



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DOS EVENTOS DE EFEITOS SECUNDÁRIOS
DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE O SUL DO BRASIL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

PROCESSO Nº 104229/2007-1

Nadiara Pereira - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
**Laboratório de Troposfera – Estratosfera, Radiação Ultravioleta e
Ozônio Atmosférico.**

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE - MCT

E-mail: nadipr@gmail.com

Dr^a. Neusa Paes Leme – Orientadora
Divisão de Geofísica Espacial
DGE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT

E-mail: nleme@dge.inpe.br

Santa Maria, julho de 2008

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROJETO

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DOS EVENTOS DE EFEITOS
SECUNDÁRIOS DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE O
SUL DO BRASIL

PROCESSO Nº 104229/2007-1

Relatório elaborado por Nadiara Pereira relatando as atividades executadas
por:

Nadiara Pereira – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: nadipr@gmail.com

Dr^a. Neusa Paes Leme - Orientadora
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT
E-mail: nleme@dge.inpe.br

Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro – Co-Orientadora
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria
LACESM/CT - UFSM
E-mail: damariskp@gmail.com

Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título: ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DOS EVENTOS DE EFEITOS SECUNDÁRIOS DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE O SUL DO BRASIL

Processo CNPq Nº: 104229/2007-1

Bolsista:

Nadiara Pereira

Curso de Meteorologia

Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE/UFSM

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Dr^a. Neusa Paes Leme

Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE – MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Troposfera - Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico - CRS/CIE/INPE - MCT

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE - UFSM, através do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT e do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM.



Grupo de Pesquisa
Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis



[Identificação](#)

[Recursos Humanos](#)

[Linhas de Pesquisa](#)

[Indicadores do Grupo](#)

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1992

Data da última atualização: 18/06/2008 11:32

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br

Damaris Kirsch Pinheiro - damaris@lacesm.ufsm.br

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo de Pesquisa - Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, Latitude: 29°26'24"S, Longitude: 53°48'38"W, Altitude 488m, em São Martinho da Serra, RS, colabora com pesquisadores do INPE(CEA e CPTEC), da USP(DM/ICB e IAG), do DBG/CB-UFRN, do LACESM-UFSM e internacionais: Japão (Universidades de Takushoku e Rikkyo) e EUA(NASA). Linhas de Pesquisas: CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS: OZÔNIO x RADIAÇÃO, ENERGIAS RENOVÁVEIS. Pesquisa: a composição, a estrutura, os processos físicos-químicos e dinâmicos, o potencial energético renovável e o transporte de energia, com medidas in situ e fenômenos: Atmosféricos, Biosféricos e Genéticos. O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico - PMOA, criado por Nelson Jorge Schuch em maio de 1992, executado em Convênio: CRS/CIE/INPE-MCT - LACESM/CT-UFSM, objetiva: a análise de sua concentração; o comportamento de sua "camada", a +/- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UV-A, UV-B); gases traçadores (NO₂ - SO₂ -CO₂); aerossóis - queimadas; dados físicos e meteorológicos de sondagens troposféricas e estratosféricas; precipitação de partículas na Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS. Pesquisa e monitoramento da Radiação Ultravioleta - UV: UV-A (400-320 nm), UV-B (320 e 280 nm). Pesquisa da sensibilidade à Radiação UV: de seu Espectro de Ação; obtenção de Dose; do Índice Ultravioleta, I-UV; efeitos biológicos da Radiação UV-B em: nível celular, humanos, animais, vegetais, ecossistemas aquáticos. Pesquisa de Energias Renováveis com ênfase nas fontes solar e eólica. Vice-Líderes: Damaris K. Pinheiro, Marcelo B. da Rosa, Enio B. Pereira.

Recursos humanos**Pesquisadores** **Total: 17**

André Passaglia Schuch	Lucymara Fassarella Agnez Lima
Augusta Maria Passaglia Schuch	Marcelo Barcellos da Rosa
Carlos Frederico Martins Menck	Marcelo Pizzuti Pes
Damaris Kirsch Pinheiro	Nelson Jesus Ferreira
Enio Bueno Pereira	Nelson Jorge Schuch
Ezequiel Echer	Neusa Maria Paes Leme
Fernanda de São Sabbas Tavares	Plínio Carlos Alvalá
Fernando Luís Guarnieri	Ricardo André Guarnieri
Fernando Ramos Martins	

Estudantes **Total: 12**

Alexandre Ceretta Dalla Favera	Luana Serafini dos Santos
Ana Marcelli Soares	Nadiara Pereira
Caitano Luiz da Silva	Pabulo Henrique Rampelotto
Daniel Vinicius Fiorin	Rodrigo Brackmann
Germano Possani	Sarah Lemes Freitas
Gustavo Pereira Guerra	Simone Spiazzi Favarin

Técnicos **Total: 4**

Anderson Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função

Linhas de pesquisa **Total: 2**

- [Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação](#)
- [Energias Renováveis](#)

Relações com o setor produtivo **Total: 0****Indicadores de recursos humanos do grupo**

Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	17
Estudante(s)	12
Técnico(s)	4



Linha de pesquisa

Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Nome do grupo: [Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis](#)

Palavras-chave: Efeitos Biológicos da Radiação Solar - UV; Espessuras Óticas de Aerossóis; Monitoramento Ambiental; Ozônio Estratosférico; Ozônio Troposférico; Radiação Solar e Ultravioleta - UV;

Pesquisadores:

[André Passaglia Schuch](#)
[Augusta Maria Passaglia Schuch](#)
[Carlos Frederico Martins Menck](#)
[Damaris Kirsch Pinheiro](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Fernando Luís Guarnieri](#)
[Lucymara Fassarella Agnez Lima](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Nelson Jesus Ferreira](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Neusa Maria Paes Leme](#)
[Plínio Carlos Alvalá](#)
[Ricardo André Guarnieri](#)

Estudantes:

[Ana Marcelli Soares](#)
[Caitano Luiz da Silva](#)
[Germano Possani](#)
[Gustavo Pereira Guerra](#)
[Luana Serafini dos Santos](#)
[Nadira Pereira](#)
[Pabulo Henrique Rampelotto](#)
[Sarah Lemes Freitas](#)
[Simone Spiazzi Favarin](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Ozônio; Ozônio;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Fenômenos Físico - Químicos da Atmosfera;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Influência na Radiação UV;

Setores de aplicação:

Produtos e serviços voltados para a defesa e proteção do meio ambiente, incluindo o desenvolvimento sustentado

Objetivo:

Monitoramento do Ozônio, da Radiação Solar e Ultravioleta, UV-A (400-320 nm), UV-B (320-280nm), efeitos biológico-genéticos, Aeronomia dos fenômenos físico-químico e dinâmica da Atmosfera Terrestre: análise da concentração do Ozônio; o comportamento de sua "camada", a +/- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UV-A, UV-B); gases traçadores; aerossóis; dados de sondagens troposféricas e estratosféricas; precipitação de partículas na AMAS. Vice-Líder: Damaris K. Pinheiro

AGRADECIMENTOS

A bolsista quer agradecer em primeiro lugar a Deus por estar guiando seus caminhos e ao apoio da família sempre presente na sua caminhada.

A orientadora Dr^a. Neusa Paes Leme, Pesquisadora da Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE – MCT em São José dos Campos/SP pela atenção e orientação que dedicou a bolsista durante o período de Projeto apesar da distância.

Ao Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch pelo fiel apoio nas atividades, sempre nos auxiliando quando necessário e apoiando seu crescimento e por acreditar na sua capacidade.

A co-orientadora Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro, pela ajuda no desenvolvimento do projeto, pelo seu incentivo e encorajamento a bolsista, pelos ensinamentos e correções quando necessário.

Aos colegas integrantes do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, pelo companheirismo e auxílio nas atividades.

Ao pessoal da administração do Centro Regional Sul de Pesquisas Espacial, pela atenção e colaboração.

