



## COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA QUANDO DA OCORRÊNCIA DOS EVENTOS DE EFEITOS SECUNDÁRIOS DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE O SUL DO BRASIL DOS DIAS 16/10/2003 E 28/09/2008

Naiara Tatiane Hupfer [1]; Elenice Kall [1]; Lucas Vaz Peres [1]; Damaris Kirsch Pinheiro [2]; Nelson Jorge Schuch [1]; Neusa Maria Paes Lemes [3].

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT em colaboração com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

[2] Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM; Santa Maria, RS, Brasil.

[3] Centro Regional do Nordeste – CRN/CCR/INPE-MCT; Natal, RN, Brasil.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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.

### Resumo

A análise da radiação ultravioleta nos dias em que ocorreram eventos dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Sul do Brasil é o objetivo do trabalho. O estudo de caso foi realizado para os dias 16 de outubro de 2003 e 28 de setembro de 2008. Verificaram-se os dias em que houve a ocorrência de eventos dos efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico na região central do Rio Grande do Sul, escolhendo-se dois dias nos quais inexistia a incidência de nuvens. Realizou-se a análise da integral diária da radiação ultravioleta para os dias selecionados a fim de se comprovar o aumento da radiação ultravioleta com a chegada de massas de ar pobre em ozônio vindas da Antártica. Para avaliar os efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico foram usados dados coletados do Espectrofotômetro Brewer, instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra/RS (29,42°S, 53,87°O). Realizou-se análise de Vorticidade Potencial (VP), usando GrADS (*Grid Analysis and Display System*) com dados reprocessados do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), e trajetórias retroativas de massas de ar, usando o modelo HYSPLIT da NOAA. Sendo que para a análise da radiação ultravioleta foram utilizados os dados do Espectrofotômetro Brewer. Da correlação da radiação ultravioleta com os eventos dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico percebe-se que a incidência de radiação ultravioleta é inversamente proporcional a coluna total de ozônio.

### Introdução

O gás ozônio protege todos os organismos vivos do excesso de radiação ultravioleta (UV), absorvendo-a e atuando como um gás do efeito estufa com ação direta quando na troposfera [1][2]. Porém, cerca de 90% do ozônio encontra-se na estratosfera, onde sofre ação de radicais como cloro e

bromo que desencadeiam complexas seqüências de reações químicas que levam a destruição da camada de ozônio [3]. A camada de ozônio garante um escudo protetor contra a radiação UVB, portanto, com sua progressiva diminuição pode ocorrer o aumento da intensidade da radiação UVB [4].

A radiação ultravioleta que não é filtrada pela camada de ozônio atinge a superfície terrestre e é responsável por inúmeros danos aos sistemas biológicos. A exposição em curto prazo da radiação UV-B pode causar redução da síntese da vitamina D no organismo humano, enquanto que a exposição em longo prazo pode causar câncer de pele, catarata e supressão do sistema imunológico, além de danos à fauna e flora terrestre [5].

No continente antártico detecta-se uma considerável diminuição do conteúdo total de ozônio durante as primaveras [6]. Esta diminuição é conhecida como “buraco” na camada de ozônio, sendo sazonal e manifestando-se no início da primavera austral até novembro de cada ano. Porém, seus efeitos não se limitam somente à região antártica [7], apresentando efeitos secundários do “Buraco de ozônio Antártico” em regiões de baixas latitudes como a Região Sul do Brasil [8].

O trabalho tem por objetivo correlacionar os efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Sul do Brasil com a radiação ultravioleta, sendo analisados os eventos dos dias 16/10/2003 e 28/09/2008.

### Metodologia

Desde 1992, diversos equipamentos de medida de ozônio e radiação ultravioleta foram instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE-MCT, (29,42°S, 53,87°O), em São Martinho da Serra para o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico (PMOA) criado por Nelson Jorge Schuch, no âmbito da parceria entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT, o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM e o Laboratório de Ozônio do INPE – LO/DGE/CEA/INPE-MCT.

