



## Identificação de Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico no Sul do Brasil entre 1997 a 2007.

Nadiara Pereira [1]\*, Neusa Paes Leme [3], Nelson J. Schuch [1], Damaris K. Pinheiro [2], Ana Marcelli Soares [2].

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/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/INPE-MCT; Natal, RN, Brasil.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<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.

### Abstract

The Antarctic continent shows a significant decrease of the total ozone content during the austral spring, from where air mass with poor ozone content can move generating secondary effects of the Antarctic Ozone Hole in low latitudes. The total ozone column data from Brewer Spectrophotometer is monitored at the Southern Space Observatory - OES/CRS/INPE-MCT (29.42° S, 53.87°W, 480 m a.s.l.), São Martinho da Serra, RS, Brazil, in a cooperation between the Southern Regional Space Research Center – CRS/INPE–MCT with the Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/CT-UFSM, and the Ozone Laboratory – LO/DGE/CEA/INPE – MCT. Ozone data from TOMS on board NASA Satellite are also used in this analysis. The methodology is based in analysis of potential vorticity on isentropic surfaces for the period 1997 to 2007. The obtained results show the influence of ozone poor content air masses on the central region of the Rio Grande do Sul state, in southern Brazil.

### Introdução

Apesar de ser um gás com pequena abundância, o ozônio é essencial para a vida e o balanço energético do planeta (Salby, 1995), tendo sua máxima concentração na Estratosfera (Slusser et al. 1999) onde age como forte absorvedor da radiação ultravioleta do tipo B tendo seu máximo de absorção nos comprimentos de onda na faixa Hartley, de 200 a 310 nm, (Dobson, 1968).

O continente Antártico apresenta uma significativa diminuição do conteúdo total de ozônio durante as primaveras no Hemisfério Sul, devido ao vórtice que se forma na região, resultado do rigoroso inverno, desenvolvendo um núcleo muito frio que prende o ar na região não deixando massas de ar contendo ozônio provenientes do equador entrar na região (Farman et al. 1985). Com uma elevada taxa de fotólise de halocarbonetos, devido a entrada de radiação no continente Antártico no início de agosto, ocorre uma alta

destruição de ozônio atmosférico diminuindo a sua coluna atmosférica a menos de 220 UD, fenômeno conhecido como Buraco de Ozônio Antártico (Solomon, 1999). Massas de ar pobres em ozônio podem se desprender do vórtice polar para baixas latitudes causando uma diminuição temporária no conteúdo total de ozônio (Kirchoff et al. 1996), fenômeno conhecido como Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico. A identificação desses efeitos pode ser realizada através da análise da vorticidade potencial em superfícies isentrópicas (Semane et al, 2006).

Superfícies isentrópicas são superfícies adiabáticas, onde a temperatura potencial se mantém constante enquanto a pressão e temperatura variam. Assim como a temperatura potencial, a vorticidade potencial (PV), pode ser utilizada para representar movimentos atmosféricos, podendo funcionar como um traçador dinâmico estratosférico que tem sua distribuição horizontal dependente somente da temperatura e dos ventos em superfícies isentrópicas (Holton, 2004). Dessa forma é possível a visualização do caminho de massas de ar que possam vir a alterar o conteúdo total de ozônio visto que o ar estratosférico tende a se manter em uma superfície isentrópica por alguns dias. Quando há um aumento nos valores de PV significa que é devido ao transporte de parcelas de ar dos pólos sendo que a diminuição ocorre com o ar proveniente do equador.

Este trabalho tem por objetivo caracterizar os efeitos secundários do “buraco de ozônio Antártico” na região central do estado do Rio Grande do Sul, para os eventos ocorridos no período de 1997 a 2007, através da análise isentrópica com os campos de vento, além de imagens de satélite e trajetórias de massas de ar que podem ajudar a comprovação desses efeitos.