RESUMO

O Projeto de Pesquisa tem por objetivo analisar a ocorrência dos eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o sul do Brasil durante o período de 1992 a 2007, utilizando-se dados gerados por Espectrofotômetros Brewer, dados de satélites do TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), a bordo de satélite da NASA e OMI (Ozone Monitoring Instrument) e dados re-analisados da NCEP (National Center for Environmental Prediction). 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/CIE/INPE – 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 e o Laboratório de Ozônio da Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM. O Brewer mede a coluna total de ozônio nos comprimentos de onda 306,3; 310,1; 313,5; 316,8 e 320,1 nm. Dados da coluna total de ozônio do instrumento TOMS, o qual mede a coluna total de ozônio em dois comprimentos de onda específicos, 317,5 e 331,2 nm, e do instrumento OMI, o qual vem, desde 2006, substituindo os dados do TOMS, são utilizados na análise. Dados de ozônio foram analisados para o período de 1992 a 2007. A partir desses dados pode-se perceber que, no período em que o “Buraco de Ozônio Antártico” está aberto, há eventos de queda na coluna total de ozônio na Região Sul do Brasil em relação às médias mensais, os quais são considerados efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico. Os efeitos secundários são causados por injeção de massa de ar pobre em ozônio proveniente diretamente da Região Antártica, provocando uma redução temporária na coluna total de ozônio na região. Foram traçadas trajetórias das massas de ar provenientes da Antártica e variáveis da NCEP foram usadas para gerar superfícies isentrópicas e campos de ventos sobre o Observatório Espacial do Sul comprovando a influência de massas de ar pobres em ozônio sobre o Sul do Brasil.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
RESUMO	8
SUMÁRIO	9
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS	11
CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	12
3.1 Camadas da Atmosfera.....	12
3.1.1 Troposfera.....	13
3.1.2 Estratosfera.....	13
3.1.3 Mesosfera.....	14
3.1.4 Termosfera.....	14
3.1.5 Exosfera.....	14
3.2 Ozônio.....	14
3.2.1 Distribuição e conteúdo do ozônio na atmosfera.....	15
3.2.2 Unidades Dobson.....	17
3.2.3 O Buraco de Ozônio.....	17
3.3 Temperatura Potencial.....	19
3.4 Vorticidade Potencial.....	20
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA	22
4.1 Equipamentos utilizados.....	22
4.1.1 Espectrofotômetro Brewer.....	22
4.1.2 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS).....	26
4.1.3 Ozone Monitoring Instrument (OMI).....	27
4.2 GrADS, Variáveis NCEP/NCAR e Análise Isentrópica.....	28
4.3 Trajetórias de massas de ar.....	28
CAPÍTULO 5 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA	30
5.1 Visitas Técnicas ao Observatório Espacial do Sul.....	30
5.1.1 Calibração do Espectrofotômetro Brewer.....	30
5.1.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos.....	32
5.1.3 Coleta de Dados.....	32
5.1.4 Redução de Dados.....	33
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E ANÁLISES	34
6.1 Re-análise dos Dados da Coluna Total de Ozônio do Brewer.....	34
6.2 Descontinuidades dos Dados de Ozônio.....	34
6.3 Análises dos Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico no Sul do Brasil.....	36
6.3.1 Análise para eventos do ano de 2000.....	37
6.3.2 Análise para eventos do ano de 2005.....	41
6.3.3 Análise para eventos do ano de 2007.....	43
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS	46
CAPÍTULO 8 - TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS	47
CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Na estratosfera o ozônio absorve a radiação solar no ultravioleta, tendo seu máximo de absorção nos comprimentos de onda na faixa Hartley, de 200 a 310 nm, (Dobson, 1968). Esta faixa contém parte da radiação ultravioleta B (UVB – 280 a 320 nm), a qual tem efeitos danosos para os seres vivos.

Um número considerado de publicações mostra que o conteúdo total de ozônio na atmosfera vem diminuindo ao longo das últimas décadas (Farman et al, 1985; Solomon, 1999). No continente antártico detecta-se uma considerável diminuição do conteúdo total de ozônio durante as primaveras. 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, apresentando efeitos secundários do “buraco de ozônio Antártico” em regiões de baixas latitudes como a Região Sul do Brasil (Kirchhoff et al, 1996). Os efeitos secundários são causados por injeção de massa de ar pobre em ozônio proveniente diretamente da região antártica, provocando uma redução temporária na coluna total de ozônio na região.

No Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico do CRS/CIE/INPE - MCT é desenvolvido o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, onde dados da coluna total de ozônio dos Espectrofotômetros Brewer MKIV # 081 (1992 - 2000), MKII # 056 (2000 - 2002) e MKIII # 167 (a partir de 2002) vêm sendo monitorados desde 1992 em Santa Maria e após 1995 no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT, (29,42°S, 53,87°O), em São Martinho da Serra, em cooperação com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM e Laboratório de Ozônio - LO/DGE/CEA/INPE – MCT, em São José Campos, SP. A partir destes dados detectam-se as quedas na coluna total de ozônio e são realizados estudos sobre os efeitos secundários do “buraco de ozônio antártico” os quais são apresentados neste trabalho.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

Este projeto tem por objetivo analisar a ocorrência dos eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o sul do Brasil durante o período de 1992 a 2007, utilizando-se para tanto dados gerados por Espectrofotômetros Brewer, sondagens de ozônio troposférico e estratosférico e dados de satélites como TOMS e OMI.

Tem por objetivos específicos:

- * Revisão bibliográfica sobre o assunto em estudo;
- * Estudo e análise dos equipamentos empregados no Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, no âmbito do Convênio INPE - UFSM;
- * Redução e análise da série temporal dos dados da coluna total de ozônio obtida com o instrumento Espectrofotômetro Brewer pelo Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico desde 1992;
- * Redução e análise da série temporal dos dados da coluna total de ozônio obtida com os instrumentos TOMS e OMI a bordo de satélites desde 1992;
- * Análise de variáveis derivadas do modelo NCEP e suas conexões com dados de ozônio.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 Camadas da Atmosfera

Uma das classificações mais conhecidas da divisão das camadas da atmosfera terrestre é quanto ao perfil de temperatura. A atmosfera está estruturada em três camadas relativamente quentes, separadas por duas camadas relativamente frias. Os contatos entre essas camadas são áreas de descontinuidade e recebem o sufixo "pausa", após o nome da camada subjacente, é importante notar que as camadas interagem entre si, trocando propriedades uma vez que não existem limites físicos que as separam (Vianello et al., 2000). Um esquema ilustrativo das camadas da atmosfera pode ser visto na Figura 3.1.

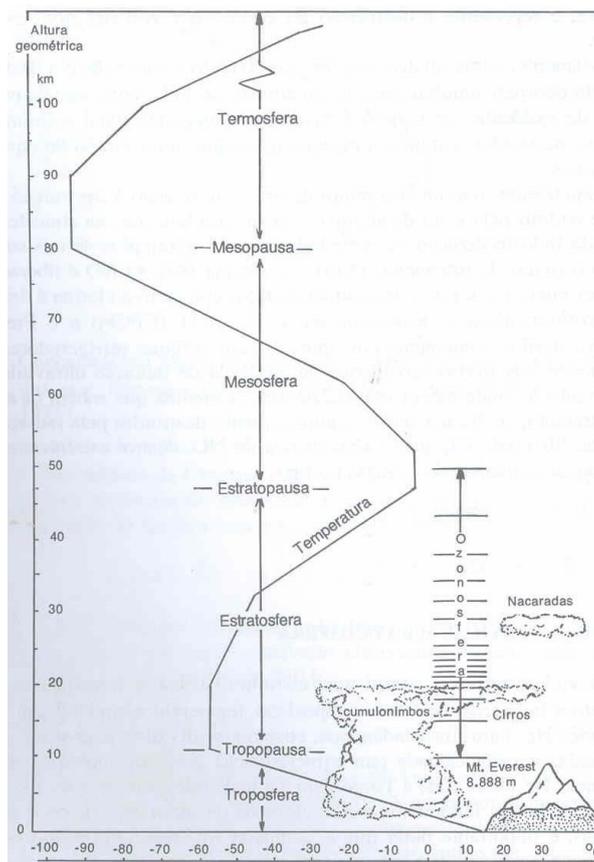


Fig. 3.1 - Estrutura vertical da atmosfera terrestre até 110 km de altura. Fonte: adaptada de U.S. Navy Weather Research Facility.

3.1.1 Troposfera

Estende-se da superfície da Terra até a base da estratosfera, 15-18 km do solo no equador e de 6-8 km nos pólos, sendo sua espessura variável com as estações do ano. Os movimentos atmosféricos, tanto verticais (convecção e subsidência) quanto horizontais, são intensos nessa camada. É nela que ocorrem os mais importantes fenômenos meteorológicos tais como: chuva, trovoadas, relâmpagos, arco-íris, nuvens, ventos, etc. Esta camada responde por oitenta por cento do peso atmosférico, sendo que em sua composição tem, entre outros gases, oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água, permitindo assim a vida na superfície terrestre. Na troposfera, a temperatura diminui com a altitude em média $6,5^{\circ}\text{C}$ por quilômetro. Diversos gases-traço, tais como ozônio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio e os aerossóis também estão presentes nesta camada da atmosfera. O ozônio troposférico é extremamente oxidante e, por este motivo, é considerado um forte poluente. É um gás quimicamente instável, por isso é comum o ozônio desta camada reagir com o radical oxidrila (OH) muito abundante na Troposfera e principal agente “limpador” desta região atmosférica. A troposfera termina quando ocorre uma inflexão do perfil da temperatura com a altitude, passando esta a aumentar com a altitude. Essa região onde ocorre a inflexão é conhecida como tropopausa, a qual marca o início da estratosfera.

3.1.2 Estratosfera

Situa-se entre 10 ou 20 km até cerca de 50 km de altitude aproximadamente, sendo a segunda camada da atmosfera compreendida entre a troposfera e a mesosfera. A temperatura nesta camada parte dos -70°C (aproximadamente) e aumenta gradativamente devido a absorção da radiação ultravioleta pela molécula de ozônio. É nesta camada que se encontra a maior concentração do gás ozônio e, portanto, é a região onde se encontra a chamada Camada de Ozônio. Na estratosfera encontram-se, além do gás ozônio, diversos outros gases, entre eles, dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2) e aerossóis.

A estratosfera tem como limite superior a estratopausa, onde está outro ponto de inflexão da temperatura, quando a temperatura começa novamente a decair com a altitude.

3.1.3 Mesosfera

Está situada entre 50 e 90 km de altitude com a estratopausa em sua parte inferior e mesopausa em sua parte superior. É muito fria, com temperaturas abaixo de 100°C negativos. A parte inferior é mais quente porque absorve calor da estratosfera. Nesta camada a temperatura diminui com a altitude. Na mesosfera ocorrem os fenômenos de aeroluminescência, com as emissões de gases como oxigênio, sódio, hidroxila, etc. A mesopausa fica entre a mesosfera e a termosfera e é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular.

