

VARIAÇÃO SAZONAL DO CICLO DIURNO E ANUAL DA ESPESSURA ÓTICA NA CIDADE DE SÃO PAULO.

Maurício J. Ferreira¹ e Amauri P. de Oliveira²

RESUMO

Neste trabalho dados de irradiância solar global e difusa, observados na superfície da cidade de São Paulo são utilizados para estimar o ciclo diurno da espessura ótica da atmosfera local. As medidas de irradiância solar global e difusa foram feitas de forma contínua e com frequência de amostragem de 0.5 Hz, com piranômetros Eppley, modelos PBW e PSP respectivamente, sendo este último acoplado a um anel de sombreamento. Os valores usados na estimativa correspondem a médias de 5 minutos observadas entre maio de 1997 e março de 2005. A espessura ótica foi determinada através do método de Langley. Os resultados indicam que a espessura ótica da atmosfera em São Paulo apresenta ciclo diurno associado ao ciclo diurno de umidade do ar trazido de forma sistemática pela brisa marítima e da poluição atmosférica.

ABSTRACT

In this work global and diffuse solar irradiances observed at the surface in the city of São Paulo are used to estimate the diurnal evolution of optical depth. Global and diffuse solar radiation measurements used here were carried out continuously with sampling rate of 0.5 Hz and using pyranometer models PSP and PBW, respectively. Diffuse component was provided by shadow band device. Values used to estimate optical depth correspond to 5 minutes average observed between May 1997 and March 2005. The optical depth was evaluated by using the Langley method. The results indicate that the optical depth of São Paulo has a very well defined diurnal cycle associated to the systematic moistening due to the sea breeze and intensification of air pollution.

¹ Grupo de Micrometeorologia – Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG USP – Rua do Matão, 1226 – 05508-090, São Paulo, SP. (mjferreira@model.iag.usp.br)

² (apdolive@usp.br)

Palavras Chave: Espessura Ótica, Cidade de São Paulo, Aerossol.

INTRODUÇÃO

A radiação solar ao atravessar a atmosfera sofre uma série de alterações que definem seu espectro e sua intensidade na superfície (Zullo Jr. *et al.*, 1996). Quanto maior for a espessura ótica menor será a transmitância da coluna atmosférica e menor será a intensidade da radiação solar na superfície (Plana-Fattori e Rozante 1997). Assim, a evolução temporal e espacial da radiação solar na superfície depende da espessura ótica da atmosfera, que por sua vez depende de fatores locais que provocam variações na maneira de como se distribui a radiação solar no espectro eletromagnético e na direção de propagação (Hay e Hanson, 1985). A finalidade deste trabalho é quantificar a espessura ótica atmosférica a partir de medidas da radiação solar global e difusa na superfície da cidade de São Paulo.

DESCRIÇÃO DAS OBSERVAÇÕES E DO CLIMA DE SÃO PAULO

Os dados da radiação solar global e difusa são coletados na plataforma micrometeorológica do IAG-USP, localizada na cidade de São Paulo (23°33' S, 46°37' W) a 744 m de altitude, no campus da zona oeste da USP na região do Butantã a uma distância média de 60 Km do Oceano Atlântico.

O clima na cidade de São Paulo segundo Oliveira *et al.* (2002) é típico de regiões subtropical do Brasil caracterizado por um inverno seco e o verão úmido.

DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE ESPESSURA ÓTICA.

A espessura ótica da atmosfera é estimada na forma de valores médios no intervalo de comprimento de onda de 0,3 a 2,8 μm utilizando o método Langley que consiste na linearização da Lei de Beer-Bouguer-Lambert através de um conjunto de medidas de irradiância solar direta. Os valores determinados na aplicação do método podem ser considerados uma representação média em todo o espectro solar, pois se trata de uma estimativa que objetiva analisar o comportamento médio diário da espessura ótica da atmosfera (Plana-Fattori e Rozante, 1997; Echer *et al.*, 2001).