### Metodologia

Dados da coluna total de ozônio dos Espectrofotômetros Brewer: MKIV # 081 (1992 - 2000), MKII # 056 (2000 - 2002) e MKIII # 167 (2002 a 2007) vêm sendo monitorados desde 1992 em Santa Maria e após 1995, transferidos ao Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/NPE – MCT (29,42°S, 53,87°O), em São Martinho da Serra, RS, no âmbito da cooperação entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE–MCT com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT–UFSM e o Laboratório de Ozônio da Divisão de Geofísica Espacial –

DGE/CEA/INPE – MCT, em São José dos Campos, SP. O Brewer mede a coluna total de ozônio nos comprimentos de onda 306,3; 310,1; 313,5; 316,8 e 320,1 nm.

São utilizados na análise os dados da coluna total de ozônio do instrumento TOMS, que mede a coluna total de ozônio em dois comprimentos de onda específicos: 317,5 e 331,2 nm, e dados do instrumento OMI, que vem substituindo os dados do TOMS, desde 2006.

Superfícies isentrópicas são geradas no GrADS (Grid Analysis and Display System), programa para visualização e análise de dados de Ciências da Terra. GrADS, trabalha com dados de modelos em 4 dimensões, onde as dimensões são usualmente latitude, longitude, nível e tempo, utilizado para visualizar a variação da vorticidade potencial em superfície isentrópicas. Os dados utilizados na análise isentrópica são Parâmetros diários das componentes meridionais (*v*-wind) e zonais (*u*-wind) dos ventos e de temperatura para os níveis de pressão: 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 mbar, fornecidos pelo National Centers for Environmental Prediction/ Atmospheric Research (NCEP/NCAR), disponível em:

<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>.

Trajetórias atmosféricas são produzidas usando o modelo HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) desenvolvido em conjunto pela NOAA e o Australia's Bureau of Meteorology, que pode ser rodado interativamente na *web*. Este programa serve como uma confirmação para a análise isentrópica, complementando a visualização da origem das massas de ar, disponível em: <http://www.arl.noaa.gov/ready/open/traj.html>.

## Resultados

Dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer foram analisados para o período de 1997 a 2007. As descontinuidades devido aos dias nublados ou com chuva, onde o espectrofotômetro não fez medidas válidas pelo método de DS (Direto ao Sol), ou ainda, em período de mau funcionamento e ou de manutenção, são completadas com a utilização de dados de ozônio obtidos pelo TOMS e OMI, na mesma latitude do Observatório Espacial do Sul. Isso é possível devido à boa correlação entre os dados dos respectivos equipamentos.

A partir da análise dos dados verificou-se que nos meses de agosto a novembro, período em que o “buraco de ozônio Antártico” esta aberto ocorrem eventuais quedas da coluna total de ozônio, medidas tanto pelo Brewer como para o TOMS e OMI, principalmente nos meses de setembro e outubro, período em que as médias climatológicas de ozônio para o OES são as mais altas. Para o período de análise, obtiveram-se como resultados para as médias de concentração da coluna total do ozônio para setembro:  $296,99 \pm 11,13$  UD sendo que para outubro foi obtido o valor de  $292,71 \pm 9,45$  UD, período que corresponde também à maior instabilidade no vórtice polar, facilitando a liberação de massas de ar pobres em ozônio que podem atingir a região sul Brasileira, ocasionando o conhecido fenômeno: “efeitos

secundários do buraco de ozônio Antártico”. Eventos de baixa concentração na coluna total de ozônio, isto é, quando a medida atinge um valor menor ou igual à média menos 1,5 do desvio padrão ( $\mu - 1,5\sigma$ ) considera-se que esta ocorrendo um evento de baixa, podendo ou não ser considerado com o fenômeno do “buraco de ozônio Antártico”, como estabelecido em outros trabalhos científicos (da Silva, 2008). No período de 1997 a 2007, entre os meses de setembro e outubro, identificou-se 31 eventos de queda na coluna total de ozônio no OES, dos quais 19 podem ser classificados como “efeitos secundário do Buraco de Ozônio Antártico”, através das análises das imagens de satélite, das trajetórias de massas de ar e da vorticidade potencial em superfícies isentrópicas. Dos 19 eventos, 4 ocorreram em setembro e 15 no mês de outubro, sendo que 11 eventos não sofreram influência de massas de ar polares, o que pode ser identificado como uma influência equatorial, visto que no equador os níveis de ozônio são mais baixos. Somente em um dos eventos não se pode confirmar a origem das trajetórias das massas de ar. Entre os eventos analisados são apresentados, como exemplos, três eventos de “efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico” ocorridos em épocas diferentes dos analisados comprovando os resultados apresentados da influência de massas de ar polar na região do OES.