3.1.4 Termosfera

O topo da termosfera fica a cerca de 450 km acima da Terra. É a camada mais quente, uma vez que as raras moléculas de ar absorvem a radiação do Sol. As temperaturas no topo chegam a 2.000°C.

3.1.5 Exosfera

A camada superior da atmosfera fica a mais ou menos 900 km acima da Terra. O ar é muito rarefeito e as moléculas de gás "escapam" constantemente para o espaço. Por isso é chamada de exosfera (parte externa da atmosfera).

3.2 Ozônio

O ozônio foi descoberto em 1840 pelo químico suíço C. F. Schönbein (Whitten e Prasad, 1985), sendo uma molécula constituída por três átomos de oxigênio e sua maior concentração ocorre na estratosfera, (Slusser et al., 1999), onde a temperatura começa a aumentar com a altitude porque, ao absorver radiação ultravioleta, o ozônio libera energia na forma de calor. Apesar da pequena abundância, espécies traço como vapor

d'água e ozônio são essenciais para a vida e o balanço energético do planeta (Salby, 1995).

O ozônio é produzido na estratosfera cerca de 30 km de altitude, onde a radiação ultravioleta solar de comprimentos menores que 242 nm lentamente dissocia a molécula de oxigênio (O_2). Representado pela seguinte expressão:



O átomo de oxigênio (O) reage rapidamente com O_2 na presença de um terceiro corpo M (normalmente N_2 e O_2) para formar ozônio, M é utilizado para estabilizar o produto excitado O_3 devido a colisão dos reagentes.



Esta é a única reação de produção de ozônio em praticamente toda a atmosfera, tanto na estratosfera quanto na troposfera.

Este mecanismo de produção de ozônio é contrabalançado por vários mecanismos de perda, sendo os principais a recombinação do ozônio com o oxigênio e ciclos catalíticos envolvendo H, NO_x e Cl (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986), além da absorção de radiação solar pelo ozônio nas suas bandas de absorção apresentada na expressão 3.3:



Esta reação ocorre nas bandas de absorção molecular do ozônio de Hartley (200 a 310 nm) e Hugging (310 a 350 nm).

A combinação desses mecanismos de perda e de produção resulta na formação da camada de ozônio que atinge níveis máximos numa faixa de 24 km de altura.

3.2.1 Distribuição e conteúdo do ozônio na atmosfera

A distribuição vertical de ozônio é praticamente constante na troposfera e é uma concentração relativamente baixa. Na estratosfera, que fica entre 15 e 50 km de altura, a concentração do ozônio passa por um máximo a aproximadamente 30 km. Entre 25 e 35

km define-se, arbitrariamente, a região da "camada de ozônio". A concentração depende da latitude e estação do ano por influência da distribuição latitudinal de radiação solar que influi tanto na criação quanto na dissociação do ozônio (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986)

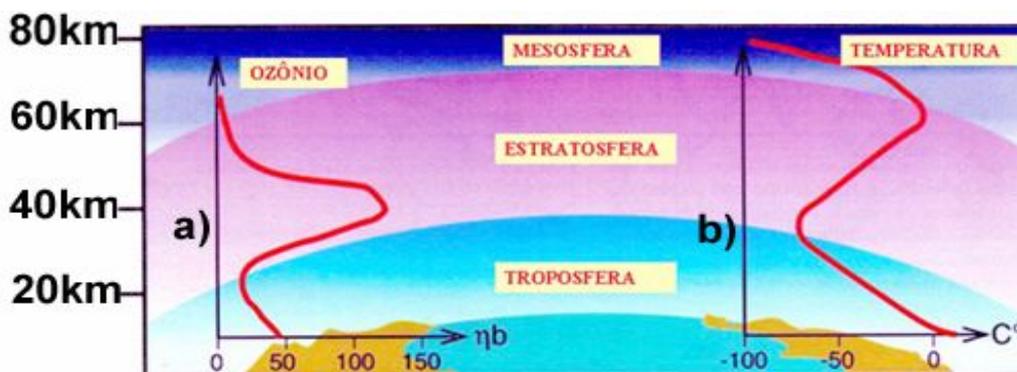


Fig. 3.2 - Perfil da Camada de Ozônio (a) e da temperatura (b) com a altura. Fonte: <http://www.dge.inpe.br/ozonio/ozonio1.php>

Quanto às distribuições sazonais, as variações podem ser negligenciadas nas regiões tropicais, onde a intensidade de radiação solar pode ser considerada constante durante todo o ano. À medida que a latitude aumenta, para altas latitudes, se tem maior variação sazonal na concentração do ozônio estratosférico (Wakamatzu, 1989), o máximo de concentração é estabelecido na primavera e o mínimo se verifica durante o outono. Durante a primavera a quantidade de ozônio encontrada em altas latitudes é maior, e em baixas latitudes menor, do que aquela que poderia ser prevista utilizando a teoria fotoquímica. Neste caso, a distribuição da intensidade de radiação solar sugeriria a formação de um máximo durante o verão sobre a região equatorial. Portanto, as causas desse fenômeno podem ser relacionadas aos padrões de circulação atmosférica. O conteúdo de ozônio na região Antártica é fortemente relacionado com ventos equatoriais (Garcia e Solomon, 1987). No início da primavera, a estratosfera próxima às regiões polares é caracterizada por fortes correntes de ar descendentes. Deste modo, o ozônio gerado em camadas acima de 20 km de altitude é transportado por estas correntes de ar em direção às camadas mais baixas, e uma circulação é formada com o ar fluindo em direção aos pólos na alta estratosfera e, em direção ao equador na baixa estratosfera. O ozônio acumulado nesta região é transferido para a troposfera durante o verão (Seinfeld e Pandis, 1998)

3.2.2 Unidades Dobson

O conteúdo total de ozônio integrado numa coluna atmosférica é comumente expresso em Unidades Dobson (DU). Trezentas Unidades Dobson equivalem a uma coluna uniforme de ozônio de três milímetros de espessura em condições normais de pressão, 1atm ou ao nível do mar, e temperatura, 273 K ou 0° C; porém ocupa na atmosfera uma espessura de cerca de 50 km. Essa quantidade é suficiente para absorver a radiação ultravioleta e possibilitar a existência da vida no Planeta.

3.2.3 O Buraco de Ozônio

Em 1985, a equipe liderada por Farman chocou a comunidade científica com o relato da massiva destruição anual do ozônio estratosférico sobre a Antártica ocorrido na primavera polar, fenômeno este que a imprensa chamou de “Buraco de Ozônio”. Sua área geográfica foi definida como sendo a região interior a valores de ozônio menores que 220 UD, sendo mais acentuado entre 12 e 24 km de altitude.

EP/TOMS Corrected Total Ozone for Oct 7, 2000

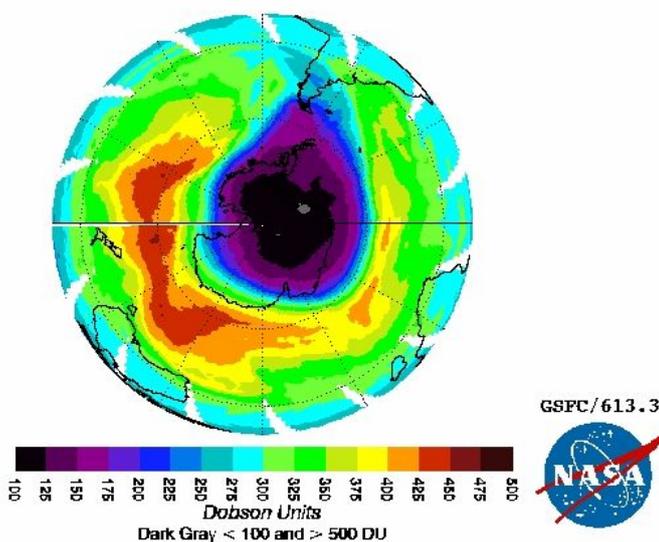


Fig. 3.3 – Imagem ilustrando o buraco de ozônio Antártico durante a primavera austral.

Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ep_toms/ep.html.

A Antártica tem uma das mais altas concentrações de ozônio da Terra durante a maior parte do ano, pois muito de seu ozônio é produzido nos trópicos e transportado, junto com reservatórios de cloro, para os pólos, pelo movimento do ar em grande escala na

estratosfera. Na Antártica, a estratosfera é deficiente em oxigênio atômico devido à ausência de radiação UV intensa para fotolisar o O_2 .

Durante o inverno Antártico, o ar frio desce e desenvolve uma circulação para leste, formando o Vórtice Polar, que desenvolve um núcleo de ar muito frio. No inverno e no início da primavera o vórtice é extremamente estável, efetivamente apreendendo o ar em seu interior. O vórtice mantém altos níveis de ozônio importado preso sobre a Antártica por diversos meses a cada ano. Quando o Sol retorna em setembro, no fim da noite polar, a temperatura aumenta e o vórtice enfraquece, eventualmente quebrando em novembro.