A lei de Beer-Bouger-Lambert pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\ln I_{\lambda} = \ln I_{\lambda_{\infty}} - \tau\mu \quad (1)$$

Onde I_{λ} e $I_{\lambda_{\infty}}$ são as irradiâncias monocromáticas na superfície e no topo da atmosfera respectivamente, τ é a espessura ótica (adimensional) e μ é a massa ótica da atmosfera definida como $\sec\theta$, aproximação válida para uma atmosfera plano-paralela e ângulo zenital solar (θ) menor do que 60° . Fisicamente, a massa ótica assume valores maior ou igual a 1, que corresponde à razão entre o caminho percorrido pela radiação solar incidente no topo da atmosfera e o caminho percorrido se o Sol estivesse no zênite ($\mu = 1$).

No caso da atmosfera estratificada e com propriedades dependentes somente da altitude é conveniente tratar a transferência radioativa no contexto de uma atmosfera plano-paralela, considerando a atmosfera como um conjunto de camadas verticalmente estruturada e horizontalmente homogênea uma vez que a espessura geométrica “ópticamente ativa” da atmosfera (aproximadamente 100 km de altura) é muito menor que o raio da Terra (Lenoble, 1993).

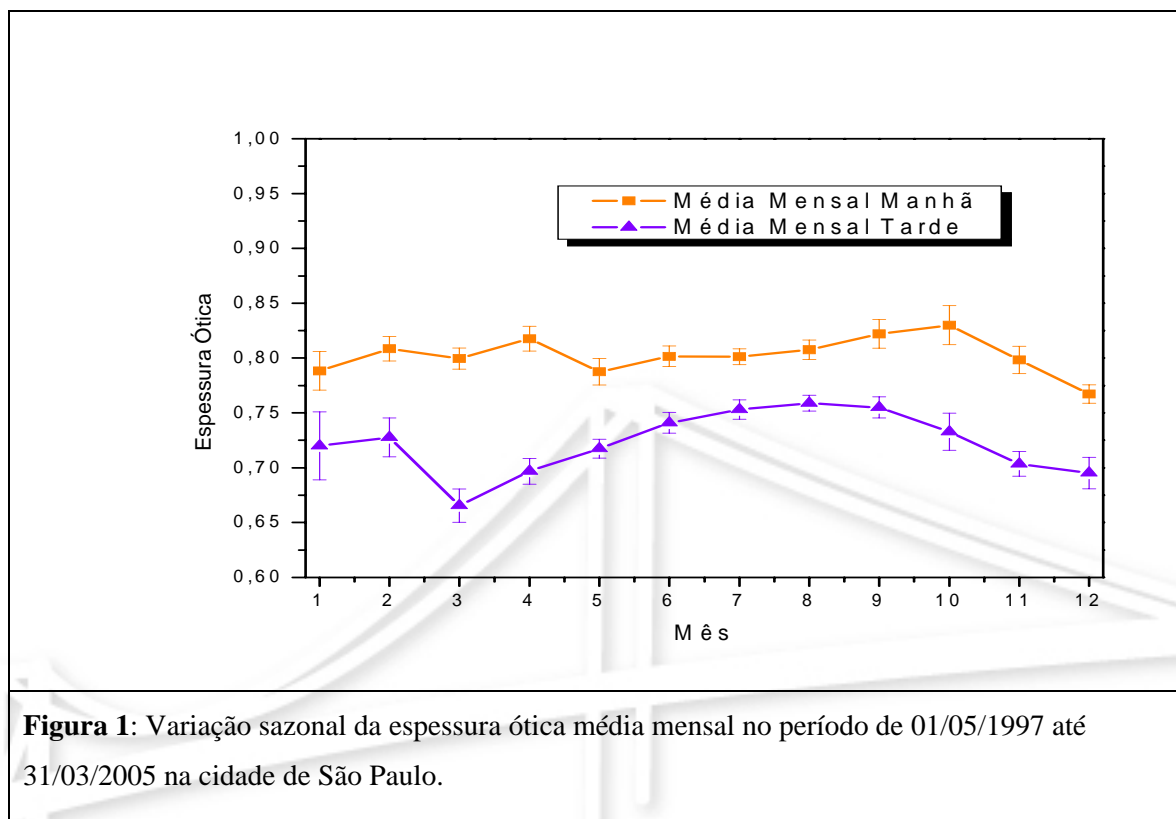
Os parâmetros $\ln I_{\lambda_{\infty}}$ e τ são determinados através dos dados da irradiância solar direta normal no intervalo de massa ótica (μ) de 2 a 6, ajustando-se uma reta aos valores observados em um gráfico $\ln I_{\lambda}$ em função da massa ótica. Neste caso foram selecionados os dias em que não havia cobertura de nuvens.