Análises relativas ao evento ocorrido no dia 23 de setembro de 2000, quando se observou uma concentração de ozônio de 263.4UD, são apresentadas nas figuras 1 e 2. Esse é um dos eventos clássicos que comprova a ocorrência de um “efeito secundário do Buraco de Ozônio Antártico” no Sul do Brasil. Através da análise de vorticidade potencial em superfície isentrópica (figura 1) observa-se um aumento na vorticidade no dia em que antecede, e após, no dia da observação da baixa da medida da concentração do ozônio atmosférico. A trajetória de massa de ar (figura 2a) e a imagem de satélite (figura 2b) complementam a análise mostrando a origem da trajetória da massa de ar e sua aproximação da região sul do Brasil, respectivamente.

As análises para o evento do dia 12 de outubro de 2005 em que o Brewer mediu uma concentração de ozônio de 275.5UD são apresentadas nas figuras 3 e 4. Neste evento fica evidenciada a influência do Buraco de Ozônio Antártico através da análise isentrópica para os dias 11 (figura 3a) e 12 (figura 3b), através da trajetória de massa de ar (figura 4a) e com a imagem de satélite (figura 4b).

Outro evento de “efeito secundário do Buraco de Ozônio Antártico” ocorrido no dia 8 de outubro de 2007 com uma coluna total de ozônio chegando a medir 267.58UD, é representado nas figuras 5 e 6, com a análise isentrópica na figura 5 para o dia 7 (figura 5a) e para o dia 8 (figura 5b), comprovando o transporte de massas de ar polar para o Sul do Brasil, com a trajetória de massa de ar (figura 6a) e imagem de satélite (figura 6b) que complementam a análise.

## Conclusões

Através da análise isentrópica os dias em que se observa aumento de vorticidade potencial na região sul do Brasil têm fortes indícios de que a origem das massas de ar

pobres em ozônio é proveniente da região Antártica, o que fica ainda mais evidente com o auxílio das trajetórias das origens de massas de ar. Nesta análise observou-se que grande parte dos eventos de queda nas medidas de ozônio medidas no Observatório Espacial do Sul, nos meses de setembro e outubro, para o período de 1997 a 2007 foram considerados “efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico”. Nesses meses é mais freqüente a ocorrência desses eventos visto que o Vórtice começa a ficar mais instável devido ao início do aquecimento da região Antártica, podendo liberar massas de ar do seu interior.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT. Agradecimento especial à equipe NASA/TOMS e à NCEP/NCAR pela disponibilização dos dados.

### Referências

- SALBY, M. L. **Fundamentals of atmospheric physics**. International geophysics series, v. 61, ed. Academic Press, California, cap. 1, p. 1-54, 1995.
- SLUSSER, J.; GIBSON, J.; BIGELOW, D.; KOLINSKI, D.; MOU, W.; KOENIG, G. & BEAUBIEN, A. Comparison of column ozone retrievals by use of an UV multifilter rotating shadow-band radiometer with those from Brewer and Dobson spectrophotometers. **Applied Optics**, v. 38(9), p. 1543-1551, 1999
- DOBSON, G. M. B. – Ozone in the Atmosphere, In: DOBSON, G.M.B. **Exploring the Atmosphere**. Oxford: University Press, p. 111-136, 1968
- FARMAN, J. C.; GARDINER, B. G. and SHANKLIN, J. D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. **Nature**, v. 315, p. 207-210, 1985.
- SOLOMON, S. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 3, p. 275-316, 1999.
- KIRCHHOFF, V. W. J. H.; SCHUCH, N. J.; PINHEIRO, D. K.; Harris, J. M. Evidence for an ozone hole perturbation at 30° south. **Atmospheric Environment**, v. 33, N° 9, p. 1481-1488, 1996.
- SEMANE, N.; BENCHERIF, H.; MOREL, B.; HAUCHECORNE, A. and 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, p. 1927-1936, 2006.
- HOLTON, J. R., **An introduction to Dynamic Meteorology**, Elsevier Academic Press, Fourth Edition, 535 p., San Diego, USA, 2004.