Os dados utilizados no trabalho foram coletados pelo Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul. A análise da radiação ultravioleta é feita através da integral diária incidente no solo, referente aos meses de outubro de 2003 e setembro de 2008. Para a redução e análise dos dados de UV fornecidos pelo

Brewer, utilizou-se o programa *Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program*, desenvolvido pelo Eng. Martin Stanek. Programa utilizado para processamento de dados de UV obtidos com Espectrofotômetros Brewers, o qual permite a conversão dos dados em irradiância e integral diária. A versão utilizada para análise foi a UVBrewer 2.1.

Foram utilizados na análise os dados da coluna total de ozônio dos instrumentos Espectrofotômetro Brewer, Espectrômetro TOMS, e dados do instrumento OMI, que vem substituindo os dados do TOMS, desde 2006.

Analísaram-se os eventos de baixa concentração na coluna total de ozônio citados porque nestes dias a coluna total de ozônio atingiu um valor inferior à média climatológica do mês menos 1,5 do desvio padrão, considerado limite para análise de correlação com o fenômeno do "Buraco de Ozônio Antártico", como estabelecido em trabalhos anteriores [9].

Para confirmar se são eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico fez-se uma associação da queda do ozônio estratosférico sobre o Observatório Espacial do Sul com a chegada de massas de ar externas na região central do Rio Grande do Sul e se a origem dessas massas de ar, pobres em ozônio, era de origem polar. Para tal identificação, foram utilizados mapas de vorticidade potencial e trajetórias retroativas de massas de ar, além da análise da coluna total de ozônio via imagens de satélite através do Espectrômetro TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*). Para gerar os mapas de vorticidade potencial (PV) foi utilizado o programa GrADS (*Grid Analysis and Display System*), com as coordenadas  $u$  e  $v$  do vento e a temperatura, para diferentes níveis de pressão, como parâmetros, obtidos da base de dados de *reanalysis* da NCEP/NCAR [10]. As trajetórias retroativas isentrópicas das massas de ar foram realizadas através do modelo HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*), desenvolvido pelo *Air Resources Laboratory* do NOAA. A trajetória das massas de ar foi obtida na altitude de 24.000 m, máximo da camada sobre o Observatório.

## Resultados

Analísando-se primeiro o dia 16/10/2003 quando o valor da coluna total de ozônio foi de 258,5 UD, sendo a média climatológica do mês  $289,6 \pm 7,7$  UD, e o valor limite para análise de 278,0 UD. Com base nesta diminuição na coluna total de ozônio sobre o Observatório Espacial do Sul para o dia em estudo, verificou-se que a imagem fornecida pelo Espectrofotômetro TOMS (Figura 1d) mostra uma entrada de massa de ar pobre em ozônio sobre a região sul do Brasil. Isto é confirmado pelas trajetórias retroativas isentrópicas de massas de ar (Figura 1c), demonstrando-se assim a chegada de uma massa pobre em ozônio vinda da região polar. Analísou-se os mapas de vorticidade potencial, gerado através do GrADS, para os dias 14 (Figura 1a) e 16 (Figura 1b) de outubro de 2003, os quais mostram um aumento de vorticidade potencial absoluta sobre o Rio Grande do Sul, confirmando a origem polar da massa de ar. Quando ocorre um aumento de vorticidade potencial absoluta é indicação de origem polar da massa de ar, enquanto que uma diminuição indica origem equatorial [7].

Entretanto, se considerando o dia 28 de setembro de 2008, cujo valor da coluna total de ozônio foi de 275,2 UD, sendo a média climatológica do mês  $295,3 \pm 8,3$  UD, e o valor limite de queda de 282,9 UD. A coluna total de ozônio fornecida pelo Espectrômetro TOMS é mostrada na Figura 2d, onde se visualiza a entrada de massa de ar pobre em ozônio sobre a região sul da América do Sul. Para verificar se o evento chegou ao sul do Brasil, calcularam-se as trajetórias retroativas isentrópicas de massas de ar (Figura 2c), evidenciando-se a origem Antártica dessas massas de ar e a chegada ao sul do Brasil. Confirmando, analisou-se os mapas de vorticidade potencial, gerado através do GrADS, para os dias 27 (Figura 2a) e 28 (Figura 2d) de setembro de 2008, indicando um aumento de vorticidade potencial absoluta sobre o Sul do Brasil.