Segundo Harrison e Michalsky (1994), este método não pode ser aplicado para valores de massa ótica maior que 6 porque existe uma grande incerteza na coleta dos dados em função do ângulo zenital e para valores menores do que 2 a taxa de variação na massa ótica é considerada pequena, permitindo que as mudanças nas condições atmosféricas através do aquecimento das camadas de ar promovam alterações na regressão linear, modificando os valores dos parâmetros $\ln I_{\lambda}$ e τ .

VARIAÇÃO DA ESPESSURA ÓTICA DA ATMOSFERA

A **Fig. 1** apresenta a espessura ótica média mensal da atmosfera considerando 8 anos de dados e observamos que no período da manhã a espessura ótica média mensal é

praticamente constante durante todo o ano e no período da tarde existe um mínimo relativo em março e dezembro. Verifica-se que a espessura ótica média mensal na cidade de São Paulo é sistematicamente maior no período da manhã em relação ao período da tarde em todos os meses do ano.



A incidência da radiação solar aquece a atmosfera e inicia vários processos como o desenvolvimento do transporte turbulento, a evolução da umidade relativa do ar, vento, ao longo do dia, provocando as alterações na composição da atmosfera (Waller e Leiterer 1988). As informações sobre o conjunto de dados estão representadas na **fig 2** e indica para a espessura ótica atmosférica no período da manhã o valor máximo e mínimo de ($\tau_{\text{máx}}=1,07$ e $\tau_{\text{mín}}=0,62$) e à tarde ($\tau_{\text{máx}}=1,09$ e $\tau_{\text{mín}}=0,56$), bem como, a localização e a dispersão dos dados em torno da mediana ($M_{\text{manhã}}=0,79$ e $M_{\text{tarde}}=0,73$) nos dois períodos.

Os resultados apontam para um ciclo diurno na espessura ótica da atmosfera com tendência de queda no período da tarde durante as observações.

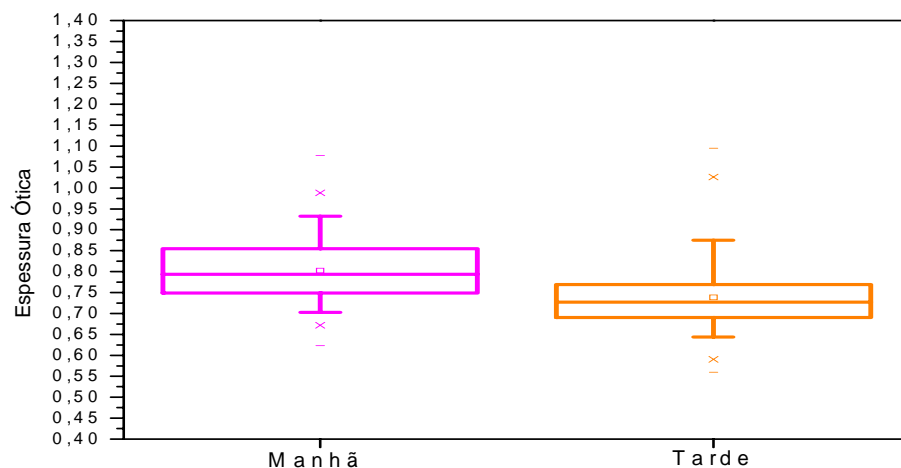


Figura 2: Variações na espessura ótica total da atmosfera para 511 dias no período da manhã e 455 dias à tarde entre 01/05/97 e 30/03/2005