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.

**Evento do dia 23 de setembro de 2000**

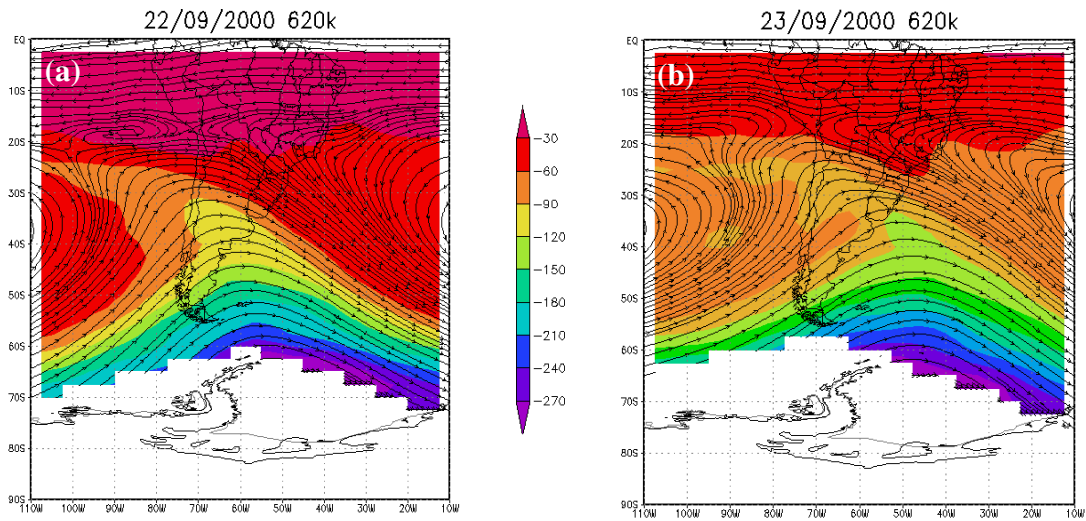


Fig. 1 - Vorticidade potencial com campos de vento sobrepostos em superfícies isentrópicas indicando o possível movimento das massas de ar em (a) no dia 22 de setembro de 2000 e em (b) no dia 23 de setembro de 2000 a 720K

