0,05) e o de TOC 4,06% menor (respectivamente, 260 e 271 DU) em relação aos valores registrados no dia 11/09/2006. A figura 2b mostra a correlação entre a AOD e o K_{TUV} em condições de céu claro em setembro e outubro. Foram selecionados setembro e outubro, pois são os meses que apresentam as maiores concentrações de aerossóis na atmosfera. Como o satélite Terra faz a medição da AOD sobre Botucatu durante o período do dia entre as 10 e às 11 horas, os dados apresentados na figura 2b correspondem ao mesmo intervalo horário, ou seja, estão sincronizados aos dados de AOD.

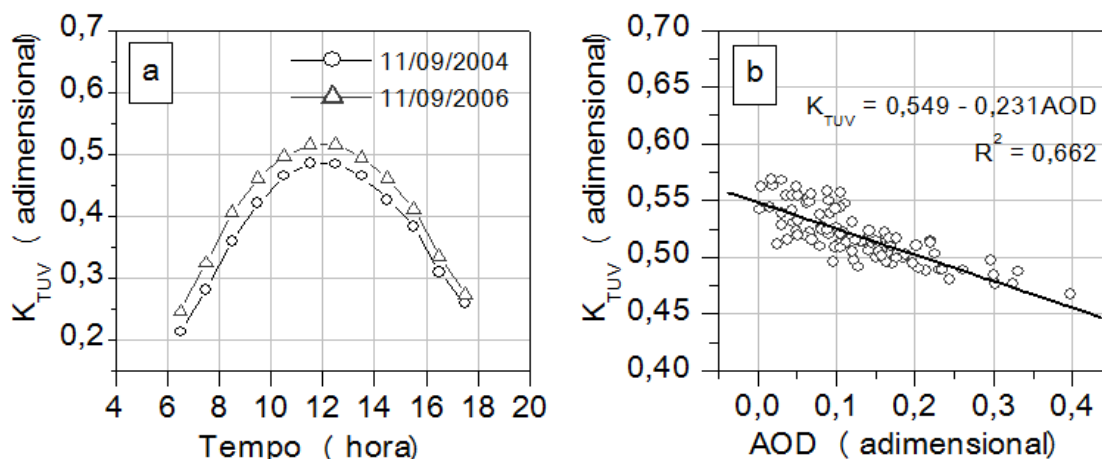


Figura 1 – Evolução diurna do K_{TUV} nos dias 11/09/2004 e 11/09/2006.

Na figura 2a é possível observar que o dia 11/09/2006 apresentou valores horários de K_{TUV} menores em relação ao dia 11/09/2004. O aumento da AOD de 0,05 para 0,2 gerou reduções nos valores horários de K_{TUV} entre 5,70% (meio dia local) e 13,20% (início do fotoperíodo). Analisando a figura 2b é possível identificar a tendência de redução nos valores de K_{TUV} em função do aumento nos valores de AOD. A maioria dos pontos está dispersa e localizada nos intervalos de AOD inferiores a 0,2, sendo os valores máximo e mínimo, respectivamente, 0,003 e 0,40. Os valores máximo e mínimo de K_{TUV} foram, respectivamente, 0,467 e 0,569, ou seja, o primeiro é aproximadamente 17,93% menor em relação ao segundo. Nos meses de setembro e outubro, 66,20% ($R^2 = 0,662$) das variações no K_{TUV} são explicadas pelas variações na AOD e o restante por outros fatores como a variação na TOC. Através da equação de regressão (Figura 2b), verifica-se que o aumento da AOD de 0,05 para 0,20 pode gerar redução no K_{TUV} de aproximadamente 6,75%.

