



## Modelo para Cálculo da Coluna Total de Ozônio usando Dados do Espectroradiômetro do Observatório Espacial do Sul.

Caroline Bertagnolli (1,2), Rafael Peres (1,2), Samara Carbone (1,2), Robinson L. Manfro (1,2), Damaris K. Pinheiro (1), Augusta A. M. P. Schuch (1), H. Nozawa (3), H. Yamamoto (3) e Nelson J. Schuch (2). (1) Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, Brasil, (2) Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, Brasil, (3) Universidade Rikkyo, Tokyo, Japão.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The ozone total column has been obtained through UV Radiation detectors as Radiometers and Spectroradiometers. It was used as an alternative method for stations which does not have expensive equipments to measure ozone like Brewer Spectrophotometers. The aim of this work is to find a mathematic model using the relation between UVB/UVA radiations ratio measured by Spectroradiometer MS 701 and effective ozone measured by Brewer Spectrophotometer MKIII #167. Both equipments are installed at Southern Space Observatory, at southern Brazil. The period selected for this analysis was the year of 2003 and only clean sky days were used. The mathematic model found was an exponential function with a correlation coefficient about 0.85. The effective ozone data obtained by Spectroradiometer were fitted with the model found and compared with the Brewer and TOMS ozone total column. The average difference between the model results and Brewer ozone total column was 0.7% and between the model and TOMS ozone data was 3.1%. It verifies the efficiency of the method used and a good approximation of the model.

### Introdução

O ozônio é um gás com grande concentração na Estratosfera (Slusser, 1999), onde absorve a radiação solar na região do ultravioleta, tendo seu máximo de absorção nos comprimentos de onda na faixa de Hartley, de 200 a 300 nm (Whitten e Prasad, 1985). A temperatura começa a aumentar na Estratosfera, pois o ozônio absorve a radiação ultravioleta (UV) e libera energia na forma de calor (London, 1985), sendo que existe uma faixa que compreende a maior parte do ozônio total presente na Atmosfera denominada Camada de Ozônio (Kirchhoff, 1991).

A radiação solar apresenta um largo espectro compreendendo a faixa do visível, a do infravermelho além da radiação UV que conta com menos de 10% da radiação solar total. A radiação ultravioleta é muito importante nos processos atmosféricos e em parte pela

formação da camada de ozônio (Whitten e Prasad, 1985), mas pode causar danos sobre plantas, sistemas aquáticos e ainda câncer de pele, catarata e supressão do sistema imunológico, debilitando as defesas do organismo humano e animal (WHO, 1994; van der Leun e Grujil, 1993).

Assim o Efeito Eletromagnético da radiação ultravioleta é subdividido em três de acordo com seus efeitos biológicos: UV-A (315-400nm), UV-B (280-315nm) e UV-C (100-280nm).

A faixa Hartley contém a maior parte da radiação ultravioleta do tipo B, cuja absorção pelo ozônio é forte, tendo maior intensidade com a diminuição do ozônio atmosférico (Brasseur e Solomon, 1984; Tevini, 1993). Nos últimos anos, muitos estudos sobre a variação do ozônio e da radiação UVB vem sendo feitos, isso por causa de seus efeitos danosos a Biosfera (Echer, 2004; Guarnieri, 2004).

A Atmosfera é composta por diversos gases tais como O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, além de aerossóis que atenuam a medida da radiação solar devido à interação com a matéria. O espalhamento Rayleigh ( $\tau_R$ ) e espalhamentos produzidos pelos aerossóis ( $\tau_{ae}$ ) têm papel fundamental na atenuação da radiação UV (Bridgman, 1978; Taha e Box, 1999; Marenco et al., 1997; Green et al., 1974; Shettle e Green, 1974; Echer et al., 1999; Kirchhoff et al., 2001; Silva et al., 1999b; Silva e Kirchhoff, 2000; Kirchhoff, V. W. J. H., et al., 2002). O somatório desses agentes resulta na espessura óptica atmosférica que é expressa por:

$$\tau_{at} = \tau_R + \tau_{ae} + \tau_{O_3} + \tau_{SO_2} + \tau_{NO_2} \quad (1)$$

Onde  $\tau_{at}$ ,  $\tau_{O_3}$ ,  $\tau_{SO_2}$ ,  $\tau_{NO_2}$  correspondem respectivamente às espessuras ópticas atmosféricas, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, para a faixa de UV.

