

INFLUÊNCIA DAS NUVENS, AEROSSÓIS E OZÔNIO SOBRE O K_{TUV} EM BOTUCATU/SP/BRASIL: CIDADE PRODUTORA DE CANA-DE-AÇÚCAR

E. T. Teramoto¹, J. F. Escobedo², C. M. Santos³, A. Dalpai⁴

Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Botucatu
Fone: 55 (14) 3880 7585, ericoengineer@fca.unesp.br.

Recibido: 13/08/13, Aceptado: 24/09/13

RESUMO.- O objetivo deste trabalho foi analisar a evolução anual dos valores médios da transmissividade atmosférica da radiação solar UV (K_{TUV}) em Botucatu/SP/Brasil. A partir dos resultados observados, verificou-se a K_{TUV} em Botucatu é menor nos meses do verão (dezembro a fevereiro), em função da maior nebulosidade, e maior em abril e agosto, meses onde há a predominância de dias com condições de céu claro. Ao longo do ano, a redução da K_{TUV} em função da mudança da condição de céu claro para céu nebuloso pode variar de 54% a 64%. Durante o outono e o inverno, nos quais é alta a frequência da condição de céu claro e baixa a de chuvas, o aumento da turbidez atmosférica gera reduções de 20 a 32% no K_{TUV} .

Palavras-chaves: aerossóis, nuvens, coluna total de ozônio, queima de cana-de-açúcar.

INFLUENCE OF CLOUDS, AEROSOLS AND OZONE ON K_{TUV} IN BOTUCATU/SP/BRAZIL: CITY PRODUCER OF SUGARCANE

ABSTRACT.- The aim of this study was to analyze the annual evolution of atmospheric transmissivity of solar UV radiation (K_{TUV}) average values in Botucatu/SP/Brazil. Based in the observed results, we verified that the K_{TUV} in Botucatu is lower in the summer months (December to February), due to the higher cloudiness, and is higher in April and August, months where there is a predominance of days with clear sky conditions. Throughout the year, reductions in the K_{TUV} due to the change of the clear sky condition to cloudy sky can vary from 54% to 64%. During the fall and winter seasons, in which there is a high frequency of clear sky conditions and the low of the rainfall, increases in the atmospheric turbidity generates reductions from 20-32% in the K_{TUV} .

Keywords: aerosols, clouds, total column of ozone, sugarcane burning.

1. INTRODUÇÃO

Embora a radiação UV represente uma fração pequena da radiação solar incidente sobre a superfície terrestre (~4%) (Iqbal, 1983; Elhadidy et al., 1999; Rooba, 2003; Jacovides et al., 2006; Escobedo et al., 2011), ela possui notoriedade em relação às faixas espectrais PAR e a NIR em função de seus efeitos nocivos sobre a biosfera (Diffey, 1991; Bachelor y Bowden, 2004; Agar et al, 2004). Desde a década de 90 do século passado houve uma grande expansão em escala mundial no número de estações meteorológicas monitorando a radiação solar UV. A expansão foi resultado da preocupação em relação ao possível aumento nos níveis

de incidência dela sobre a superfície terrestre e os prejuízos aos seres humanos e demais organismos vivos. A suspeita do aumento ocorreu em função da redução na concentração do ozônio estratosférico registrado desde 1970 (Stolarsky et al., 1992; Newchurch et al., 2003). Por outro lado, atualmente há evidências de que a urbanização e o desenvolvimento industrial têm gerado a redução na incidência da radiação solar UV em algumas localidades sobre a superfície terrestre (Rooba, 2004). Neste caso, o aumento na concentração de aerossóis e de gases absorventes da UV como o NO_2 , originados da queima de combustíveis fósseis e biomassa, seriam os responsáveis pela atenuação da radiação solar UV.

Diante de incertezas em relação à existência ou não de tendências, tanto de aumento quanto de redução nos níveis de incidência da radiação solar UV sobre a superfície terrestre, torna-se necessário o monitoramento e o estudo dela por um período contínuo e prolongado. No Brasil, ainda são poucas as localidades que a monitoram e, dentre elas, pouquíssimas há mais de 10 anos. Quando não há o seu monitoramento e a disponibilidade de séries climatológicas

1. Eng. Agrícola, Pós-doutorando em Agronomia do Departamento de Ciências Ambientais FCA/UNESP/Botucatu.
2. Físico, Prof. Dr. Departamento de Ciências Ambientais FCA/UNESP/Botucatu.
3. Físico, Doutorando em Agronomia do Departamento de Ciências Ambientais FCA/UNESP/Botucatu.
4. Físico, Prof. Dr. Associado II da Faculdade de Tecnologia de Botucatu (FATEC).

longas, que permitam a análise de sua variação climática ou de tendências, a alternativa é sua estimativa a partir de outras variáveis meteorológicas. No caso, a estimativa pode ser feita através de modelos de transmitância atmosférica, de modelos estatísticos (ou empíricos) ou através do uso de técnicas de aprendizado de máquinas. O primeiro demanda conhecimento aprofundado a respeito da interação entre a radiação solar e a atmosfera e envolve complexa rotina de cálculos, sendo por isso de difícil utilização (Gueymard, 1995). O segundo é normalmente o mais utilizado (Huang et al., 2011), enquanto o terceiro tem recebido atenção nos últimos anos sendo foco de estudos quanto à aplicabilidade e precisão quando comparado ao segundo (Barbero et al., 2006; Leal et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi analisar a climatologia da K_{TUV} em Botucatu/SP/Brasil. Os dados de irradiação solar UV diários e horários utilizados foram medidos na estação de radiometria solar de Botucatu (ERSB) durante o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2007. A ERSB está instalada na Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP (latitude 22,85°S, 48,43° W, 742 m) e é uma das poucas estações que monitoram a radiação solar UV no Brasil. O monitoramento da radiação solar UV é feito desde janeiro de 2000 e, portanto, a ERSB possui uma série climatológica com mais de 12 anos. Um detalhe importante desta estação é que ela está localizada em uma região caracterizada pela presença de lavouras de cana-de-açúcar e de usinas sucroalcooleiras. Por isso, sofre influência da queima de cana-de-açúcar durante o período de colheita (maio-novembro), que gera o aumento na concentração de aerossóis na atmosfera regional e altera a transmissividade atmosférica da radiação solar UV (Escobedo et al., 2011).

O uso da queima de cana-de-açúcar na colheita segue tendência de redução no Estado de São Paulo desde 2007 e deverá ser eliminada até 2017, em função de um protocolo assinado entre o governo estadual e a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). Tal cenário gera incertezas quanto às alterações nos níveis de incidência da radiação solar UV que ocorrerá até e após 2017 e gera o interesse em estudos específicos.