Algumas hipóteses relacionando a existência do buraco de ozônio ao ciclo solar ou a pura dinâmica estratosférica não foram consistentes com o observado, assim como somente os ciclos catalíticos dos CFCs (clorofluorcarbonos) não poderiam levar a tamanha queda na coluna de ozônio, até que Susan Solomon e colaboradores (Solomon, 1999) sugeriram que o cloro poderia ser ativado na superfície de Nuvens Estratosféricas Polares (NEPs), observadas sobre a Antártica devido as baixas temperaturas (183 K), podendo destruir o ozônio na baixa estratosfera polar em poucas semanas, chegando aos níveis observados no buraco.

As NEPs catalisam a liberação do cloro reativo das espécies reservatório $ClONO_2$ e N_2O_5 que reagem heterogeneamente com as nuvens nas quais o HCl foi absorvido, produzindo os gases Cl_2 , HOCl e $ClNO_2$. A luz solar é então necessária para fotolisar o Cl_2 , HOCl e $ClNO_2$ liberando o cloro reativo que ataca o ozônio.

A formação do “buraco de ozônio” é um fenômeno sazonal cujas condições somente são possíveis em algumas semanas do ano, no hemisfério sul, entre agosto e outubro (início da primavera). Em dezembro, com a chegada do verão, as temperaturas sobem, impedem a formação de NEPs, e enfraquecem o vórtice polar devido aos baixos gradientes de temperatura. Com o aumento da temperatura na região, o processo de destruição acelerada do ozônio é bloqueado e os níveis retornam às condições normais.

3.3 Temperatura Potencial

A temperatura potencial de uma parcela de ar é definida como a temperatura que a parcela teria se fosse expandida ou comprimida adiabaticamente de seu estado real de pressão e temperatura para uma pressão padrão (geralmente 1000 mb). Pode-se obter uma expressão a partir da Primeira Lei da Termodinâmica e da Lei dos Gases Ideais.

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (3.4)$$

A temperatura potencial pode ser interpretada como uma marca da posição vertical de uma parcela de ar. Esta variável aumenta com a altura lentamente na troposfera e rapidamente na estratosfera. Uma parcela de ar se movendo adiabaticamente mantém-se em uma superfície de temperatura potencial constante e pode ser marcada pelo valor da temperatura potencial. Então o movimento de uma parcela de ar pode ser visto de forma bidimensional em coordenadas isentrópicas.

Superfícies adiabáticas, onde a temperatura potencial se mantém constante enquanto pressão e temperatura variam, são denominadas superfícies isentrópicas. Essas superfícies são inclinadas sendo mais baixas no equador e mais altas nos pólos, conforme apresenta a Figura 3.4. A temperatura potencial dividida por 25 é uma boa aproximação para a altitude da superfície em quilômetros (por exemplo, 400 K = 400/25 \approx 16 km). O ar estratosférico tende a se manter em superfícies isentrópicas por muitos dias, pois a temperatura potencial é grande em altas altitudes dificultando o movimento do ar para cima ou para baixo

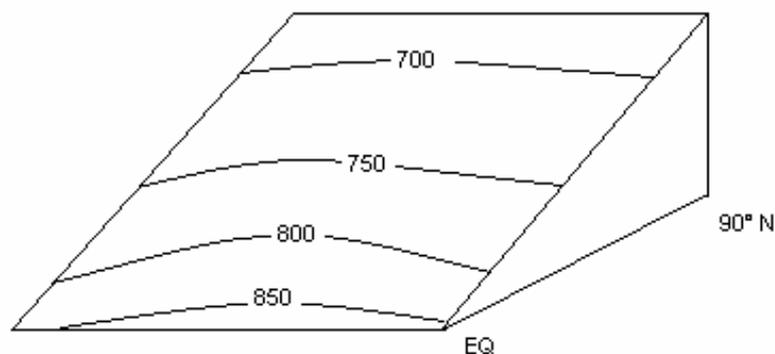


Fig. 3.4 – Esquema de uma superfície isentrópica de 310 K. Linhas sólidas no interior da superfície são isóbaras (mb). Fonte: adaptado apostila de curso de Moore, J. T. (1993).

3.4 Vorticidade Potencial

Assim como a temperatura potencial, a vorticidade potencial (VP) pode funcionar como um traçador dinâmico estratosférico. Foi descoberta por Rossby em 1939 e generalizada por Ertel em 1942. A vorticidade é uma medida microscópica da rotação de um fluido, é um campo vetorial definido como o rotacional da velocidade. A vorticidade potencial de Ertel-Rossby é utilizada para representar movimentos atmosféricos, sendo aproximada, em coordenadas isentrópicas por:

$$PV(x, y, \theta) = -g(\zeta_{\theta} + f)(d\theta / dp) \quad (3.5)$$

Onde ζ_{θ} é a vorticidade relativa em superfícies isentrópicas, f é a vorticidade planetária, $(\zeta_{\theta} + f)$ é a vorticidade absoluta em superfícies isentrópicas e $d\theta / dp$ é a medida da estabilidade da atmosfera, expressa na equação (3.6), derivada da temperatura potencial.

$$\frac{\partial \theta}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p} \left[T \left(\frac{p_0}{p} \right)^k \right] = \left(\frac{p_0}{p} \right)^k \left[\frac{\partial T}{\partial p} - k \frac{T}{p} \right] \quad (3.6)$$

A mais importante propriedade da VP é sua conservação na ausência de atrito e em processos adiabáticos. O transporte meridional rápido de parcelas de ar implica na produção de fortes anomalias de VP com altos valores de PV polar advectados para o equador e baixos valores equatoriais advectados para os pólos. Pelo fato da vorticidade potencial depender somente da distribuição horizontal dos ventos e da temperatura em superfícies isentrópicas, esta distribuição pode ser determinada por observações meteorológicas convencionais. Dessa forma, a evolução de VP em uma superfície isentrópica pode ser usada como uma substituta para o estudo do transporte de constituintes traço, em superfícies isentrópicas (Holton et al., 2004). A distribuição de VP em superfícies isentrópicas pode ser invertida para produzir campos de vento e temperatura, ou seja, mudanças na distribuição de VP são ditas indutoras de mudanças nos campos de vento e temperatura.

A variação da vorticidade potencial em superfície isentrópica pode ser aplicada ao transporte de ozônio na estratosfera, como já foi aplicada em trabalhos anteriores parecidos e mostram que a origem tropical ou polar das massas de ar pobre em ozônio pode ser identificada, respectivamente, por baixos e altos valores de vorticidade potencial absoluta (VPA) (Semane et al., 2006).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Equipamentos utilizados

Os dados sobre a coluna total de ozônio atmosférico utilizados nesta análise foram obtidos através dos Espectrofotômetros Brewer modelo MKIV, MKII e MKIII, instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT (29,4 °S; 53,8°O; 488,7m), pelo Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) que esteve a bordo dos satélites Nimbus-7, Meteor-3 e Earth Probe da National Aeronautics and Space Agency (NASA), e pelo Ozone Monitoring Instrument (OMI), o qual substituiu os dados do TOMS desde 2006, quando este saiu de operação. Este equipamento está a bordo do satélite ERS-2, sendo uma contribuição do Programa Aeroespacial da Netherlands's Agency (NIVR) em colaboração com o Finnish Meteorological Institute (FMI) para a Missão Aura EOS.

4.1.1 Espectrofotômetro Brewer

Os Espectrofotômetros Brewer são uma família de instrumentos científicos que realizam medidas da radiação ultravioleta no espectro solar, examinando a absorção diferencial de comprimentos de onda selecionados no espectro da radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), além de inferir as colunas totais dos gases O₃ e SO₂. Este equipamento foi instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, a partir de um convênio entre a UFSM e o INPE/MCT e durante o período de 1992 – 2000 ficou instalado o equipamento MKIV #081, de 2000 – 2002 o equipamento MKII #056 e de 2002 até o momento opera o equipamento MKIII # 167.

Os dois primeiros Espectrofotômetros Brewer são compostos por um monocromador e um detector para observar e medir um espectro de radiação. O monocromador é essencialmente constituído de um elemento de dispersão e dispositivos para controle da largura da faixa de comprimentos de onda desejados. A fonte de energia a ser analisada deve fornecer um espectro contínuo, no caso do Espectrofotômetro Brewer esta é o Sol. Os elementos de dispersão podem ser prismas de vidro ou quartzo e redes de difração,

sendo para o Espectrofotômetro Brewer o meio atenuador a coluna atmosférica acima do instrumento.

Uma porção da energia radiante emitida pela fonte passa por uma fenda de entrada e vai incidir sobre o elemento de dispersão. A radiação é dispersa, dando um espectro contínuo dentro dos limites correspondentes à fonte utilizada. Por meio de uma fenda de saída, pode-se isolar uma faixa mais ou menos estreita da radiação. O comprimento de onda médio da faixa que atravessa a fenda de saída é controlado mediante a variação da posição do prisma ou da rede de difração.

O Espectrofotômetro Brewer é um instrumento óptico projetado para medir a intensidade da atenuação da radiação solar ultravioleta incidente em cinco comprimentos de onda, de 306 a 320 nm, no espectro de absorção do ozônio e dióxido de enxofre atmosféricos. O Brewer mede também a intensidade da radiação UVB global incidente na superfície (de 290 a 325 nm, modelos MKII e MKIV) através de varreduras do espectro.

O Brewer é formado por um espectrofotômetro e por um sistema de rastreamento do Sol, acoplados a um microcomputador o qual, através de software próprio, realiza a aquisição, redução e armazenamento de dados e o controle do instrumento (testes de desempenho geral, medidas). O equipamento pode ser programado para trabalhar sozinho através do uso de esquemas de medidas previamente elaborados pelo usuário.