O cálculo da espessura óptica é realizado pelo método de Langley que é uma aplicação da Lei de Beer para a Atmosfera Terrestre. Este relaciona a incidência da radiação na superfície através de  $\tau_{at}$ , ou seja, a quantidade de radiação que chega à superfície é função do que chega no topo da Atmosfera e da sua composição, mais precisamente da  $\tau_{at}$  (Coulson, 1975).

$$I_\lambda = I_{\lambda,0} \exp(-\tau_{\lambda,at} m) \quad (2)$$

onde  $I_\lambda$ ,  $I_{\lambda,0}$  são definidos como radiação na superfície da Terra e no topo da Atmosfera, respectivamente, e  $m = 1 / \cos(\theta)$  é a massa de ar, que é assim calculada para ângulos solares zenitais  $\theta$  menores de 70°.

O presente trabalho utiliza dados de radiação ultravioleta obtidos com um Espectroradiômetro e de ozônio obtidos com um Espectrofotômetro Brewer durante o ano de 2003, medidos em São Martinho da Serra no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT (29.42°S, 53.87°O), com o objetivo de encontrar uma relação entre a razão UVB/UVA e o ozônio efetivo. Esta relação pode ser usada para inferir o ozônio atmosférico em locais sem a presença de medidores mais caros e sofisticados como o Espectrofotômetro Brewer.

## Metodologia

Para a obtenção das medidas de radiação UVB e UVA foi utilizado um Espectroradiômetro MS 701. Este aparelho mede a radiação UV a cada nanômetro na banda espectral de 300 a 400 nm, com resolução de 0,8nm, fornecendo uma medida a cada cinco minutos. Os dados da coluna total de ozônio foram medidos pelo Espectrofotômetro Brewer MKIII # 167 (Kipp & Zonen Inc.), ambos instalados no Observatório Espacial do Sul, que mede a coluna total de ozônio para os comprimentos de onda 306,3; 310,1; 313,5; 316,8 e 320,1nm com resolução de 0,6 nm.

Através dos valores da coluna total de ozônio e da massa de ar fornecidos pelo Brewer, foi calculado o ozônio efetivo, que conforme a Figura 1 mostra, corresponde à coluna total de ozônio multiplicada pela massa de ar (secante do ângulo zenital  $\theta$ ), dado em Unidades Dobson.

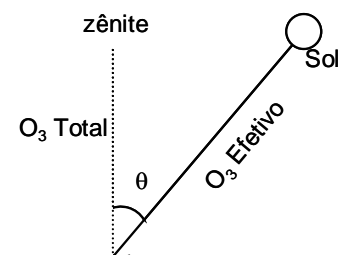


Fig. 1 - Esquema da geometria da atenuação da radiação solar pela Atmosfera, em relação ao ponto de zênite (perpendicular à superfície terrestre). O ângulo formado pela posição do Sol e o zênite é denominado ângulo solar zenital ( $\theta$ ).

O ano de 2003 foi selecionado para esta análise devido a melhor continuidade nos dados. Para que a interferência das nuvens fosse amenizada, somente os dias de céu limpo do ano de 2003 foram considerados, totalizando 32 dias sem interferência de nuvens.

## Resultados

Tendo as medidas do ozônio efetivo de cada um dos dias sem interferência de nuvens de 2003, determinou-se para os horários mais próximos possíveis aos das medidas da coluna total de ozônio do Brewer as intensidades das radiações UVB e UVA ( $W/m^2$ ) medidas pelo Espectroradiômetro, de forma que os ângulos zenitais

das medidas dos equipamentos são muito próximos. Depois de coletados os dados das radiações UVB e UVA, foi calculada a sua razão e feita uma correlação com as medidas do ozônio efetivo medido pelo Brewer, Figura 2. A partir dessa correlação obteve-se a função exponencial:

$$y = A \cdot \exp(B \cdot x) \quad (3)$$

Onde  $A = 5,701$  e  $B = -0,0021$  e o coeficiente de correlação calculado tem um valor alto resultando em  $R = -0,85$  ( $R^2 = 0,72$ ) o que indica a possibilidade de cálculo do ozônio efetivo pelo Espectroradiômetro a partir de dados de ozônio efetivo determinados pelo Brewer.