2. LOCALIZAÇÃO E CLIMA

Botucatu (22,85°S, 48,43°W, 742 m), considerada uma cidade rural, possui área territorial de 1.482,87 km² e população de 127 mil habitantes. Ela 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 o inverno, a temperatura média do ar é de 17,6°C e a umidade relativa do ar média de 67,3 %, enquanto no verão são de 22,7°C e 78,2 %, respectivamente. O ciclo anual das chuvas é constituído de dois períodos bem distintos. Há um período chuvoso (outubro-março), onde ocorre de 75 a 90% do total anual de precipitação acumulada, e um período seco (abril-setembro), onde os valores mensais permanecem abaixo de 100 mm. No primeiro, há elevada frequência da condição de céu nebuloso e a ocorrência de chuvas de média a alta intensidade, resultantes da formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e dos sistemas frontais (CPTEC, 2010; Reboita et al., 2010; Teramoto y Escobedo, 2012). No segundo, há predominância das condições de céu claro e parcialmente nebuloso e baixa frequência de chuvas, normalmente de baixa a média intensidade e resultantes da passagem de frentes frias. A

ZCAS é caracterizada como uma faixa persistente de nebulosidade, que se estende desde o sul da Amazônia até o Atlântico Sul-Central (Carvalho et al., 2004). Sua formação gera aumento da nebulosidade e a ocorrência de chuvas intensas e persistentes durante o verão austral (Carvalho et al., 2004). Os sistemas frontais são resultantes da passagem de massas de ar frias e geram aumento da nebulosidade e/ou ocorrência de chuvas de baixa à média intensidade durante todo o ano (Reboita et al., 2010). Com o início do período seco do ano, há a tendência de acúmulo dos aerossóis na atmosfera local, gerada pela baixa frequência de chuvas. Além disto, a partir de maio com o início da colheita de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, Botucatu é influenciada pelo aumento na emissão de aerossóis em algumas cidades adjacentes (Codato et al., 2008). Os aerossóis são gerados pela queima de cana-de-açúcar e pela movimentação do solo por máquinas agrícolas (Allen et al., 2004; Lara et al., 2005). A colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo só termina em novembro, após o início do período chuvoso.

É importante citar que o uso da queima de cana-de-açúcar segue tendência de redução no estado de São Paulo, após o governo estadual e a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar) assinarem um protocolo em 2007. Os produtores de cana-de-açúcar e as agroindústrias sucroalcooleiras do estado de São Paulo deverão eliminar o uso dela até 2017. Até o ano de 2006, mais de 60% das áreas de canaviais no Estado de São Paulo eram colhidas após a queima (Aguilar et al., 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Instrumentação e obtenção de dados.

Na medição das irradiâncias solar UV (290-400 nm) e global (290-2.800 nm) foram utilizados, respectivamente, um radiômetro CUV3 da Kipp y 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 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 irradiações horárias e diárias (Chaves y Escobedo, 2000). A Estação de Radiometria Solar dispõe de radiômetros solares adicionais, os quais são utilizados unicamente para aferição dos equipamentos de rotina. As aferições são realizadas a cada 2 anos pelo método comparativo sugerido pela OMM (Fröhlich y London, 1986). Os valores de K_{TUV} e do índice de claridade K_T foram calculados, respectivamente, a partir das seguintes equações (Iqbal, 1983; Ogunjobi y Kim, 2004; Huang et al., 2011): $K_{TUV} = UV/0,057H_0$ e $K_{TUV} = G/H_0$, onde H_0 é a radiação solar extraterrestre diária ou horária estimada seguindo metodologia divulgada por Iqbal (1983).

Os dados diários utilizados de coluna total de ozônio TOC (do inglês "Total Ozone Column") expresso em Unidades Dobson (UD) foram os medidos pelo satélite Earth Probe nos anos de 2000 a 2004 e pelo satélite Aura nos anos de 2005 a 2007, disponíveis em <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>. A Unidade Dobson é definida como sendo a espessura em 10⁻⁵ m de coluna de ozônio em condições normais de temperatura e pressão. O satélite Earth Probe mede o TOC através do sensor TOMS (do inglês "Total Ozone Mapping

Spectrometer”) e o satélite Aura através do sensor OMI (do inglês “Ozone Monitoring Instrument”). A imprecisão dos dois sensores é de aproximadamente 2% (McPeters et al., 2008). O satélite Earth Probe entrou em funcionamento em julho de 1996 e possui órbita polar, a 750 km de altitude (McPeters et al., 2008). O satélite Aura possui órbita polar, a 705 km de altitude, com faixa de cobertura de 2600 km, e faz parte do projeto da NASA intitulado “Earth Observing System” (EOS) e está em órbita ao redor da Terra desde julho de 2004 (Ahmad et al., 2003).

Os dados diários de profundidade óptica de aerossóis AOD (do inglês “Aerosol Optical Depth”) utilizados foram os medidos pelo satélite TERRA através do sensor MODIS (do inglês “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer”). Utilizou-se a AOD na faixa espectral do visível (0,55 μm). A imprecisão dos dados de AOD fornecidos pelo MODIS é $\pm(0,05 + 0,15\text{AOD})$ (Remer et al., 2008). Para assegurar a qualidade dos resultados, foram selecionados apenas os dados de AOD medidos em dias com condições de céu claro. Destes dias, foram utilizados no cálculo das médias mensais apenas os que apresentaram condições de céu claro (Escobedo et al., 2009) no intervalo horário entre as 10 e 11 horas. Tal intervalo horário corresponde ao período do dia no qual o satélite Terra faz a medição da AOD sobre Botucatu.

Os dados utilizados de precipitação pluvial diária foram medidos por meio de um pluviógrafo da marca Ota Keiki Seisakusho. O sensor está instalado na Estação Climatológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP em Botucatu, São Paulo, Brasil.

3.2. Análise da influência de nuvens, dos aerossóis e do ozônio sobre o K_{TUV}

As condições de cobertura do céu por nuvens foram classificadas em quatro tipos, em função do índice de transmissividade atmosférica K_T (Escobedo et al., 2009): céu nebuloso – $K_T \leq 0,35$; Céu parcialmente nebuloso com dominância para o difuso (PNDD) – $0,35 < K_T \leq 0,55$; Céu parcialmente nebuloso com dominância para o claro (PNDC) – $0,55 > K_T \leq 0,65$; e Céu claro – $K_T > 0,65$.

Após a classificação das condições de cobertura do céu por nuvens, foi realizada a distribuição de frequência relativa mensal para cada uma das quatro condições de céu através do software Origin 6.0[®] da Microcal Softwares. O mesmo software foi utilizado em todos os cálculos estatísticos e na elaboração dos gráficos apresentados neste trabalho. A caracterização da precipitação foi realizada utilizando dois índices calculados a partir dos dados diários de precipitação (divulgado no site

http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.shtml):

Frequência mensal de dias com ocorrência de chuvas (FC) - indica o número de dias do mês onde a precipitação pluviométrica acumulada é superior a 1 mm; CDD (comprimento máximo do período de dias sem chuva) - indica o número máximo de dias consecutivos com precipitação acumulada diária inferior a 1 mm. A análise da influência das nuvens foi realizada a partir das médias mensais interanuais da frequência das condições de céu, a dos aerossóis a utilizando os valores médios mensais interanuais de FC, CDD e AOD e a do ozônio utilizando os valores médios mensais interanuais de TOC. Os valores das médias mensais interanuais foram calculados a partir da equação $\langle \bar{Y}_x \rangle = (\sum_{i=1}^N Y_{xi} / N) / M$, onde i é o dia do mês, N é número de dias do mês e M é o número de anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Evolução anual das médias mensais interanuais diárias de K_{TUV}

A figura 1 apresenta a evolução anual das médias mensais interanuais do K_{TUV} ($\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$) em Botucatu, obtidas a partir dos dados medidos durante os anos de 2000 a 2007. As barras verticais com cor preta nos gráficos indicam o desvio padrão da média, os quais permitem verificar quais meses apresentam maior e menor amplitude de variação interanual do $\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$.