A luz solar pode entrar no aparelho pelo domo de UV ou através de uma janela de quartzo inclinada, sendo direcionada ao prisma diretor o qual seleciona a luz de céu zênite (ZS), direto ao Sol (DS), do domo de UV ou das lâmpadas de calibração; a forma de entrada da luz dependerá do tipo de medida que se quer realizar.

Uma lâmpada de mercúrio fornece uma fonte padrão para calibração do comprimento de onda do Espectrofotômetro e uma lâmpada alógena fornece uma fonte de luz bem regulada para monitorar a resposta espectral relativa do espectrômetro.

Uma grade espectrométrica dispersa a luz ultravioleta para um plano focal; 6 fendas de saída estão posicionadas ao longo do plano focal nos comprimentos de onda de

operação, sendo que uma delas é utilizada somente para a calibração do micrômetro através da lâmpada de mercúrio (teste HG).

As medidas DS objetivam a obtenção da coluna total de ozônio e dióxido de enxofre, sendo utilizados para isso cinco comprimentos de onda 306,3; 310,1; 313,5; 316,8; 320,1 nm, com resolução aproximada de 0,5 nm para ozônio.

Quando as medidas de radiação ultravioleta são realizadas, a radiação UV-B proveniente do Sol e do céu, respectivamente radiação direta e difusa, atingem o domo de onde a radiação é direcionada para o prisma, o qual está voltado para o interior do equipamento. A radiação solar medida pelo instrumento passa por um conjunto de lentes, filtros atenuadores e selecionadores de radiação, colimadores, fendas seletoras, espelhos e rede de difração para incidir no cátodo de um tubo fotomultiplicador que transforma o feixe de luz de comprimento de onda λ num sinal elétrico interpretado como pulso pela cadeia eletrônica Brewer. As diferentes posições do prisma e os percursos que a luz executa até atingi-lo, para depois entrar na íris, estão ilustrados na Figura 4.1.

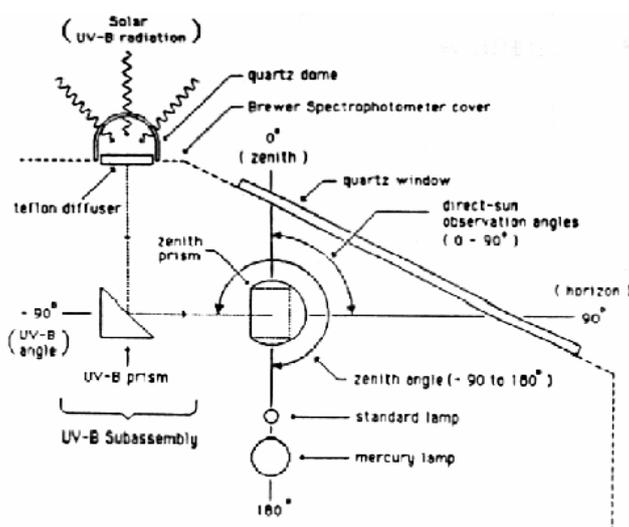


Fig. 4.1 - Possíveis posicionamentos do prisma e caminhos percorridos pela luz até chegar ao prisma nos Brewers MKII e MKIV. Fonte: Manual de Operação do Espectrofotômetro Brewer MK II.

O modelo MKIII #167 difere dos dois espectrofotômetros citados anteriormente por possuir a faixa de medida da radiação espectral mais ampla, compreendendo de 286,5 nm a 363,0 nm, também com resolução de 0,5 nm, e por apresentar um duplo sistema

óptico, o qual oferece uma maior confiabilidade no isolamento dos comprimentos de onda selecionados.

A luz, após incidir na máscara, SL1, é direcionada para baixo e refletida sob outro espelho esférico, SM2, que faz o feixe de luz incidir sobre uma segunda grade de difração, GR2, e só então que o feixe de luz vai para a fotomultiplicadora, PM1, conforme ilustrado na Figura 4.2.

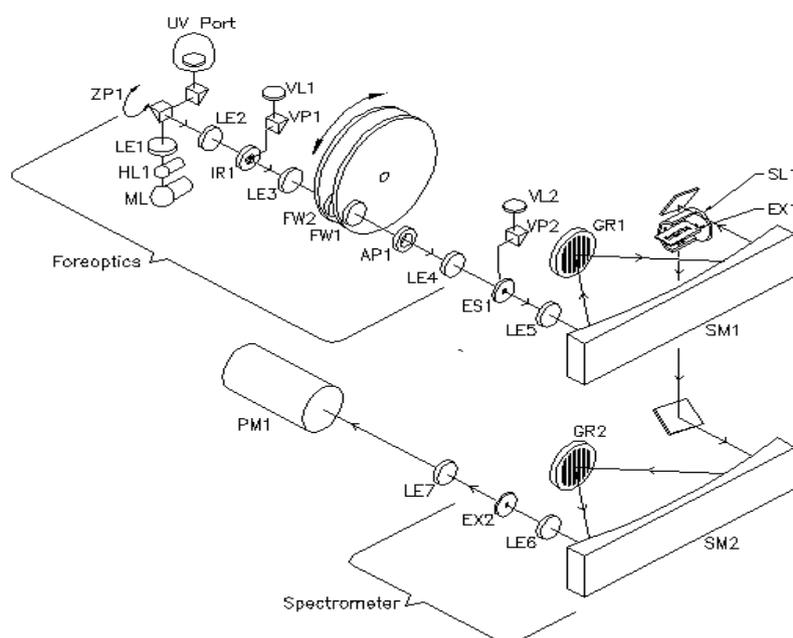


Fig. 4.2 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MK III. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK III.

O Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul é mostrado na Figura 4.3, onde se observa em detalhe o tripé, o sistema de rastreamento do Sol (tracker), a janela de entrada do feixe de luz solar, para medida dos gases atmosféricos, e o domo, acima da janela, para medida da radiação ultravioleta.

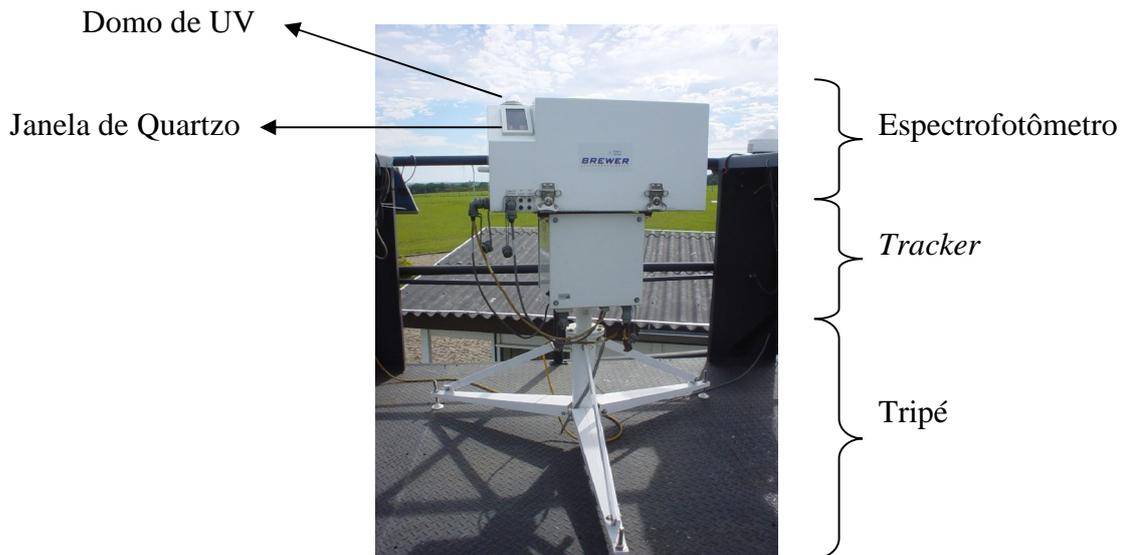


Fig. 4.3 - Espectrofotômetro Brewer MK III # 167 atualmente instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

4.1.2 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)

Outra fonte de aquisição de dados para esta análise foi através do Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) que é um instrumento desenvolvido pela National Aeronautics and Space Agency (NASA) e mede ozônio diariamente fornecendo mapas globais de alta resolução de ozônio total contido na atmosfera. Esse instrumento existe desde 1978, iniciando suas medidas com o lançamento do satélite Nimbus-7, continuando de 1991 a 1994 a bordo do satélite Meteor-3 e desde 1996 a bordo do Earth Probe, parando de operar no final de 2005 devido a problemas de calibração.

O TOMS utiliza a técnica Backscatter Ultraviolet (BUV), um método de medida que determina ozônio indiretamente pelo mapeamento da luz ultravioleta emitida pelo Sol e retroespalhada pela atmosfera terrestre na direção do satélite. O TOMS faz amostragem da radiação UV retroespalhada em 6 comprimentos de onda, que sofrem absorção diferencial pelo ozônio. Comparando essas medidas entre si com as medidas provenientes do Sol, o algoritmo do TOMS calcula a coluna total de ozônio.

Os dados de ozônio do TOMS utilizados neste trabalho são do algoritmo processado versão 8, disponíveis no site da NASA e freqüentemente correlacionados com as medidas do Espectrofotômetro Brewer a fim de verificar a acuracidade dos dados.