A tabela 1 mostra os resultados obtidos nos períodos manhã e tarde. Verifica-se um valor médio para a espessura ótica da atmosfera pela manhã de $\tau_{\text{Manhã}}=0,80$ e à tarde $\tau_{\text{Tarde}}=0,74$. Este valores estão associados ao aumento da componente difusa e direta da irradiância solar, resultando no aumento médio **24,09 W/m²** da irradiância solar global na superfície no período da tarde, provocado pela melhora na transmitância da atmosfera ao longo do dia.

Tabela 1: Espessura ótica, irradiância solar difusa, direta e global média diária no intervalo de massa ótica entre 2 e 6 em 86 dias de observações nos períodos da manhã e tarde entre 01/05/97 e 30/03/2005.

	$\tau_{\text{Média}}$	$I_{\text{Difusa}} \text{ (W m}^{-2}\text{)}$	$I_{\text{Direta}} \text{ (W m}^{-2}\text{)}$	$I_{\text{Global}} \text{ (W m}^{-2}\text{)}$
MANHÃ	0,80	48,83	219,01	267,31
TARDE	0,74	58,09	232,22	291,40

CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi estimar a espessura ótica na Cidade de São Paulo através de dados de radiação solar global e difusa observados na plataforma micrometeorológica da IAG USP entre maio de 1997 e dezembro de 2005, usando o método de Langley.

A evolução anual da espessura ótica indica um valor aproximadamente constante no período da manhã e um máximo relativo da espessura ótica em agosto que corresponde ao inverno e mínimos em dezembro e março ao longo de 8 anos de observações.

A espessura ótica diminui ao longo do dia melhorando a transmitância da atmosfera. Este efeito causa em média um aumento da componente difusa e direta da irradiância na superfície no período da tarde.

No entanto é necessário investigar detalhadamente as propriedades físicas e químicas da atmosfera no sentido de determinar se presença de elementos na atmosfera que apresentam maior dependência espectral no período da manhã e menor dependência espectral no período da tarde são responsáveis pela melhora na transmitância da atmosfera ao longo do dia. Determinar se a brisa marítima que penetra na região metropolitana da cidade de São Paulo contribui para atenuação da componente direta da irradiância solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Echer, E., Souza, M.P. e Schuch, N. J., 2001 - A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. *Rev. Brasileira de Ensino. de Física*, **23(3)**, 276-283.
- Harrison, L. and Michalsky, J., 1994 - Objective algorithms for the retrieval of optical depths from ground-based measurements. *Applied Optics*, **33(22)**, 5126-5132.
- Hay, J. E. and Hanson, K. J., 1985 - Evaluating The Solar Resouce: A Review of Problems Resultin From Temporal, Spatial and Angular Variations, *Solar Energy*. **34 (2)**, 151-161.
- Lenoble, J., Atmospheric Radiative Transfer, A DEEPAK Publishing, Hampton, 1993.
- Oliveira, A. P., Escobedo, J. F., Machado, A. J., and Soares, J., 2002: Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the City of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, **71(3-4)**, 231-249.
- Plana-Fattori, A. e Rozante, J. R., 1997: Pireliometria de banda larga e turbidez atmosférica em São Paulo. *Rev. Bras. Geof.*, **15(3)**, 257-274.
- Weller, M. and Leiterer, U., 1988: Experimental Data on Spectral Aerosol Optical Thickness and its Global Distribution., *Beitr. Phys. Atmosph.* 1-9.
- Zullo Jr., F.G. Xing, G. Guyot, R. Lampararelli, e P. C. Bezerra, 1996 - Pré-Pecessamento das Imagens de Satélite, *Caderno de Informações Georreferenciadas – CIG*, **1(1)** art. 7.