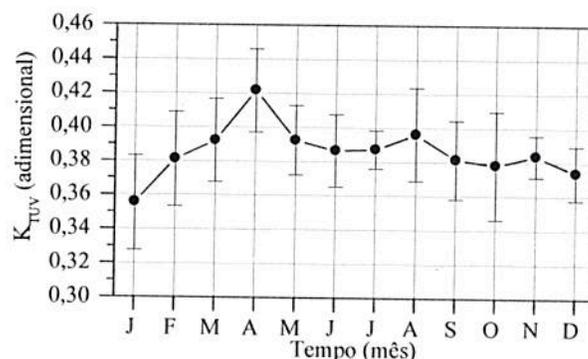


Fig. 1: Evolução anual das médias mensais interanuais dos valores diários de K_{TUV} em Botucatu.

Os valores de $\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$ apresentaram tendência de aumento a partir de janeiro, mês com menor valor, até atingir o valor máximo em abril (Figura 1). A partir de abril, os valores seguiram tendência de decréscimo até dezembro, com um segundo pico em agosto e acentuada redução em setembro e outubro. Os menores valores de $\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$ ocorreram tanto em meses do período chuvoso (janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro) quanto do período seco (junho, julho e setembro). Nos meses do período chuvoso, a menor transmissividade atmosférica da radiação solar UV ocorre principalmente sob influência das nuvens, enquanto nos do período seco é influenciada pelos aerossóis. As nuvens e os aerossóis são dois dos principais atenuadores da radiação solar UV na atmosfera (Iqbal, 1983; Calbó et al., 2005; Santos et al., 2011). Em relação aos maiores valores de $\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$, eles ocorreram em abril e agosto, que são os meses do período seco com maior frequência da condição de céu claro (Teramoto y Escobedo, 2012). Porém, abril apresenta uma menor frequência da condição de céu claro e $\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$ 6,67% maior em relação a agosto. No caso, o menor $\langle \bar{K}_{TUV} \rangle$ em agosto está relacionado à maior concentração de aerossóis na atmosfera, pois agosto é um dos meses que compõe o período de colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Diferente de agosto, abril é o mês de transição entre o período chuvoso e o seco e antecede o início da safra de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. As influências das nuvens e a dos aerossóis sobre a variação temporal da K_{TUV} serão discutidas nos próximos subitens. Outro detalhe importante que deve ser observado na figura 1 é a amplitude de variação interanual, indicada pelos valores de desvio padrão da média. Valores altos (baixos) de desvio padrão da média indicam maior (menor) amplitude de variação interanual. As maiores amplitudes de variação interanual da K_{TUV} ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro, agosto e outubro. Ao contrário, as menores amplitudes de variação interanual ocorreram nos meses de julho, novembro e dezembro.

4.2. Influência das nuvens sobre a K_{TUV}

A análise da influência das nuvens sobre a variação do K_{TUV} será feita com base nos valores médios mensais interanuais ($\overline{K_{TUV}}$), calculados para as condições de céu: nebuloso, parcialmente nebuloso com dominância para o difuso

(PNDD), parcialmente nebuloso com dominância para o claro (PNDC) e claro. A Figura 2 abaixo apresenta as curvas dos valores de $\overline{K_{TUV}}$ em cada uma das quatro condições de céu.

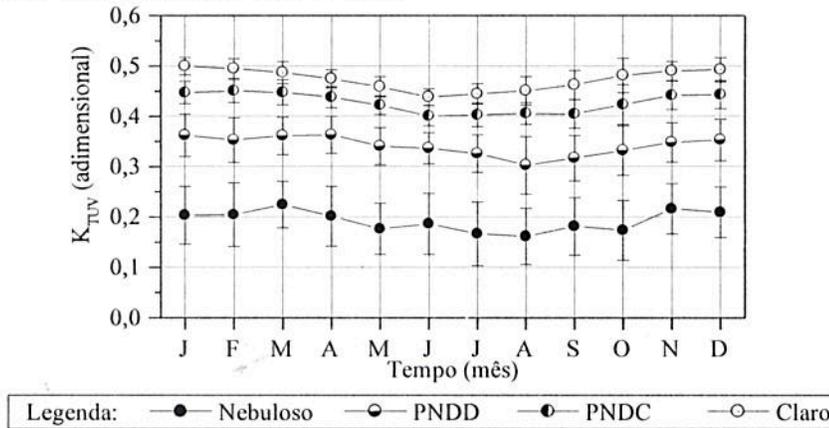


Fig. 2: Evolução anual das médias mensais dos valores diários de K_{TUV} para as condições de céu nebuloso, parcialmente nebuloso com dominância para o difuso (PNDD), parcialmente nebuloso com dominância para o claro (PNDC) e claro.

Os valores de $\overline{K_{TUV}}$ foram menores na condição de céu nebuloso, seguiram tendência de aumento ao longo das duas condições de céu intermediárias, e foram maiores na condição de céu claro (Figura 2). Na condição de céu nebuloso os valores de $\overline{K_{TUV}}$ variaram de $0,225 \pm 0,046$ em março a $0,161 \pm 0,056$ em agosto, e na de céu claro de $0,495 \pm 0,020$ em janeiro a $0,451 \pm 0,028$ em agosto. A partir dos valores de $\overline{K_{TUV}}$, verifica-se que a redução do K_{TUV} em função da mudança da condição de céu claro para nebuloso pode variar de 54% em março a 64% em agosto. No caso da mudança da condição de céu claro para céu PNDD a redução variou de 24% em abril a 33% em agosto e para céu PNDC variou de 7,66% em abril a 12,49% em setembro. Nas quatro condições de céu, os valores de $\overline{K_{TUV}}$ foram maiores nos meses do período chuvoso (outubro a março) e menores nos do período seco (abril a setembro). A diferença entre os valores de $\overline{K_{TUV}}$ nos meses do período chuvoso em relação aos do seco está relacionada a vários fatores, dentre eles: concentração, características e tempo de vida das nuvens e concentração de aerossóis e de gases absorvedores de UV na atmosfera (Seinfeld y Pandis, 1998; Brasseur et al., 1999; Calbó et al., 2005). Durante o período seco, quando há a passagem das

frentes frias, é comum o aumento da nebulosidade sem a ocorrência de chuva ou com chuvas de baixa intensidade. Neste caso, as nuvens permanecem sobre o céu por mais tempo e a deposição úmida dos aerossóis é fraca ou ausente, condições que aumentam a atenuação da radiação solar UV. As nuvens que se formam são espessas e de baixa ou média altitude, consideradas opacas à radiação UV (Josefsson y Landelius, 2000). Ao contrário, no período chuvoso, o aumento da nebulosidade é normalmente acompanhado pela ocorrência de chuvas, condição que mantém baixas as concentrações de aerossóis e de gases absorvedores da UV na atmosfera.

Para analisar a contribuição de cada uma das quatro condições de céu na composição dos valores de $\overline{K_{TUV}}$ (apresentados na figura 1), na figura 3 são apresentadas as médias mensais interanuais da frequência das condições de céu (\overline{f}): nebuloso, PNDD, PNDC e claro. As barras verticais com cor preta nos gráficos indicam o desvio padrão da média, os quais permitem verificar quais meses apresentam maior e menor amplitude de variação interanual.