4.1.3 Ozone Monitoring Instrument (OMI)

No final do ano de 2005, o equipamento TOMS parou de realizar suas medidas, passando a ser disponibilizados no site da NASA dados do Ozone Monitoring Instrument (OMI). Este equipamento opera desde agosto de 2004 a bordo do satélite ERS-2, sendo uma contribuição do Programa Aeroespacial da Netherlands's Agency (NIVR) em colaboração com o Finnish Meteorological Institute (FMI) para a Missão Aura EOS. O equipamento mede mais componentes atmosféricos que o TOMS, como o conteúdo total de O₃, NO₂, SO₂ e aerossóis.

Assim como o TOMS, o OMI realiza medidas pela técnica Backscatter Ultraviolet (BUV), com duas imagens alimentando a grade do espectrômetro. Tem duas faixas de ultravioleta: UV-1, 270 a 314 nm e UV-2 306 a 380 nm com resolução espectral de 1 – 0,45 nm. A Figura 4.4 apresenta a configuração esquemática do OMI.

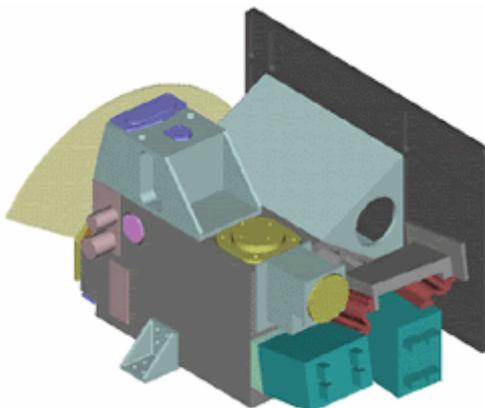


Fig. 4.4 – Esquema de montagem do Ozone Monitoring Instrument (OMI). Fonte: http://aura.gsfc.nasa.gov/instruments/omi/omi_gallery.html

Os dados da coluna total de ozônio do OMI estão sendo usados a partir de 2006 para completar os dados do Brewer em dias sem medidas válidas deste, como no caso de dias chuvosos, tendo, assim como o TOMS, suas medidas correlacionadas com as medidas do Espectrofotômetro Brewer para verificar a acuracidade dos dados dos equipamentos.

4.2 GrADS, Variáveis NCEP/NCAR e Análise Isentrópica.

O software de domínio público Superfícies isentrópicas são geradas no GrADS (Grid Analysis and Display System) é um programa para visualização e análise de dados de Ciências da Terra e trabalha com dados de modelos de 4 dimensões, onde as dimensões são usualmente latitude, longitude, nível e tempo.

O ar estratosférico tende a se manter em uma superfície isentrópica por alguns dias, isso, somado ao fato da vorticidade potencial funcionar como um traçador dinâmico, que tem sua distribuição horizontal dependente somente da temperatura e dos ventos em superfícies isentrópicas, torna possível a visualização do caminho de massas de ar que possam vir a alterar o conteúdo total de ozônio.

Parâmetros diários das componentes meridional (v-wind) e zonal (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>, foram utilizados para realizar análises da vorticidade potencial sobre superfícies isentrópicas.

Além desses parâmetros sobre ventos e temperatura, dados como: nível da tropopausa, altura geopotencial, velocidade vertical do vento, umidade relativa, umidade específica, entre outros, estão disponíveis para re-análises. Estes dados podem ser obtidos de observações de 6 em 6 horas, média diária ou ainda média mensal, desde 1948, com cobertura total do globo.

4.3 Trajetórias de massas de ar

Trajetórias atmosféricas são produzidas usando o modelo HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) desenvolvido através do esforço conjunto entre NOAA e Australia's Bureau of Meteorology, disponível em <http://www.arl.noaa.gov/ready/open/traj.html>, onde 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.

CAPÍTULO 5

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

5.1 Visitas Técnicas ao Observatório Espacial do Sul

Visitas são realizadas semanalmente ao Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra - RS, por um grupo de alunos com a finalidade de verificar o funcionamento dos equipamentos, calibração e manutenção preventiva, coleta de dados e limpeza de equipamentos.

5.1.1 Calibração do Espectrofotômetro Brewer

O Espectrofotômetro Brewer, por ser um equipamento bastante delicado, em parte devido à sua grande complexidade e precisão, precisa ser calibrado quinzenalmente de forma a atenuar possíveis imprecisões de suas medidas provenientes de desajustes naturais. Um kit composto por uma fonte ajustável de precisão, um multímetro, lâmpadas padrão e um suporte para as lâmpadas é utilizado para calibração.

As lâmpadas de calibração possuem um espectro de radiação conhecido e são testadas em laboratório pelo fabricante do equipamento. Estas lâmpadas são instaladas em um anteparo apropriado que é acoplado sobre o domo de UVB. Através de uma seqüência de comandos dados no programa de controle do Brewer, este ajusta a rede de difração e faz a leitura da irradiância da lâmpada, medindo a potência a cada 3,5 nm com varredura do maior ao menor comprimento de onda retornando do menor ao maior comprimento. Em cada calibração podem ser utilizadas de uma a três lâmpadas, sendo que para cada lâmpada acoplada entra-se com a linha de comandos de calibração no programa do Brewer. As medidas que o Brewer faz das lâmpadas são gravadas em um arquivo de nome QLdddyy.167, onde *ddd* representa o dia Juliano e *yy* o ano.

Cada lâmpada possui um arquivo contendo a sua irradiância medida em laboratório; são arquivos do tipo LAMPnnn.irr, onde *nnn* representa o número da lâmpada. Pela comparação das medidas obtidas pelo Brewer e originárias dos arquivos de irradiância padrão das mesmas, é gerado um arquivo de resposta no formato UVRdddyy.167, onde *ddd* é o dia Juliano da calibração, *yy* é o ano e 167 é o número do equipamento.

A calibração serve para observar as respostas do aparelho a irradiância emitida pela lâmpada. As curvas de calibração originadas são guardadas no arquivo UVR, que é o arquivo de resposta do espectrofotômetro.

Os principais comandos e testes realizados pelo Brewer durante sua operação normal são listados a seguir:

- * DS (Direto ao Sol) – Medida da coluna total de ozônio através de um feixe de radiação direta proveniente do Sol;
- * ZS (Céu Zênite) – Medida da coluna total de ozônio através da radiação solar difusa na atmosfera;
- * UV (290-315 nm), UX (286,5-363 nm) – Medidas da radiação ultravioleta;
- * PR – Projeta o sistema para imprimir somente no arquivo R do dia;
- * OP – Imprime no arquivo R as constantes do equipamento;
- * AP – Imprime no arquivo R as voltagens, amperagens e temperaturas internas do equipamento;
- * HP – Sincroniza os micrômetros;
- * HG – Teste de calibração do comprimento de onda com a lâmpada HG, zera a posição dos micrômetros;
- * SL – Teste de calibração de O₃ e SO₂ com a lâmpada Standard SL (alógena), usado para cálculo das constantes ETCs do instrumento;
- * DT – Teste do Tempo Morto para medida do tempo de resposta da fotomultiplicadora;
- * RS – Teste Run/Stop, testa a operação do motor da máscara slit;
- * SI – Zera a posição do Brewer com o Sol, ajuste fino manual deve ser feito com o auxílio da íris;
- * AZ – Zera a posição azimute do tracker;
- * ZE – Zera a posição do prisma zênite;
- * TI – Ajusta o horário do relógio;
- * RE – Reset do programa e do Brewer;
- * SR – Teste para determinar o número de passos do motor necessários para zerar o azimute;
- * FR – Reset dos micrômetros;

- * W0, W1, W2, W3, W4 – Determinam tempos de espera em minutos: 1, 5, 10, 20 e 30 min, respectivamente;
- * B0 – Desliga as lâmpadas de SL e HG;
- * B1 – Liga a lâmpada de HG;
- * B2 – Liga a lâmpada de SL;
- * UL (290-315nm), XL (286,5-363nm), QL (286,5-363nm) – Testes de calibração de UV com as lâmpadas externas;
- * QS – Mede a estabilidade do kit de calibração de UV, compara os resultados das emissões das lâmpadas externas com o primeiro teste realizado;
- * SKC – Chama o esquema pré-programado de medidas do dia.

5.1.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos

5.1.2.1 Troca da Sílica Gel

A maioria dos equipamentos pertencente ao Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico (PMOA) possui um compartimento interno próprio para sílica gel. Esta sílica é trocada frequentemente a fim de se ter um controle da umidade no interior dos equipamentos e conseqüentemente medidas mais confiáveis.

5.1.2.2 Limpeza e Polimento

A limpeza dos equipamentos se faz necessária para diminuir a interferência de sujeira como poeira, por exemplo, na absorção de radiação solar. Todos os detectores são de cor branca, o que aumenta o albedo dos corpos. Sendo assim, a energia incidente nos equipamentos é mínima exceto nos domos de quartzo, onde a radiação é transmitida para o interior do equipamento. Essa refletividade da radiação evita o superaquecimento, o que implicaria em alterações nas medidas. No caso do Brewer, este é ainda polido com uma cera especial, evitando ao máximo que a radiação seja absorvida por partes que não sejam o domo ou a janela de quartzo.