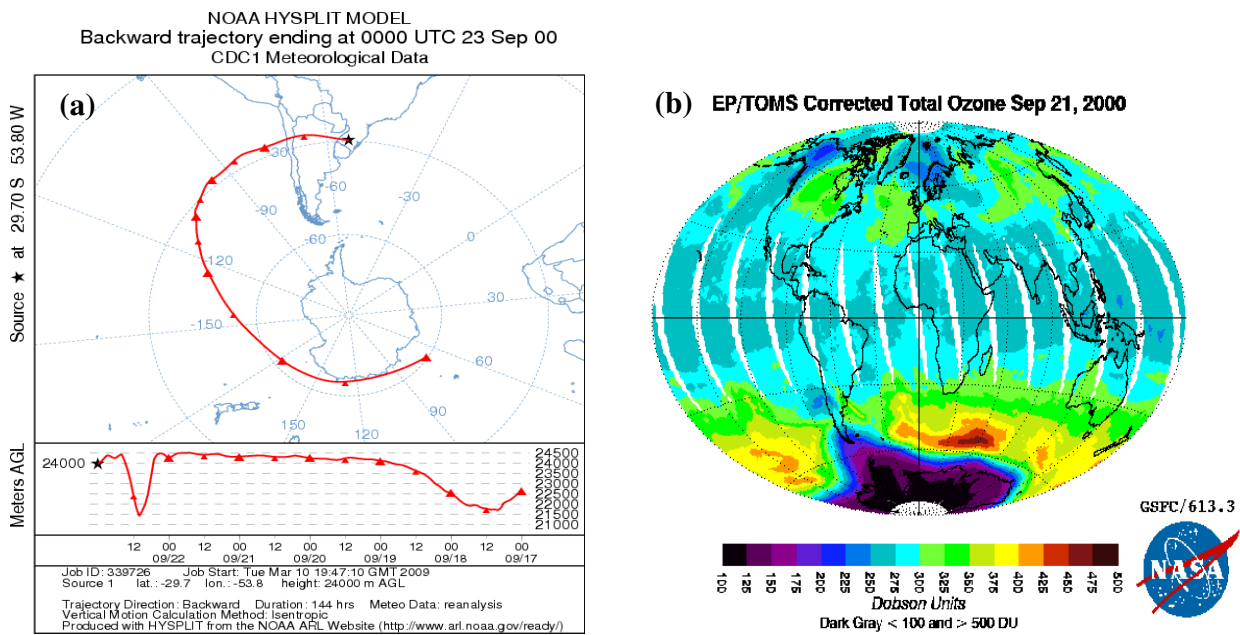


Fig. 2 - (a) Origem da trajetória das massas de ar para o dia 23 e 5 dias anteriores a 23 de setembro de 2000 e em (b) imagem de satélite mostrando a liberação, no dia 21 de setembro de 2000, de uma massa de ar do Buraco de Ozônio Antártico.

**Evento do dia 12 de outubro de 2005**

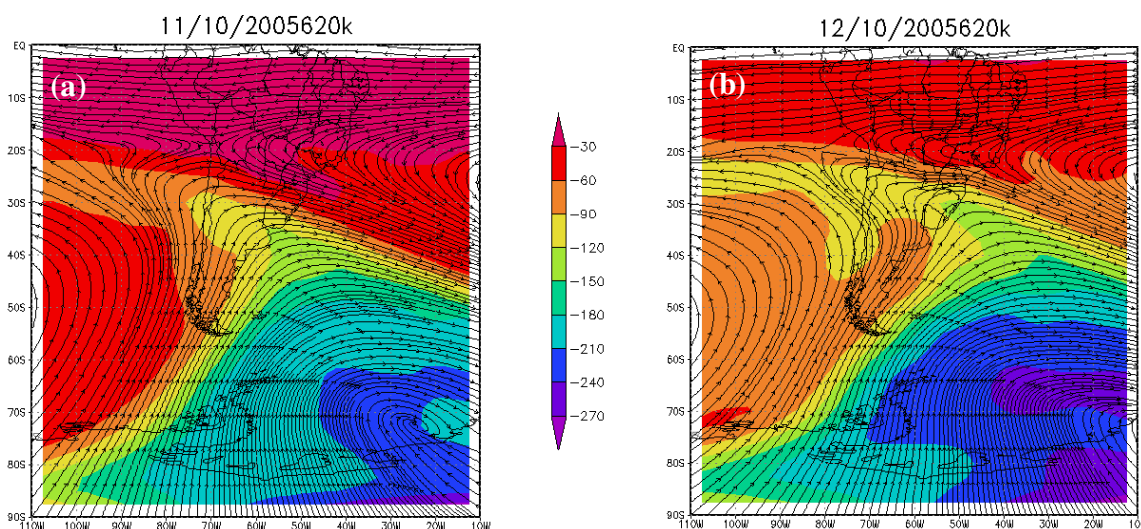


Fig. 3 - Vorticidade potencial com campos de ventos sobrepostos em superfícies isentrópicas indicando o possível movimento das massas de ar em (a) no dia 11 de outubro de 2005 e em (b) no dia 12 de outubro de 2005 a 620K.