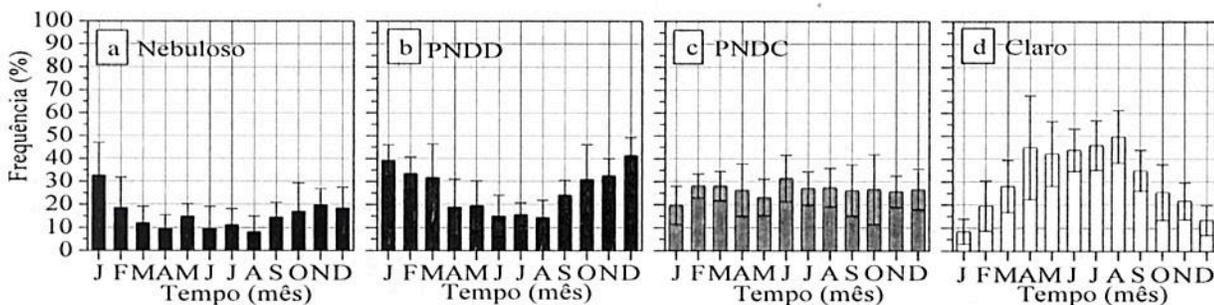


Fig. 3: Evolução anual das médias mensais interanuais da frequência das condições de céu (a) nebuloso, (b) PNDD, (c) PNDC e (d) claro

Observa-se que a curva do $\overline{K_{TUV}}$ (figura 1) acompanha de forma inversa o comportamento da curva de \overline{f} das condições de céu nebuloso (figura 3a) e PNDD (3b), comprovando a forte influência das nuvens sobre a variação do K_{TUV} .

A condição de céu nebuloso apresentou maior \overline{f} durante o verão (dezembro a fevereiro) e menor durante o inverno (junho a agosto) (Figura 3a). Ao longo do ano, a \overline{f} seguiu tendência de decréscimo a partir de janeiro até atingir o menor valor em agosto ($8,24 \pm 6,75\%$). A partir de agosto, seguiu tendência de aumento até dezembro. Porém,

contrariando esse padrão, em maio houve um pequeno aumento na $\langle \bar{f} \rangle$ da condição de céu nebuloso em relação a abril e junho. A $\langle \bar{f} \rangle$ em maio foi $15,00 \pm 5,21\%$, ou seja, $\sim 53\%$ maior que em abril e em junho. Em relação à variabilidade interanual, os maiores valores de desvio padrão foram observados em janeiro, fevereiro, junho e outubro. Nos meses de janeiro e fevereiro, a variabilidade interanual da frequência da condição de céu nebuloso está relacionada principalmente a variações na frequência de ocorrência e na intensidade do ZCAS (CPTEC, 2010). E nos meses de junho e outubro estão relacionadas principalmente a variações na frequência de ocorrência e na intensidade dos sistemas frontais (CPTEC, 2010).

A curva dos valores de $\langle \bar{f} \rangle$ da condição de céu PNDD apresentou comportamento similar ao da curva da condição de céu nebuloso. A maior $\langle \bar{f} \rangle$ foi registrada em dezembro ($41,44 \pm 7,75\%$) e a menor em agosto ($14,47 \pm 7,45\%$). Os meses com maior variação interanual da $\langle \bar{f} \rangle$ da condição de céu PNDD foram março, abril e outubro, influenciadas principalmente por variações na frequência de ocorrência e na intensidade dos sistemas frontais (CPTEC, 2010).

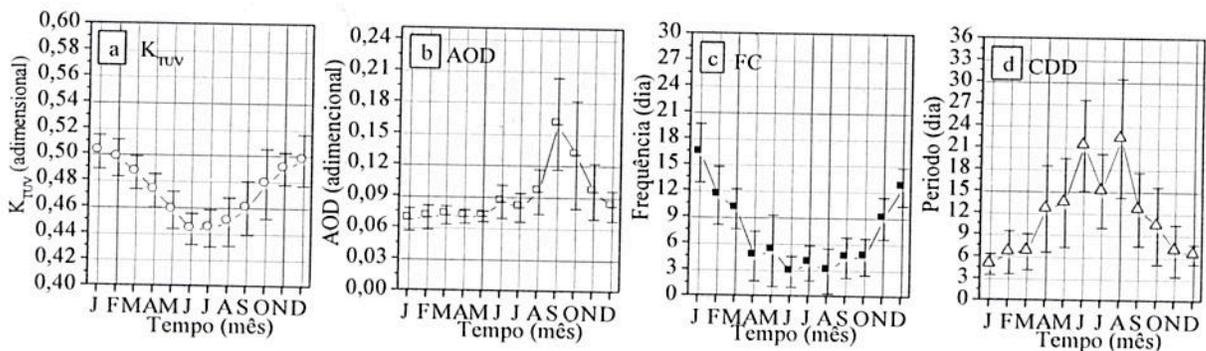


Fig. 4: Médias mensais interanuais dos valores diários de K_{TUV} em condições de céu claro (a), profundidade de ótica de aerossóis (b), frequência mensal de dias com chuva (c), período máximo de dias secos (d).

O $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ seguiu tendência de diminuição a partir de janeiro, atingiu o menor valor em junho e iniciou tendência de aumento a partir de agosto. A diferença entre o maior e o menor valor de $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ observados foi $11,26\%$. Em geral, a variação do $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ (figura 4a) foi similar à do $\langle \overline{FC} \rangle$ (figura 4c) e contrária à do $\langle \overline{CDD} \rangle$ (figura 4d). Com a redução na frequência de chuvas e o aumento no período máximo de dias secos houve a redução no $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$, causado pelo aumento na turbidez atmosférica. A redução na frequência de chuvas gera o aumento na turbidez atmosférica por permitir o acúmulo dos aerossóis na atmosfera e por facilitar a queima de biomassa. Nos meses com menor frequência de chuvas (junho a agosto), a frequência de incêndios em canaviais nas cidades próximas à Botucatu é maior (CEPTEC, 2010; CANASAT, 2010) e os valores de $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ são menores. Porém, comparando a curva da $\langle \overline{AOD} \rangle$ (figura 4b) com a do $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ (figura 4a) não foi observada a relação inversa no comportamento delas. Dentre as explicações para este resultado estão o tipo dos aerossóis reconhecido pelo sensor MODIS e a utilização de AOD na faixa do visível. O sensor MODIS reconhece apenas os aerossóis capazes de gerar a difusão da radiação solar. Porém, próximo a superfície terrestre, além dos aerossóis difusores de radiação solar existem também os aerossóis e gases absorvedores da radiação UV (Seinfeld y Pandis, 1998; Brasseur et al., 1999; Jacobson, 2002).

A soma dos valores de $\langle \bar{f} \rangle$ das condições de céu nebuloso e PCDD nos meses de dezembro a fevereiro é superior a 52% , condição que justifica os baixos valores de $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$. Porém, embora os meses de julho a agosto apresentem os menores valores de $\langle \bar{f} \rangle$ da condição de céu nebuloso e PCDD e as maiores de céu claro (figura 3d), neles não ocorrem os maiores valores de $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$. Estes são os meses de maior frequência da queima de cana-de-açúcar na região de Botucatu e, portanto, o baixo K_{TUV} pode estar relacionada principalmente ao aumento na concentração de aerossóis na atmosfera.