A função obtida é muito semelhante à encontrada por Takeshita et. al (2001) para Hiratsuka no Japão:

$$y = 5,85 \cdot \exp(-0,00206 \cdot x) \quad (4)$$

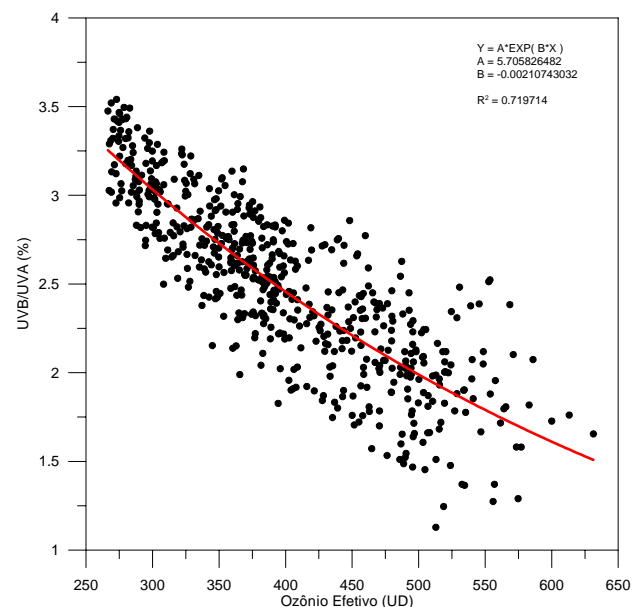


Fig. 2 – Correlação entre ozônio efetivo medido pelo Brewer e a razão UVB/UVA do Espectroradiômetro do Observatório Espacial do Sul.

A fim de verificar a confiabilidade da função obtida, os dados de ozônio efetivo do Espectroradiômetro foram ajustados à função e calculada a coluna total de ozônio. Como foram utilizadas mais de uma razão de UVB/UVA por dia, foi calculada a média diária da coluna total de ozônio e comparadas com as médias diárias do Brewer, Figura 3.

Da comparação dos três equipamentos verificaram-se diferenças médias de 0,7% do ozônio calculado pelos dados do Espectroradiômetro com os medidos pelo Brewer e de 3,1% de diferenças médias com os dados medidos pelo TOMS. A diferença média apresentada pelo Brewer é muito pequena devido ao ajuste ter sido feito com o mesmo, e a diferença média obtida pelo TOMS é pequena.

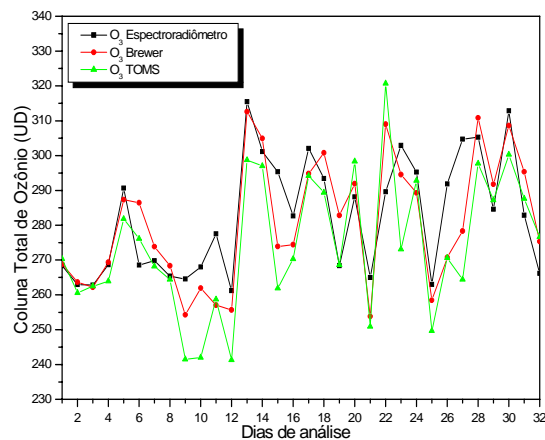


Fig. 3 – Comparação da coluna total de ozônio entre Brewer e Espectroradiômetro do Observatório Espacial do Sul.

### Conclusões

Da análise de dados efetuada, verificou-se que a função que melhor ajustou os dados foi a exponencial com coeficiente de correlação de  $R = -0,85$ . As diferenças médias entre o ozônio calculado pelo Espectroradiômetro e os dados do Brewer é de 0,7% e do Espectroradiômetro com o TOMS de 3,1%. O método de inferir ozônio através da razão UVB/UVA mostrou-se eficiente conforme a análise, pois a função exponencial encontrada é muito próxima a de Takeshita et. al (2001) com diferenças de 2,7 % em A e 2,4 % em B, indicando que a mesma função pode ser utilizada para a obtenção de ozônio total a partir de dados de radiação de um Espectroradiômetro em diferentes localidades.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da FAPERGS e do MCT/CNPq pelas bolsas concedidas, e ao Ministério do Meio Ambiente e Agência Espacial Brasileira pelo apoio financeiro. Agradecimento especial à equipe NASA/TOMS pela cedência dos dados de ozônio.

### Referências

- Brasseur, G., Solomon, S., *Aeronomy of the middle atmosphere*. Dordrecht: D. Reidel, p.441, 1984.
- Bridgman, H. A., *Direct visible spectra and aerosol optical depths at urban and rural locations during the summer of 1975 at Milwaukee*. *Solar Energy*, Vol.21, p. 139-148, 1978

Coulson, K. L., *Solar and terrestrial radiation: methods and measurements*. New York: Academic, p.322 1975.

Echer E., N.J. Schuch, Makita K. and S. Okano. *Observations of broadband solar UV-A irradiance at Santa Maria, Brazil (29°S, 53°W)*. *Geofísica Internacional*, vol.43, num.1, p. 53-59, 2004.