Confirmada a ocorrência dos eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Observatório Espacial do Sul, para os dias 16/10/2003 e 28/09/2008, realizou-se a análise do comportamento da radiação ultravioleta observada nestes dias através do valor da integral diária de radiação ultravioleta que é medida em  $\text{Joule/m}^2$  incidente na região central do Rio Grande do Sul, conforme Figura 3 e Figura 4, respectivamente. Para o dia 16/10/2003, a radiação UVB foi de  $38934,0 \text{ J/m}^2$ , sendo superior aos valores normais do referente mês. Para o dia 28/09/2008, a radiação UVB foi de  $32883,8 \text{ J/m}^2$ .

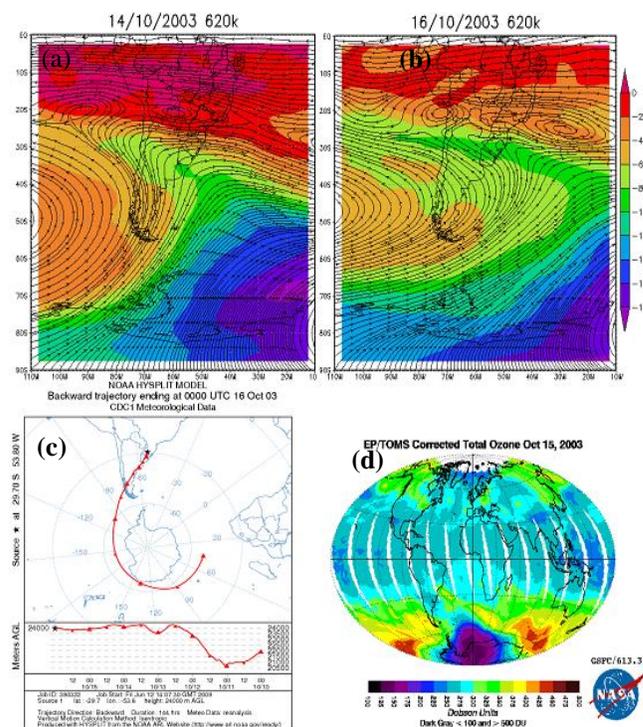


Fig.1: Vorticidade potencial com campos de vento sobrepostos em superfícies isentrópicas indicando o possível movimento das massas de ar em (a) no dia 14 de outubro de 2003 e em (b) no dia 16 de outubro de 2003 a 620K. Em (c) Trajetória retroativa das massas de

ar calculada pelo modelo HYSPLIT para o dia 16 outubro de 2003 e em (d) imagem do satélite TOMS mostrando o deslocamento de massa de ar originada do Buraco de Ozônio Antártico para o Sul do Brasil, no dia que antecede a queda de ozônio, dia 15 de outubro de 2003.

No primeiro dia analisado (16/10/2003) ficou evidente um uma maior radiação ultravioleta na superfície terrestre em relação aos demais valores do mês de outubro de 2003 e a setembro de 2008, sendo que no dia 17/10/2003 a radiação UV incidente continuou alta. No segundo dia analisado (28/09/2008), verificou-se um valor incidente menor que no ano de 2003, porém mais de 10 % superior aos maiores valores obtidos no mês de setembro de 2008. A radiação UV incidente no evento de 2003 foi cerca de 15 % superior a de 2008, devido, em parte, a coluna total de ozônio menor em 16/10/2003 (258,5 UD) do que em 28/09/2008 (275,2 UD), evidenciando assim que a radiação UV incidente é inversamente proporcional à coluna total de ozônio. Pois quanto menor a coluna total de ozônio, maior será a quantidade de radiação que atingirá a superfície terrestre. Deve-se ressaltar, entretanto, que o evento de 2003 ocorreu mais próximo do máximo solar, enquanto que 2008 mais próximo do mínimo da atividade solar. Como a atividade solar afeta pouco a radiação ultravioleta do tipo B incidente, credita-se este aumento, em grande parte, a diminuição do ozônio.