4.3. Influência dos aerossóis sobre a K_{TUV}

A figura 4 apresenta os valores médios mensais interanuais dos valores diários de K_{TUV} ($\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$) em condições de céu claro, da frequência mensal de dias com chuva ($\langle \overline{FC} \rangle$), período máximo de dias secos ($\langle \overline{CDD} \rangle$) e profundidade óptica de aerossóis ($\langle \overline{AOD} \rangle$). As barras verticais com cor preta nos gráficos indicam o desvio padrão da média.

Em relação à curva dos valores de AOD apresentada na figura 4b, nela os valores de $\langle \overline{AOD} \rangle$ permaneceram aproximadamente constantes de janeiro a maio, sendo inferiores a $0,08$. A AOD média inferior a $0,08$ indica que Botucatu apresenta durante os meses de janeiro a maio baixos níveis de poluição atmosférica (Holben et al., 2001; Shahgedanova y Lamakin, 2005). Os valores de $\langle \overline{AOD} \rangle$ estão próximos aos observados em cidades rurais nos Estados Unidos como Sevilleta ($37,35^{\circ}N$, $106,88^{\circ}W$, 1.447 m), com AOD média anual de $0,07$, e Andrews ($44,23^{\circ}N$, $122,22^{\circ}W$, 830 m), com média anual de $0,08$ (Holben et al., 2001). A partir de junho, a $\langle \overline{AOD} \rangle$ seguiu tendência de aumento até atingir o valor máximo em setembro ($0,160 \pm 0,044$). Com o início do período chuvoso em outubro, a $\langle \overline{AOD} \rangle$ seguiu tendência de redução até atingir em dezembro o valor de $0,082 \pm 0,014$.

Outra análise importante que deve ser feita com base na figura 5b é a da influência da queima de cana-de-açúcar sobre a variação da AOD em Botucatu. Os meses de junho a agosto (inverno) são os mais secos na região de Botucatu e, por isto, são também os meses onde são registradas as maiores frequências de incêndio em lavouras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo (CPTEC, 2010; CANASAT, 2010). Nos três meses citados, os valores de $\langle \overline{AOD} \rangle$ em Botucatu foram inferiores a $0,10$ e estiveram próximos aos

registrados nos meses do período chuvoso ($\sim 0,08$), porém com maior amplitude de variação interanual. A queima de cana-de-açúcar diminui a partir de setembro e cessa em novembro em função do aumento na frequência das chuvas. Nos meses de setembro a outubro a $\langle \overline{AOD} \rangle$ é elevada em função dos incêndios realizados nas regiões norte e centro-oeste do Brasil (Holben et al., 2001; Freitas et al., 2005; CEPTEC, 2010). Os incêndios ocorrem em áreas de vegetação nativa (cerrado ou floresta amazônica), de agricultura ou de pastagem. Em anos onde há o enfraquecimento do período chuvoso na região nestas regiões, a prática dos incêndios se intensifica no mês de outubro e pode se estender até novembro (Holben et al., 2001). A queima de biomassa nas regiões norte e centro-

oeste do Brasil gera aerossóis que são transportados por correntes convectivas no sentido sul da América do Sul (Freitas et al., 2005; Evangelista et al., 2007).

Na figura 5 é apresentada a frequência de incêndios por unidades de grade (28km x 28km) em alguns estados das regiões centro-oeste e norte do Brasil entre os meses de junho a novembro do ano de 2002 (CPTEC, 2010). O ano de 2002 foi escolhido por ter sido um ano chuvoso na região de Botucatu nos meses de agosto a outubro, porém seco na região norte.

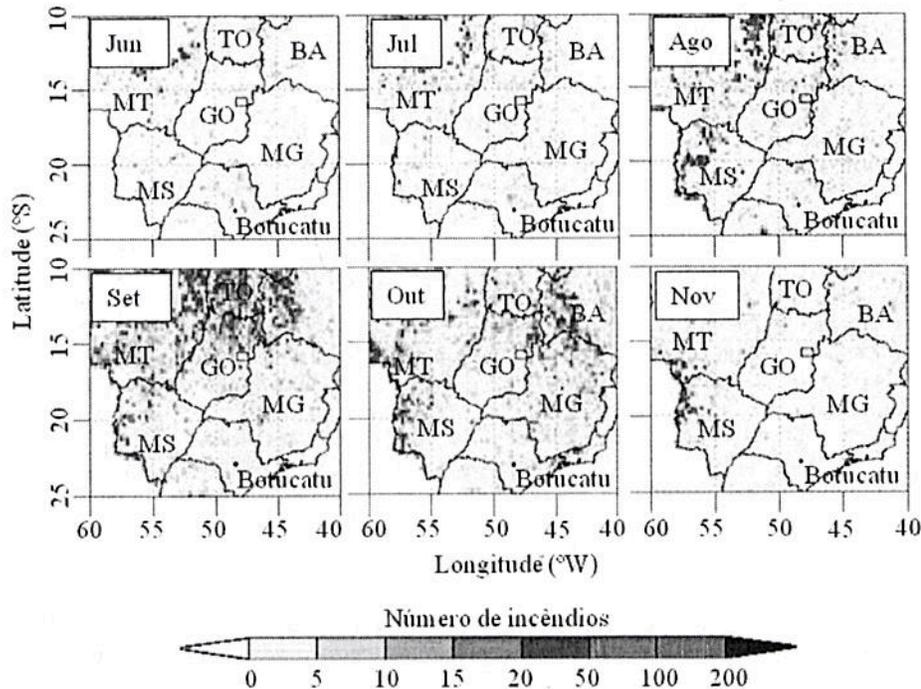


Fig. 5: Frequência de incêndios por unidades de grade (28km x 28km) entre os meses de junho a novembro detectados através do satélite NOAA. Fonte: CPTEC (2010).

No período de junho a novembro, a maior frequência de incêndios nas regiões centro-oeste e norte do Brasil ocorrem em setembro (figura 5). Tomando como referência a cidade de Cuiabá/MT (15,55°S, 56,07°W, 235 m), nela a \overline{AOD} na faixa do visível (550 nm) em setembro é $\sim 1,17$, valor 431,82% maior que em julho, 44,44% maior que em agosto e 160% maior que em outubro (Holben et al., 2001). Em outubro, a frequência de incêndios foi maior nos estados de Mato Grosso do Sul (MS) e Minas Gerais (MG). Em Botucatu, setembro e outubro são os meses que apresentaram as maiores variações interanuais da $\langle \overline{AOD} \rangle$ e também da K_{TUV} nas condições de céu claro. Este resultado indica que a variação interanual da K_{TUV} nos dois meses sofre influência da variação interanual na frequência de incêndios em outros estados do Brasil e da frequência das chuvas que são responsáveis pela deposição úmida dos aerossóis.

Portanto, a análise da influência dos aerossóis sobre a K_{TUV} em Botucatu pode ser realizada também sob dois aspectos:

1) Em relação ao aumento na concentração de aerossóis na atmosfera causado com predominância pela queima de cana-de-açúcar durante o período de colheita;

2) Em relação ao aumento na concentração de aerossóis na atmosfera causado com predominância pelos incêndios em outros estados.