5.1.3 Coleta de Dados

A coleta de dados pode ser efetuada nas ocasiões de visitas ao OES/CRS/CIE/INPE – MCT ou os dados podem ser transferidos diretamente do OES para o Laboratório de

Ozônio no CRS/CIE/INPE – MCT através do programa ultraVNC instalado nos computadores do laboratório. Os dados são coletados freqüentemente para análise e redução.

5.1.4 Redução de Dados

Para se trabalhar com os dados dos equipamentos é necessário que estes sejam previamente reduzidos. Esta redução é feita a partir de programas como UVBrewer versão 2.1, BCalc, Origin e Excel. Uma vez reduzidos, os dados estão prontos para serem analisados. São efetuadas diversas análises, tais como correlações e comparações dependentes do tipo de variável em questão.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E ANÁLISES

A partir dos dados de ozônio obtidos pelo Brewer, foram re-analisados dados já reduzidos do período de 1992 a 2006, reduzidos os dados e incluídos ao banco de dados referentes ao ano de 2007. Simultaneamente à análise, dados do satélite OMI foram avaliados para o ano de 2007, somados à análise dos dados do TOMS e OMI de 1992 a 2006. Além disto, foram realizados estudos dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Observatório, observando os eventos ocorridos de 2000 a 2007. Porém, apenas estão sendo apresentados aqui os eventos de 2000, 2005 e 2007.

6.1 Re-análise dos Dados da Coluna Total de Ozônio do Brewer

Os dados da coluna total de ozônio do Brewer, utilizados nesta análise, provêm das medidas DS, por serem mais precisas. O teste diário de calibração SL (Standard Lamp) do Brewer foi verificado para cada dia da análise, incluindo o ano de 2007. Este teste de calibração é feito com a finalidade de garantir a boa performance do Brewer em suas medidas de ozônio ao longo da banda operacional espectral utilizada, realizado diariamente. Ao final de um dia, a partir dos resultados médios das calibrações diárias, é gerada uma constante que é comparada com a constante de referência do Brewer. Dias com valores muito distantes da referência não são usados, visto que podem indicar problemas com o equipamento ou fontes de energia elétrica, o que não pode ser corrigido apenas com calibração.

6.2 Descontinuidades dos Dados de Ozônio

Nos dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer observaram-se descontinuidades devido principalmente aos seguintes fatores:

- * **Nebulosidade:** em dias muito nublados ou com chuva, o espectrofotômetro não consegue coletar medidas válidas de DS, esta é substituída pela medida ZS (Céu Zênite), que é mais imprecisa. As medidas ZS não são utilizadas neste trabalho.

- * Períodos de trocas de equipamento: houve duas trocas de equipamentos, uma em 1999 e a segunda em 2002, resultando em ausência significativa de dados nesses períodos.

A maioria dessas discontinuidades foi completada com dados de ozônio da coluna total do sensor TOMS, e com dados de ozônio do instrumento OMI a partir do ano de 2006, para a mesma latitude do Observatório Espacial do Sul, de forma a obter-se um arquivo com o mínimo de falhas possível. Apenas no período de julho de 1994 a julho de 1996 que não se tem dados do TOMS. A utilização de dados de ozônio do TOMS e OMI para completar falhas do Brewer é possível, pois os equipamentos apresentam uma boa correlação entre seus dados, conforme mostra a Figura 6.1, com dados do período de 1992 a 2007, onde se visualiza as discontinuidades; em preto são os valores encontrados pelo Brewer, em vermelho pelo TOMS e em verde pelo OMI. Pode-se observar a boa correlação entre os dados, a diferença média entre os instrumentos Brewer e TOMS é de 2,6 % e entre Brewer e OMI de 1,4 % possibilitando a análise.

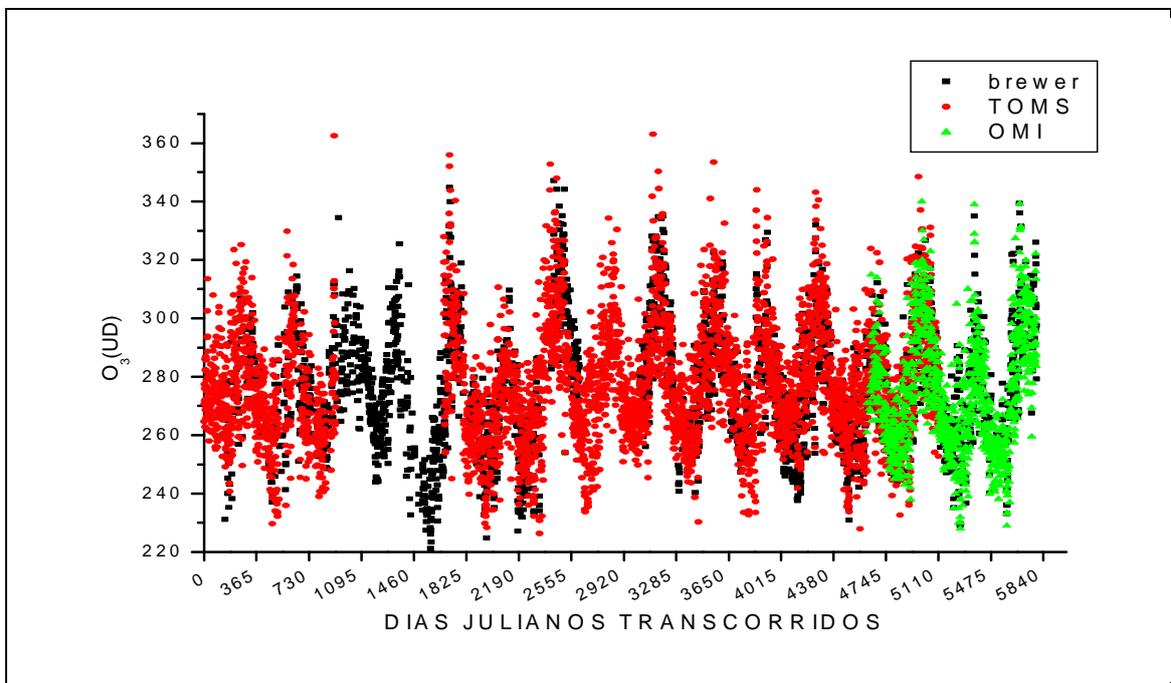


Fig. 6.1 - Comparação entre a coluna total de ozônio fornecida pelos equipamentos Espectrofotômetro Brewer (em preto), pelo sensor TOMS (em vermelho) e pelo instrumento OMI (em verde), no período de

01/01/1992 a 09/11/2007 para o Observatório Especial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

6.3 Análises dos Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico no Sul do Brasil

A fim de comprovar os efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT, realizou-se o estudo de transporte isentrópico, bem como foram geradas trajetórias de massas de ar provenientes da Antártida, evidenciando o que indicam os dados dos satélites TOMS e OMI que mostram a injeção de massas de ar pobre em ozônio na região do OES.

Os valores médios de ozônio para a região do Observatório Espacial do Sul nos meses de setembro e outubro, os quais são meses de primavera no hemisfério Sul, período de máxima coluna de ozônio, e ao período em que a região é mais atingida pelos efeitos secundários, são apresentados nas Figuras 6.2 e 6.3. As médias da coluna total de ozônio foram calculadas para os dados do Espectrofotômetro Brewer de todos os setembros e outubro, respectivamente, de 1992 a 2007. Essas médias foram calculadas considerando-se todos os dias destes meses, inclusive os que apresentaram queda na coluna total de ozônio devido aos efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico, estando, portanto, minimizadas em relação aos valores que deveriam ser encontrados para esses meses caso a região não fosse afetada pelo buraco de ozônio Antártico.

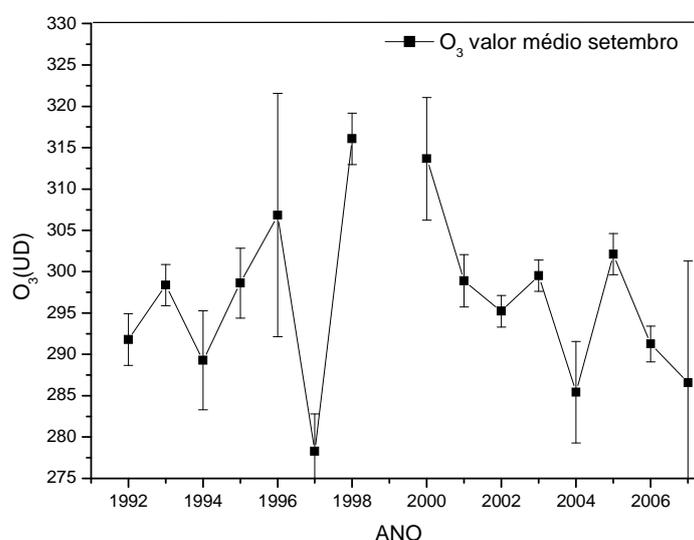


Fig. 6.2 – Dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer para o Observatório Espacial do Sul, valores médios dos setembros de 1992 a 2007.