Echer, E., Kirchoff, V. W. J. H., Silva, A. A., *Estimativa da espessura óptica atmosférica no ultravioleta utilizando radiômetro de banda larga*. [CD-ROM]. In: *Reunião da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência*, 51 a, Porto Alegre, Julho 1999.

Green, A. E. S., Sawada, T., and Shettle, E. P., *The middle ultraviolet reaching the ground*. *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 19, p. 251-259, 1974.

Guarnieri, R. A., Guarnieri, F.L., Contreira, D. B., Padilha, L. F., Echer, E., Pinheiro, D. K., Schuch, A. M. P., Makita, K. and Schuch N. J. 2002. *Ozone and UVB radiation anticorrelations at fixed solar zenith solar angles in southern Brazil*. *Geofísica Internacional*, Vol. 43, Nº 1, p. 17-22, 2004.

Kirchoff, V. W. J. H., *Introdução à geofísica espacial*. São Paulo: Nova Stella, p.149, 1991.

Kirchoff, V. W. J. H., Silva, A. A., Costa, C.A, Leme, N. P., Pavão, H. G., Zaratti, F., *Uv-b optical thickness observations of the atmosphere*. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, Nº D3, 2963-2973, 2001.

Kirchoff, V. W. J. H., Silva, A. A., Pinheiro, D. K., *Wavelength dependence of aerosol optical thickness in the UV-B band*, *Geophysical Research Letters*, Vol. 29, Nº 12, 10.1029/2001GL014141 p. 58-1 – 58-4, 2002.

London, J., *Observed distribution of atmospheric ozone and its variations*. In: Whitten, R. C., Prasad, S. S. ed. *Ozone in the free atmosphere*. New York: Van Nostrand Reinhold, cap. 1, p. 11 – 80, 1985.

Marengo, F., Santacesaria, V., Bais, A. F., Balis, D., Di Sarra, A., Papayannis, A., Zerefos, C., *Optical properties of tropospheric aerosols determined by lidar and spectrophotometric measurements (photochemical activity and solar ultraviolet radiation campaign)*. *Applied Optics*, Vol. 36, Nº. 27, p. 6875-6886, 1997.

Shettle, E. P., Green A. E. S., *Multiple scattering calculation of the middle ultraviolet reaching the ground*. *Applied Optics*, Vol. 13, Nº. 7, p. 1567-1581, July 1974.

Silva, A. A., Kirchoff, V. W. J. H., Echer, E., *Varição sazonal da espessura óptica atmosférica para o uv-b obtida pelo método de Langley aplicado às medidas do espectrofotômetro Brewer*. [CD-ROM]. In: *Reunião da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência*, 51 a, Porto Alegre, Julho 1999.

- Silva, A. A., Kirchoff, V. W. J. H., Brewer spectrophotometer uv-b measurements for aerosol optical thickness determinations during biomass burning. [CD-ROM]. In: Stratospheric Proceedings and Their Role in Climate, Mar del Plata, Novembro 2000.
- Slusser J., Gibson J., Bigelow D., Kolinski D., Mou W., Koeing G., and Beaubien A.. 1999. Comparison of column ozone retrievals by use of an UV multifilter rotating shadow-band radiometer with those from Brewer and Dobson spectrophotometers. *Applied Optics* Vol. 38, Nº. 9, March 1999.
- Taha, G., Box, G. P., New method to inferring total ozone and aerosol optical thickness from multispectral extinction measurements using eigenvalue analysis. *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, Nº. 20, p. 3085-3088, Oct. 1999.
- Takeshita, S. H. Miyaoka, M. Ejiri, and M. Sasaki, Solar ultraviolet irradiance in ozone hole region in Antarctica, *Nankyoku Shiryo (Antarctic Record)*, Vol. 45, Nº 1, p.1-12, 2001.
- Tevini, M., Molecular biological effects of ultraviolet radiation. In: Tevini, M. ed. *UV-B radiation and ozone depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials*. Boca Raton: Lewis Publishers, cap. 1, p. 1-15, 1993.
- Van der Leun, J. C., Gruijl, F. R., Influences of ozone depletion on human and animal health. In: Tevini, M. ed. *UV-B radiation and ozone depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials*. Boca Raton: Lewis Publishers, cap. 4, p. 95 - 123, 1993.
- Whitten, R. C., Prasad, S. S., Ozone photochemistry in the stratosphere. In: Whitten, R. C.; Prasad, S. S. ed. *Ozone in the free atmosphere*. New York: Van Nostrand Reinhold. 1985. cap. 2, p. 81 - 122.
- World Health Organization (WHO). *Ultraviolet radiation. Environmental Health Criteria 160*, Geneva, 1994.