A análise da influência da queima de cana-de-açúcar sobre a K_{TUV} , através do aumento na concentração de aerossóis difusores de radiação solar, deve ser feita utilizando dados dos meses de junho e julho. No caso, ela deve ser realizada por meio da comparação da K_{TUV} registrada em um dia com alta AOD em relação a outro com AOD próxima a 0,08. Na figura 6a é apresentada a evolução diurna dos valores horários de K_{TUV} registrados nos dias 14/07/2000 e 01/07/2002. Nela é possível observar o contraste entre os valores de K_{TUV} em um dia de junho onde houve a queima de cana-de-açúcar nas cidades adjacentes à Botucatu em relação a um dia com baixa poluição atmosférica. A influência dos incêndios realizados em outros estados sobre a K_{TUV} em Botucatu pode ser analisada a partir de dados registrados em dias de setembro com diferentes níveis de AOD. Na figura 6b abaixo são apresentadas as evoluções diurnas da K_{TUV} horária registrados nos dias 18/09/2003 e 11/09/2006. Na tabela 1 são apresentados os valores diários de K_T , AOD e TOC registrados nos quatro dias analisados.

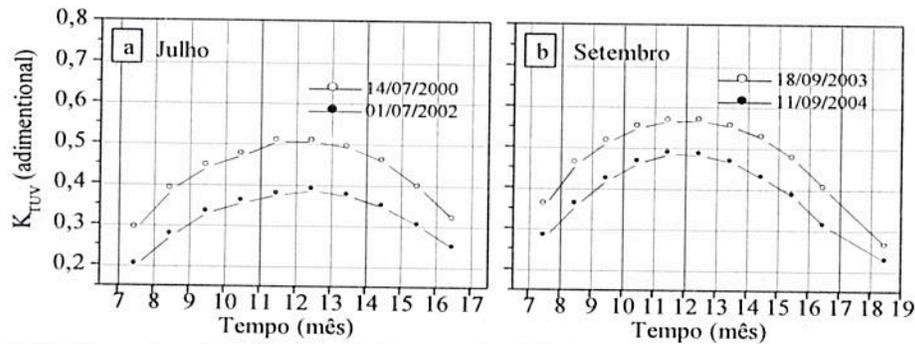


Fig. 6: Evolução diurna dos valores horários de K_{TUV} nos dias 14/07/2000 e 01/07/2002 (a) e nos dias 18/09/2003 e 11/09/2004 (b)

Tabela 1: Valores diários do K_T , AOD e TOC em dias com condição de céu claro nos dias 14/07/2000, 01/07/2002, 18/09/2003 e 11/09/2004.

Dia	K_T (adimensional)	AOD (adimensional)	TOC (UD)
14/07/2000	0,721	0,068	260
01/07/2002	0,668	0,126	250
18/09/2003	0,721	0,064	291
11/09/2004	0,665	0,198	260

Conforme tabela 1, a AOD registrada no dia 14/07/2000 foi 85,29% menor em relação ao do dia 01/07/2002. A maior concentração de aerossóis no dia 01/07/2002 (figura 6a e tabela 1) gerou baixos valores de K_{TUV} quando comparado ao dia 14/07/2000. A diferença entre os valores de K_{TUV} do dia 01/07/2002 em relação ao do 14/04/2000 variou de -22,21% (final do fotoperíodo) a -31,12% (no início do fotoperíodo) e ao meio dia local foi de -23,61%. Porém, deve-se ressaltar que a concentração de ozônio estratosférico no dia 14/07/2000 foi ~3,85% maior em relação ao registrado no dia 01/07/2002. No caso dos dias de setembro, a amplitude de variação da concentração de aerossóis é superior ao do caso analisado anteriormente (dias de julho), sendo a AOD registrada no dia 18/09/2003 209,38% menor em relação ao do dia 11/09/2004. A diferença entre os valores de K_{TUV} do dia 11/09/2004 em relação ao do 18/09/2003 variou de -14,70% (intervalo horário entre as 10 e as 11 horas local) a -22,89% (no final do fotoperíodo) e ao meio dia local foi de -15,90%. A concentração de ozônio estratosférico no dia 18/09/2003 foi ~10,65% maior em relação ao registrado no dia 01/07/2002. Um detalhe importante que deve ser considerado em relação aos dois casos analisados é a diferença nos níveis de redução da K_{TUV} com o aumento da AOD. No segundo caso (dias de setembro), os níveis de redução da K_{TUV} foram menores, mesmo sendo a amplitude de variação da AOD maior quando comparado ao primeiro caso (dias de julho). A explicação para a diferença nos níveis de redução da K_{TUV} , além da maior amplitude de variação da TOC observada no segundo caso e da imprecisão do sensor MODIS na medição da AOD, é a diferença nos tipos de aerossóis em suspensão na atmosfera. O menor período de dias seguidos sem ocorrência de chuva em setembro, quando comparado a junho, reduz o acúmulo na atmosfera dos aerossóis e gases absorvedores de UV gerados na região de Botucatu.

A fim de verificar a relação entre a variação do K_{TUV} em função da variação da AOD em junho e em setembro, na figura 7 são apresentados os gráficos com a correlação entre as duas variáveis meteorológicas. Como o satélite Terra faz a medição da AOD sobre Botucatu durante o horário local

entre as 10 e às 11 horas, foram utilizados dados horários de K_{TUV} registrados no mesmo intervalo horário.

Foi verificada a existência de tendência linear de redução da K_{TUV} com o aumento da AOD nos dois meses analisados (Figura 7). Tanto no mês de junho quanto em setembro, a maioria dos pontos está concentrada nos intervalos de AOD inferiores a 0,2, com elevada dispersão. A elevada dispersão indica que a variação na K_{TUV} é influenciada por outros fatores além da variação na concentração de aerossóis do tipo difusor que são reconhecidos pelo sensor MODIS.

Por meio do coeficiente de correlação R^2 , verifica-se que em junho ~50% das variações no K_{TUV} estão relacionadas às variações na AOD e o restante por outros fatores como a variação na TOC (figura 11a). No mês de setembro esse percentual é maior, ~64% (figura 7b).

4.3. Influência do ozônio estratosférico sobre a K_{TUV}

Na figura 8 é apresentada a evolução anual das médias mensais interanuais do K_{TUV} ($\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$) em condições de céu claro e da coluna total de ozônio ($\langle \overline{TOC} \rangle$) em Botucatu. As barras verticais com cor preta nos gráficos indicam o desvio padrão da média.