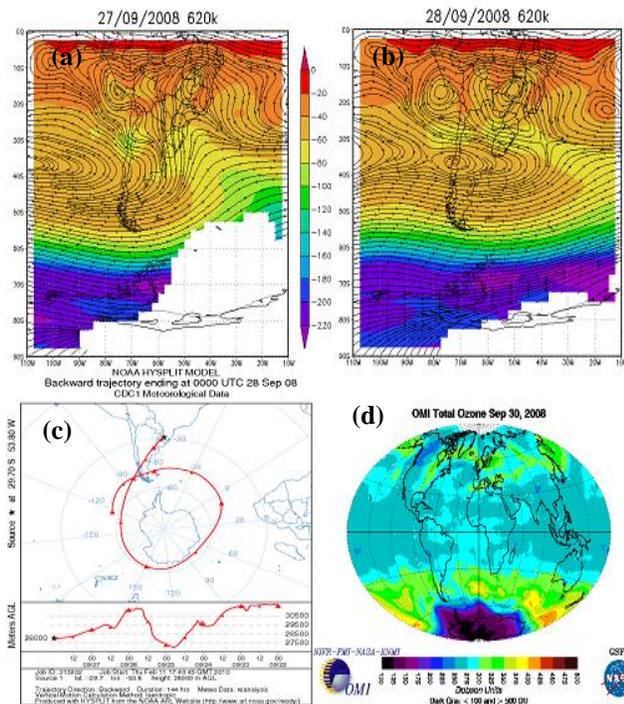


Fig.2: Vorticidade potencial com campos de vento sobrepostos em superfícies isentrópicas indicando o possível movimento das massas de ar em (a) no dia 27 de setembro de 2008 e em (b) no dia 28 de setembro de 2008 a 620K. Em (c) Trajetória retroativa das massas de ar calculada pelo modelo HYSPLIT para o dia 28 setembro de 2008 e em (d) imagem do satélite OMI

mostrando o deslocamento de massa de ar originada do Buraco de Ozônio Antártico para o Sul do Brasil, no dia que antecede a queda de ozônio, dia 30 de setembro de 2008.

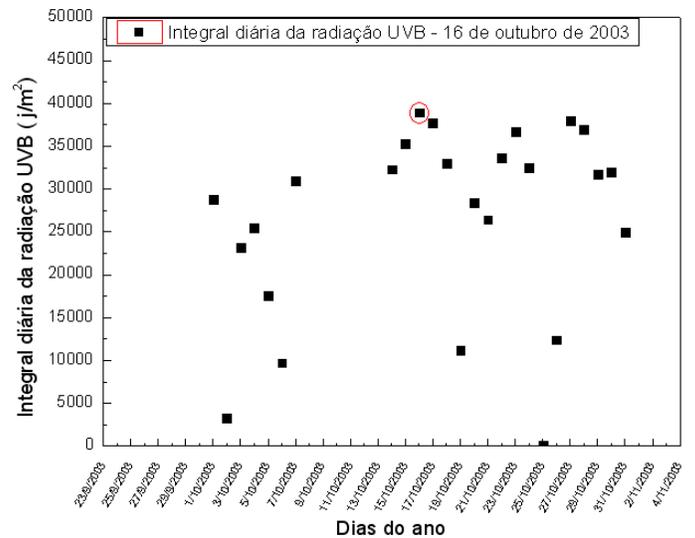


Fig. 3: Análise da integral diária da radiação ultravioleta UVB para o mês de outubro de 2003 no Observatório Espacial do Sul.