CONCLUSÕES

Em condições de céu claro, a queima de biomassa na região de Botucatu e em outros estados do Brasil é capaz de gerar reduções na transmissividade atmosférica da radiação solar UV da ordem de 6 a 18%. Tal informação pode ser considerada importante diante da redução no uso da queima de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, que ocorre desde 2007 após a assinatura de um protocolo entre o governo estadual e a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). O protocolo exige a eliminação gradativa do uso da queima de cana-de-açúcar no estado até 2017, a fim de reduzir a poluição atmosférica durante o inverno e início da primavera.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro provido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Também é feito o agradecimento à National Aeronautics and Space Administration's (NASA) pelo fornecimento de dados de variáveis meteorológicas medidos pelos satélites Terra e Aura e utilizados no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSETTI, P.; ANDERSSON, H. E. B.; LIEDQUIST, L.; FRÖLICH, C.; WEHRLI, C.; TALAREK, H. D. **Results of an outdoor and indoor pyranometer comparison**. Davos: International Energy Agency Solar Heating and Cooling Program Rep., 1984. 211 f.
- BACHELOR, M. A.; BOWDEN, G. T. UVA mediated activation of signalling pathways involved in skin tumour promotion and progression. **Seminars in Cancer Biology**, v. 14, p. 131-138, 2004.
- CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/INPE. **Climanálise - Boletim de monitoramento e análise climática**. <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. 24 Jan. 2010.
- 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. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, p. 57-73, 2008.
- DIFFEY, M. B. L. Solar ultraviolet radiation effects on biological system. **Physc. Med. Bio.**, v. 36, p. 299-329, 1991.
- 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.
- FRÖHLICH, C.; LONDON, J. **Revised instruction manual on radiation instruments and measurements**. Geneva: World Meteorological Organization, 1986. 140 f.
- HARRISON, J. W.; SMITH, R. E. H. Effects of ultraviolet radiation on the productivity and composition of freshwater phytoplankton communities. **Photochem.Photobiol.Sci.**, v. 8, p. 1218-1232, 2009.
- HOLBEN, B. N.; D. TANRÉ, D.; A. SMIRNOV, S.; ECK, T. F.; SLUTSKER, I.; ABUHASSAN, N.; NEWCOMB, W. W.; SCHAFFER, J. S.; CHATENET, B.; LAVENU, F.; KAUFMAN, Y. J.; VANDE CASTLE, J.; SETZER, A.; MARKHAM, B.; CLARK, D.; FROUIN, F.; HALTHORE, R.; KARNELI, A.; O'NEILL, N. T. ; PIETRAS, C.; PINKER, R. T.; VOSS, K.; ZIBORDI, G. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. 11, p. 12067-12097, 2001.
- HUANG, M., JIANG, H.; JU, W.; XIAO, Z. Ultraviolet. Radiation over Two Lakes in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China: An Innovative Model for UV Estimation. **Terr. Atmos. Ocean.Sci.**, v. 22, n. 5, p. 491-506, outubro 2011.
- LARA, L. L. ; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; CAMARGO, P. B.; VICTORIA, R. L.; FERRAZ, E. S. B. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 4627-4637, 2005.
- MCPETERS, R.; KROON, M.; LABOW, G.; BRINKSMA, E.; BALIS, D.; PETROPAVLOVSKIKH, I.; VEEFKIND, J. P.; BHARTIA, P. K.; LEVELT, P. F.





XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013
*Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia*



- Validation of the Aura ozone monitoring instrument total column ozone product. **Jornal of Geophysical Research**, v. 113, p. 1-9, 2008.
- NAZARI, E. M.; AMMAR, D.; BEM, A. F.; LATINI, A.; MÜLLER, Y. M.; ALLODI, S. Effects of environmental and artificial UV-B radiation on freshwater prawn *Macrobrachium olfersi* embryos. **Aquat.Toxicol.**, v. 98, p. 25-33, 2010.
- REMER, L. A.; KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; MATTOO, S.; CHU, D. A.; MARTINS, J. V.; LI, R. R.; ICHOKU, C.; LEVY, C.; KLEIDMAN, R. G.; ECK, T. F.; VERMOTE, E.; HOLBEN, B. N. The MODIS Aerosol Algorithm, Products, and Validation. **Journal of the Atmospheric Sciences - Special Section**, v. 62, p. 947-973, 2008.