Embora o ozônio seja considerado um importante atenuador da radiação solar UV na atmosfera, não foi possível observar a relação inversa entre as variações do $\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ e da $\langle \overline{TOC} \rangle$. A explicação para o resultado observado é a baixa contribuição do ozônio estratosférico na variação temporal do K_{TUV} quando comparado aos aerossóis. O ozônio atenua toda a UV-C e parte da UV-B. Reduções da ordem de 1,6% na coluna total de ozônio atmosférico são capazes de gerar aumentos de até 2,3% na incidência de UV-B sobre a superfície terrestre (Mendeve et al., 2005; Serrano et al., 2008; El-Nouby, 2010). Porém, a UV-B corresponde a ~15% da UV extraterrestre e a ~10% da radiação solar UV global (Iqbal, 1983; Ogunjobi y Kim, 2004). Em relação à variação na concentração de ozônio na estratosfera, ao longo do ano os valores de $\langle \overline{TOC} \rangle$ apresentaram comportamento oscilatório (figura 8), onde os maiores valores foram

registrados durante a primavera e os menores durante o outono. O maior valor de $\langle \overline{TOC} \rangle$ foi registrado em setembro ($283,11 \pm 10,89$ UD) e o menor em maio ($252,23 \pm 7,51$ UD). Os valores máximo e mínimo de TOC foram próximos dos observados por outros autores em diferentes localidades do globo terrestre. Em Qena no Egito ($26,20^\circ\text{N}$, $32,75^\circ\text{E}$, 96 m), o valor máximo ocorre em maio ($294,00 \pm 14,00$ UD) e o mínimo em dezembro ($252,00 \pm 12,00$ UD),

respectivamente, meses da primavera e do inverno (El-Nouby, 2010). Em Kishinev na Moldova ($47,00^\circ\text{N}$, $28,82^\circ\text{E}$, 205 m), o valor máximo ocorre em março ($375,00 \pm 41,00$ UD) e o mínimo em novembro ($296,00 \pm 18,00$ UD), respectivamente, meses do inverno e do outono (Aculinin, 2006).

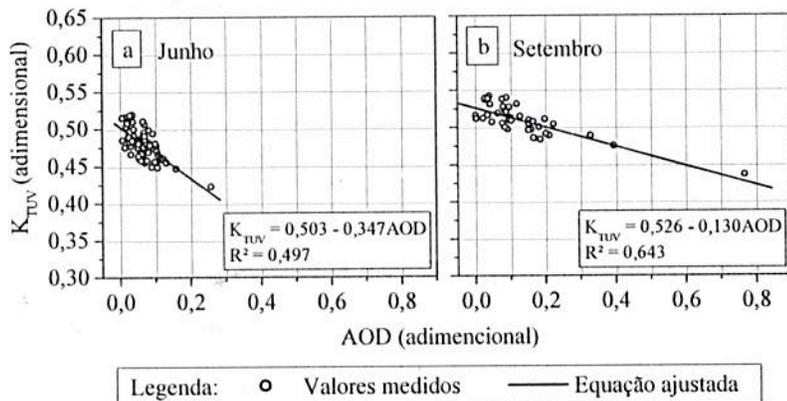


Fig. 7: Correlação entre o K_{TUV} e a AOD em condições de céu claro nos meses de junho (a) e setembro (b).

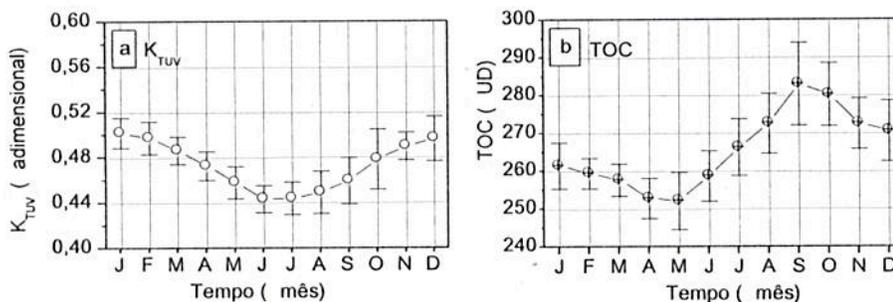


Fig. 8: Médias mensais interanuais da K_{TUV} em condições de céu claro (a) e da coluna total de ozônio TOC (b).

5. CONCLUSÕES

A transmissividade atmosférica da radiação solar UV (K_{TUV}) em Botucatu é menor nos meses do verão (dezembro a fevereiro), em função da maior nebulosidade, e maior em abril e agosto, meses onde há a predominância de dias com condições de céu claro. O aumento da nebulosidade com mudança da condição de céu claro para céu nebuloso pode gerar reduções de até 64% na K_{TUV} . Quando há a mudança da condição de céu claro para parcialmente nebuloso com dominância para o difuso, a redução é menor e pode chegar a 33%.

Durante os meses do período seco (abril a setembro), nos quais é alta a frequência da condição de céu claro e baixa a de chuvas, o aumento da turbidez atmosférica gera reduções de 20 a 32% no K_{TUV} .

A queima da cana-de-açúcar altera pouco a profundidade óptica de aerossóis (AOD) identificada pelo sensor MODIS em Botucatu, sendo ela responsável pelo aumento da AOD principalmente nos meses de junho a agosto. Os incêndios praticados em florestas ou pastagens em outros estados do Brasil geram aumento na AOD em Botucatu durante os meses de agosto a novembro.

Em relação à influência do ozônio estratosférico, não é possível observar seu efeito sobre a variação temporal da K_{TUV} . Uma das justificativas para este resultado é que, após absorver toda a UV-C, ele é capaz de atenuar apenas a UV-B, que representa menos de 20% da radiação solar UV incidente sobre a superfície terrestre.

NOMECLATURA

- AOD - Profundidade óptica de aerossóis (adimensional)
- $\langle \overline{AOD} \rangle$ - Média mensal interanual da profundidade óptica de aerossóis (adimensional)
- CDD - Comprimento máximo do período de dias sem chuva (dia)
- $\langle \overline{CDD} \rangle$ - Média mensal interanual do comprimento máximo do período de dias sem chuva (dia)
- f - Frequência mensal das condições de céu
- $\langle \overline{f} \rangle$ - Média mensal interanual da frequência das condições de céu (%)
- FC - Frequência de dias com ocorrência de chuva (dia)
- $\langle \overline{FC} \rangle$ - Média mensal interanual da frequência de dias com ocorrência de chuva (dia)
- K_T - Índice de transmissividade atmosférica (adimensional)
- K_{TUV} - Índice de transmissividade atmosférica da radiação solar UV (adimensional)

$\langle \overline{K_{TUV}} \rangle$ - Média mensal interanual do índice de transmissividade atmosférica da radiação solar UV (adimensional)
 PNDC - Condição de céu parcialmente nebuloso com dominância para o claro
 PNDD - Condição de céu parcialmente nebuloso com dominância para o difuso
 TOC - Coluna total de ozônio estratosférico (DU)
 $\langle \overline{TOC} \rangle$ - Média mensal interanual da coluna total de ozônio estratosférico (DU)
 ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