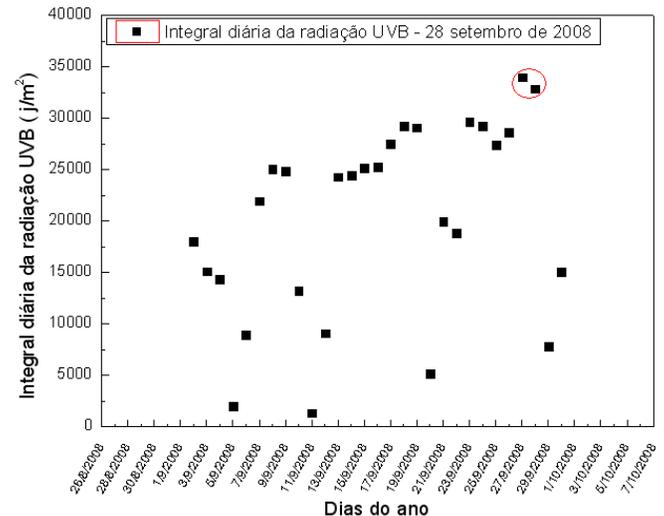


Fig. 4: Análise da integral diária da radiação ultravioleta UVB para o mês de setembro de 2008 no Observatório Espacial do Sul.

**Conclusão**

A correlação da radiação ultravioleta quando da ocorrência dos eventos de efeitos secundários do buraco de ozônio antártico sobre o sul do Brasil dos dias 16/10/2003 e 28/09/2008 mostrou-se comparável e válido para obter uma relação entre a radiação ultravioleta e a queda do ozônio estratosférico. Utilizou-se a integral diária de radiação ultravioleta UVB, dados do Brewer, imagens de satélite do TOMS e OMI, trajetórias

retroativas isentrópicas de massas de ar e mapas de vorticidade potencial para mostrar que houve os eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico. Dos resultados obtidos foi possível observar que, para os eventos analisados, houve um aumento da radiação ultravioleta solar incidente em consequência dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Observatório Espacial do Sul.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, PIBIC/UFSM – CNPq/MCT, CAPES e FIPE SÊNIOR/UFSM pela concessão de bolsas e a NASA/TOMS e NCEP/NCAR pela disponibilidade dos dados. Agradecimentos ao apoio do Projeto ATMANTAR do Ano Polar Internacional processo nº52.0182/2006-5, PROANTAR/MCT/CNPq.

### Referências Bibliográficas

- [1] MOHNEN, V.A.; WALTER, G.; WANG, W.C. "The potential role of tropospheric ozone as a climate gas". WMO Bull. 44:38-42, 1995.
- [2] PRATHER, M. et al. "Atmospheric chemistry and greenhouse gases". In: Climate Change 2001 – the scientific basis, HOUGHTON, J.T. et al., eds. Cambridge University Press, pp 239–287, 2001.
- [3] SCHROPE, M. "Successes in fight to save ozone layer could close holes by 2050". Nature. v.408, pp. 627, 2000.
- [4] KIRCHHOFF, V. W. J. H. Ozônio e Radiação UV-B. Transtec Editora, São José dos Campos, 1995.
- [5] KRZYSCIN, J. W.; JAROSLAWSKI, J.; SOBOLEWSKI, P. "On an improvement of UV index forecast:UV index diagnosis and forecast for Belsk, Poland, in Spring - Summer 1999". Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. Vol. 63, p 1593-1600, 2001.
- [6] FARMAN, J. C.; GARDINER, B. G.; SHANKLIN, J., D. "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction". Nature, v. 315, pp. 207-210, 1985.
- [7] SEMANE, N.; BENCHERIF, H.; MOREL, B.; HAUCHECORNE, A.; DIAB, R. D. "An unusual stratospheric ozone decrease in Southern Hemisphere subtropics linked to isentropic air-mass transport as observed over Irene (25.5° S, 28.1° E) in mid-May 2002". Atmos. Chem. Phys., v. 6, pp. 1927-1936, 2006.
- [8] KIRCHHOFF, V. W. J. H.; SCHUCH, N.J.; PINHEIRO, D. K.; HARRIS, J.M. "Evidence for an Ozone Hole Perturbation at 30° South". Atm. Environ., 30(9), pp. 1481-1488, 1996.
- [9] DA SILVA, C. L. Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região sul do Brasil (Trabalho Conclusão de Curso em Física) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- [10] NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION/NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH, parâmetros atmosféricos disponíveis em <<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>>.