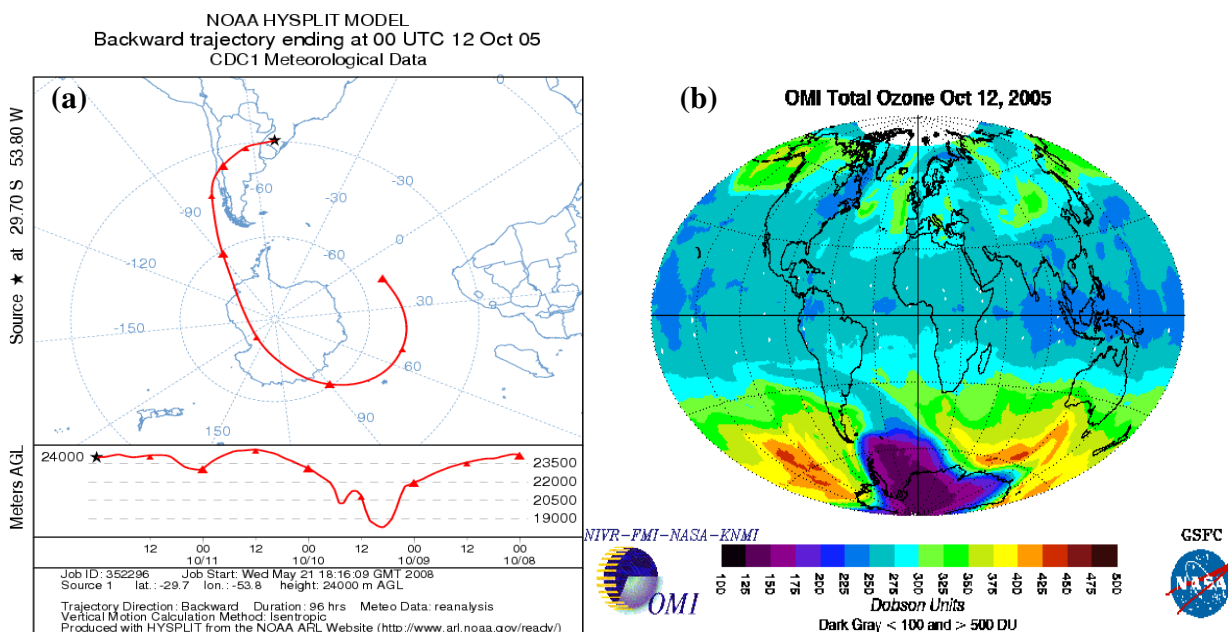


Fig. 4 - (a) Origem da trajetória das massas de ar para o dia 12 e para os 3 dias anteriores de 12 de outubro de 2005 e em (b) imagem de satélite mostrando o deslocamento, no dia 12 de outubro de 2005, de massa de ar do Buraco de Ozônio Antártico para o Sul do Brasil.