REFERENCIAS

- Aculinin, A. A. (2006). Total column ozone and solar UV-B erythral irradiance over Kishinev, Moldova. *Global NEST Journal*, **8**, 3, 204-209.
- Agar, N. S.; Halliday, G. M.; Barnetson, R. C.; Ananthaswamy, H. N.; Wheeler, M.; Jones, A. M. (2004). The basal layer in human squamous tumors harbours more UVA than UVB finger-print mutations: A role for UVA in human skin carcinogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **101**, 4954-4959.
- Aguiar, D. A.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E. (2009). Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, **29**, 3, 440-451.
- Ahmad, S. P.; Levelg, P. F.; Bhartia, P. K.; Hilsenrath, G. W.; Johnson, J. E. (2003). Atmospheric products from the Ozone Monitoring Instrument (OMI), *Proc. of Spie, San Diego*, p. 5151-5166.
- Allen, A. G.; Cardoso, A. A.; Rocha, G. O. (2004). Influence of sugar cane burning on aerosol soluble ion composition in southeastern Brazil. *Atmospheric Environment*, **38**, 5025-5038.
- 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. (2004). UVA mediated activation of signalling pathways involved in skin tumour promotion and progression. *Seminars in Cancer Biology*, **14**, 131-138.
- Barbero, F. J.; López, G.; Battles, F. J. (2006). Determination of daily solar ultraviolet radiation using statistical models and artificial neural networks. *Ann. Geophys.*, **24**, 2105-2114.
- Brasseur, G. P.; Orlando, J. J.; Tyndall, G. S. (1999). *Atmospheric Chemistry and Global Change*. Oxford University Press: New York.
- Calbó, J.; Pagés, D.; González, A. (2005). Empirical studies of cloud effects on UV radiation: a review. *Reviews of Geophysics*, **43**, 1-28.
- CANASAT. Mapa da colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>>. Acesso em: 05 jun. 2013.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B. (2004). The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, **17**, 88-108.
- Chaves, M.; Escobedo, J. F. (2000). A software to process daily solar radiation data. *Renewable Energy*, **19**, 1, 339-344.
- CPTEC. Climanálise - Boletim de monitoramento e análise climática. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/>>. Acesso em 24 Jan. 2010.
- Codato, G.; Oliveira, A. P.; Soares, J.; Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Pai, A. D. (2008). Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast Brazil. *Theory and Appl. Climat.*, **93**, 57-73.
- Diffey, M. B. L. (1991). Solar ultraviolet radiation effects on biological system. *Physc. Med. Bio.*, **36**, 299-329.
- Elhadidy, M. A.; Abdel-Nabi, D. Y.; Kruss P. D. (1990). Ultraviolet solar radiation at Dhahran, Saudi Arabia. *Solar Energy*, **44**, 315-319.
- El-Nouby, M. A. (2011). Effect of The Atmosphere on UVB Radiation Reaching the Earth's Surface: Dependence on Solar Zenith Angle. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, v. 4, n. 3, p. 139-145, 2011. Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. R. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy*, **36**, 169-178.
- Escobedo, J.; Gomes, E. N.; Oliveira, A.; Soares, J. (2009). Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, **86**, 299-309.
- Fröhlich, C.; London, J. (1986). Revised instruction manual on radiation instruments and measurements. Geneva: World Meteorological Organization. 140 f.
- Gueymard C. (1995). SMART2: a simple model of the atmospheric radioactive transfer of sunshine: algorithms and performance assessment. *Florida Solar Energy Center, FSEC-PF*, p. 270-295.
- Holben, B. N.; Tanre', D.; Smirnov, A.; Eck, T. F.; Slutsker, I.; Abuhassan, N.; Newcomb, W. W.; Schafer, J. S.; Chatenet, B.; Lavenu, F.; Kaufman, Y. J.; Vande Castle, J.; Setzer, A.; Markham, B.; Clark, D.; Frouin, R.; Halthore, R.; Karneli, A.; O'Neill, N. T.; Pietras, C.; Pinker, R. T.; Voss, K.; Zibordi, G. (2001). An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET. *Journal of Geophysical Research*, **106**, 11, 12.067-12.097.
- Huang, M.; Jiang, H.; Ju, W.; Xiao, Z. (2011). 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.*, **22**, 5, 491-506.
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. London: Academic Press. 390 f.
- Jacobson, M. Z. (2002). Analysis of aerosol interactions with numerical techniques for solving coagulation, nucleation, condensation, dissolution and reversible chemistry among multiple size distributions. *Journal of Geophysical Research*, **107**, D19, 1-23.
- Jacovides, C. P.; Assimakopoulos, V. D.; Tymviosa, F. S.; Theophilou, K.; Assimakopoulos, D. N. (2006). Solar global UV (280-380 nm) radiation and its relationship with solar global radiation measured on the island of Cyprus. *Energy*, **31**, 2728-2738.
- Josefsson, W.; Landelius, T. (2000). Effect of clouds on UV irradiance: As estimated from cloud amount, cloud type, precipitation, global radiation and sunshine duration. *Journal of Geophysical Research*, **105**, 4, 4927-4935.
- Lara, L. L.; Artaxo, P.; Martinelli, L. A.; Camargo, P. B.; Victoria, R. L.; Ferraz, E. S. B. (2005). Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in

- Southeastern Brazil. *Atmospheric Environment*, **39**, 4627-4637.
- Leal, S. S.; Tiba, C.; Piacentini, R. (2011). Daily UV radiation modeling with the usage of statistical correlations and artificial neural networks. *Renewable Energy*, **36**, 3337-3344.
- McPeters, R.; Kroon, M.; Labow, G.; Brinksma, E.; Balis, D.; Petropavlovskikh, I.; Veeckind, J. P.; Bhartia, P. K.; Levelt, P. F. (2008). Validation of the Aura ozone monitoring instrument total column ozone product. *Journal of Geophysical Research*, **113**, 1-9.
- Mendeve, B. D.; Gogosheva, T. N.; Petkov, B. H. Krastev, D. G. (2005). The total ozone and UV solar radiation over Stara Zagora, Bulgaria. *Advances in Space Research*, **35**, 1366-1368.
- Newchurch, M. J.; Yang, E. S.; Cunnold, D. M.; Reinsel, G. C.; Zawodny, J. M. (2003). Russell, J. M. Evidence for slowdown in stratospheric ozone loss: First stage of ozone recovery. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **108**, 4507, 1-13.
- Ogunjobi, K. O.; Kim, Y. J. (2004). Ultraviolet (0.280-0.400 μm) and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of their correlation with aerosol optical depth and clearness index. *Atmospheric Research*, **71**, 193-214.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; (2010). Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **25**, 185-204.
- Remer, L. A.; Kleidman, R. G.; Levy, R. C.; Kaufman, Y. J.; Tanre, D.; Mattoo, S.; Martins, J. V.; Ichoku, C.; Koren, I.; Yu, H.; Holben, B. N. (2008). Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. *Journal of Geophysical Research*, v. 113.
- Rooba, S. M. (2004). A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. *Solar Energy*, **77**, 251-259.
- Santos, J. B.; Villan, D. M.; Castrillo, (2011). A. M. Analysis and cloudiness influence on UV total irradiation. *International Journal Climatology*, **31**, 451-460.
- Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*. John Wiley y Sons: New York.
- Serrano, A.; Anton, M.; Cancillo, M. L.; Garcia, J. A. (2008). Proposal of a new erythemal UV radiation amplification factor. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, **8**, 1089-1111.
- Shahgedanova, M.; Lamakin, M. (2005). Trends in aerosol optical depth in the Russian arctic and their link with synoptic climatology. *Science of the Total Environment*, **341**, 133-148.
- Stolarski, R. R.; Bojkov, R.; Bishop, L.; Zerefos, C.; Staelin, J.; Zawodny, J. (1992). Measured trends in stratospheric ozone. *Science*, **256**, 342-349.
- Teramoto, E. T.; Escobedo, J. F. (2012). Análise da frequência anual das condições de céu em Botucatu, São Paulo. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*. **16**, 9, 985-992.