**Evento do dia 8 de outubro de 2007**

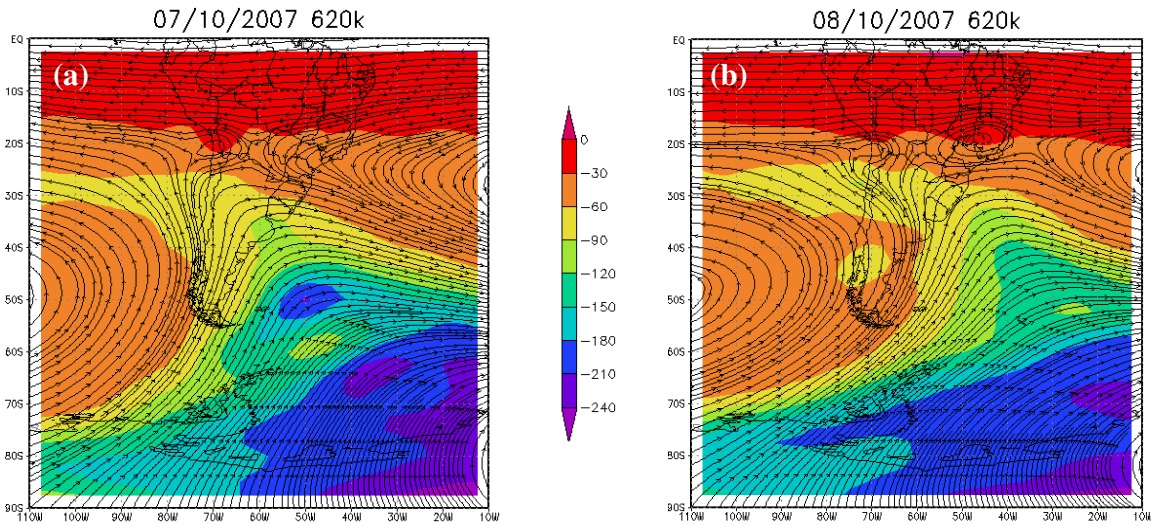


Fig.5 - Vorticidade potencial com campos de vento sobrepostos em superfícies isentrópicas indicando o possível movimento das massas de ar em (a) no dia 07 de outubro de 2007e em (b) no dia 08 de outubro de 2007 a 620K.

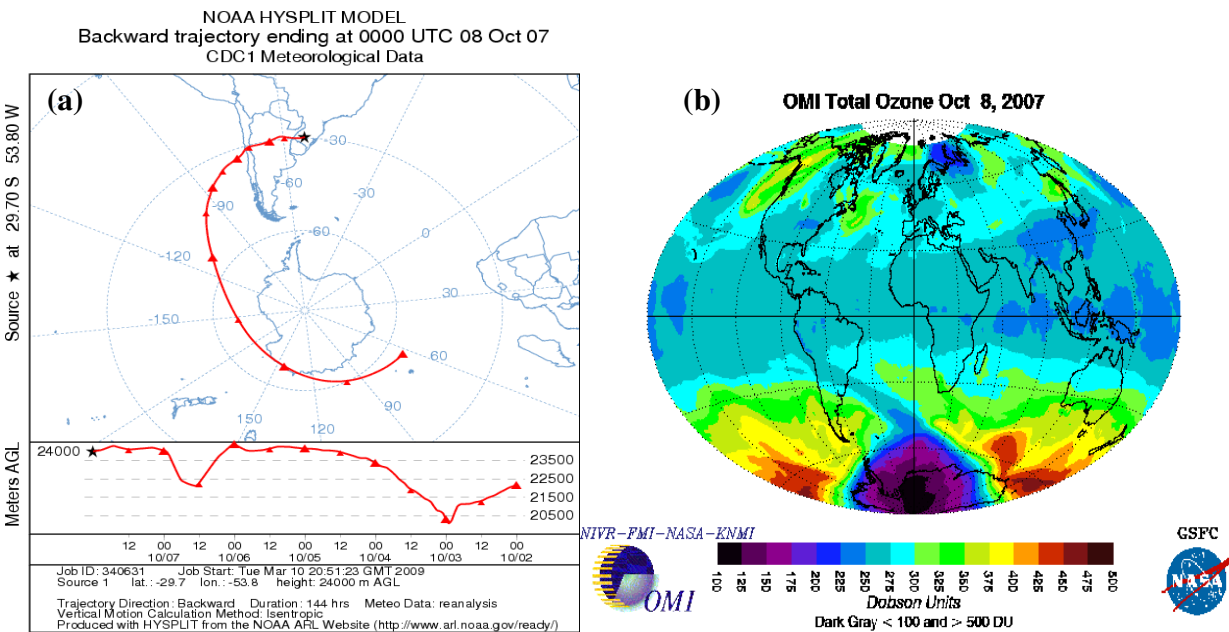


Fig. 6- (a)Origem da trajetória das massas de ar para o dia 08 e para os 5 dias anteriores de 8 de outubro de 2007 e em (b) imagem de satélite mostrando o deslocamento, no dia 8 de outubro de 2007, de massa de ar do Buraco de Ozônio Antártico para o Sul do Brasil.