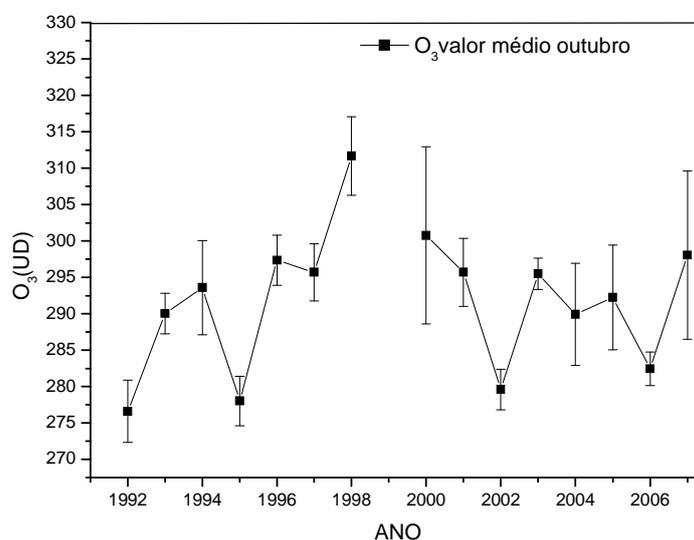


Fig. 6.3 – Dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer para o Observatório Espacial do Sul, valores médios dos outubro de 1992 a 2006.

Analisando todos os anos, o valor médio de ozônio para a região do Observatório Espacial do Sul é $296,8 \pm 9,97$ UD no mês de setembro e de $292,86 \pm 9,47$ UD no mês de outubro.

Entre todos os eventos de efeitos secundários do buraco de ozônio antártico analisados, estão apresentados aqui os mais trabalhados pela bolsista no decorrer do projeto.

6.3.1 Análise para eventos do ano de 2000

O ano de 2000 foi um dos mais atingidos pelos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico; aqui são mostrados dois eventos ocorridos no mês de outubro.

A análise isentrópica é realizada plotando-se o dia anterior e o dia em que a queda no conteúdo total de ozônio foi registrada, a fim de avaliar a Vorticidade Potencial Absoluta (VPA). Um aumento na VPA é observado constatando-se a origem polar das massas de ar, Figura 6.4 para evento ocorrido no início de outubro, acompanhada pela Figura 6.5 de imagens de satélite onde se observa a influência do “Buraco”, e Figura 6.7

(VPA) e 6.8 (TOMS) para evento ocorrido no final do mesmo mês. Os campos de ventos sobrepostos a VPA nas Figuras 6.4 e 6.7, indicam o caminho do pólo para subtropicais, o qual é confirmado com as trajetórias correspondentes, Figuras 6.6 e 6.9, respectivamente. Sempre são mostrados dados do dia anterior a chegada do evento para se caracterizar o aumento na VPA. Esses eventos apresentaram uma queda para 276,6 UD no dia 9 e para 274,4 UD dia 23, quando o valor médio de ozônio para a região do Observatório Espacial do Sul é de 291,3 +/- 9,8 UD no mês de outubro. As superfícies isentrópicas são plotadas a 620K que é aproximadamente 24km de altitude e as trajetórias de massas de ar também foram geradas para essa mesma altitude, pois essa é região que apresenta a maior concentração de ozônio. As *backtrajetories* são isentrópicas, essa é a melhor análise já que o ar estratosférico se mantém por vários dias em uma superfície isentrópica devido a alta temperatura potencial que evita o movimento para cima e para baixo de massas de ar. Nas trajetórias são analisados até 7 dias de antecedência ao dia de queda na coluna total de ozônio, como indicam os cálculos de Prather and Jaffe (1990), massas de ar Antártico podem permanecer isoladas por um período de 7 a 20 dias depois da separação do vórtice, período que pode ser suficiente para propagação para baixas e médias latitudes

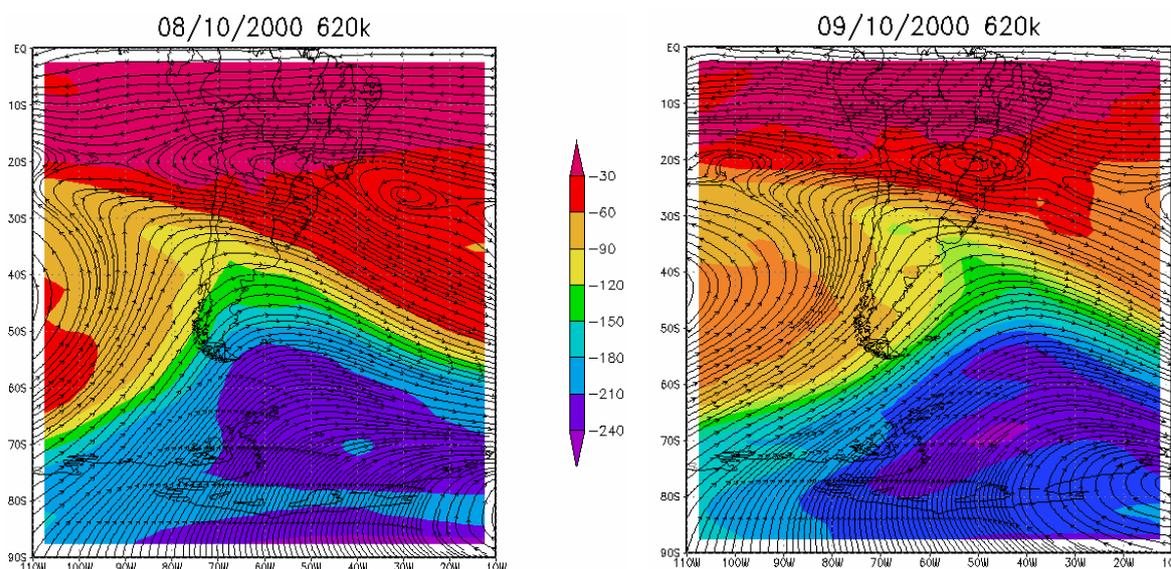


Fig. 6.4 - Modelo de transporte da superfície isentrópica 620K para os dias 8 e 9 de outubro de 2000, com os campos de vento sobrepostos indicando a direção dos ventos calculados no CRS/CIE/INPE - MCT.

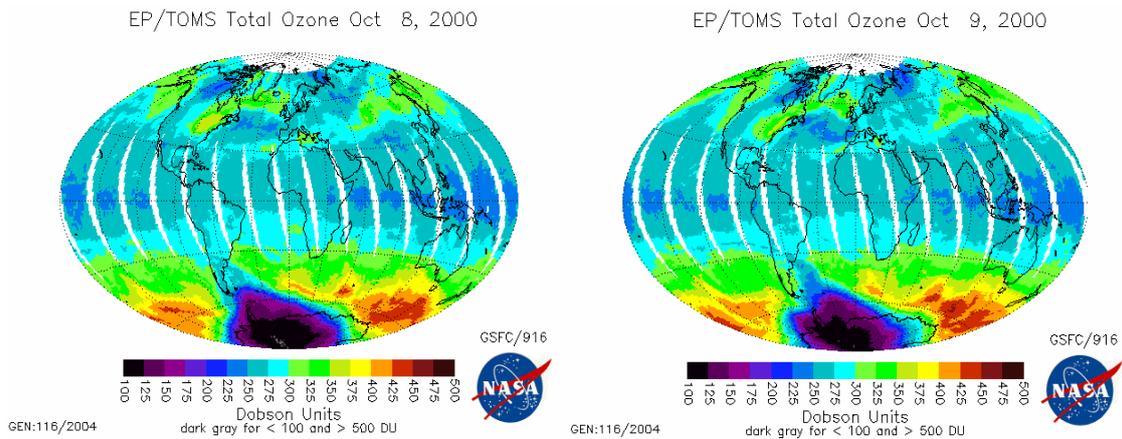


Fig. 6.5 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 08 e 09 de outubro de 2000. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html.

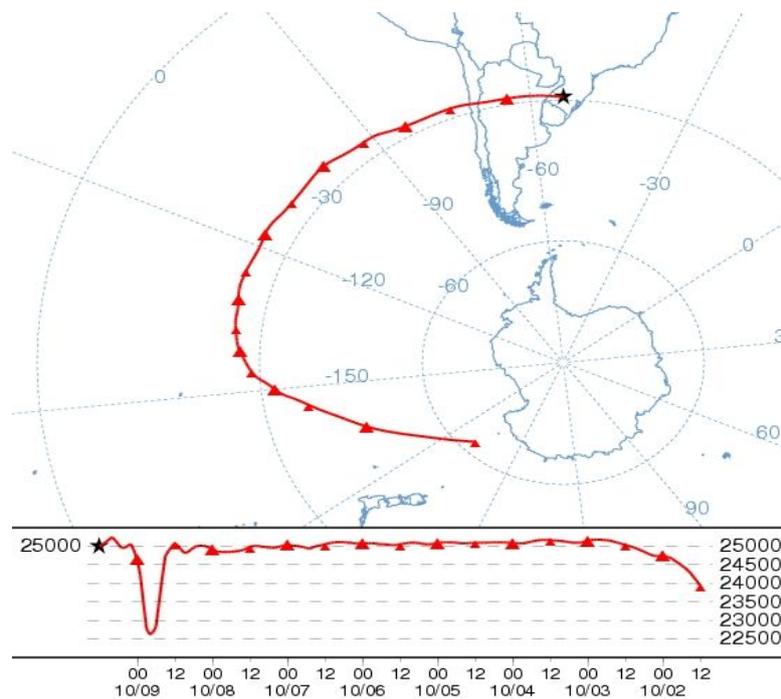


Fig. 6.6 – Trajetória retroativa (backtrajectory – Modelo HYSPLIT) dos ventos mostrando a origem polar de massas de ar sobre o Observatório Espacial do Sul, dia 09 de outubro de 2000 a 25 km, 12 UT.

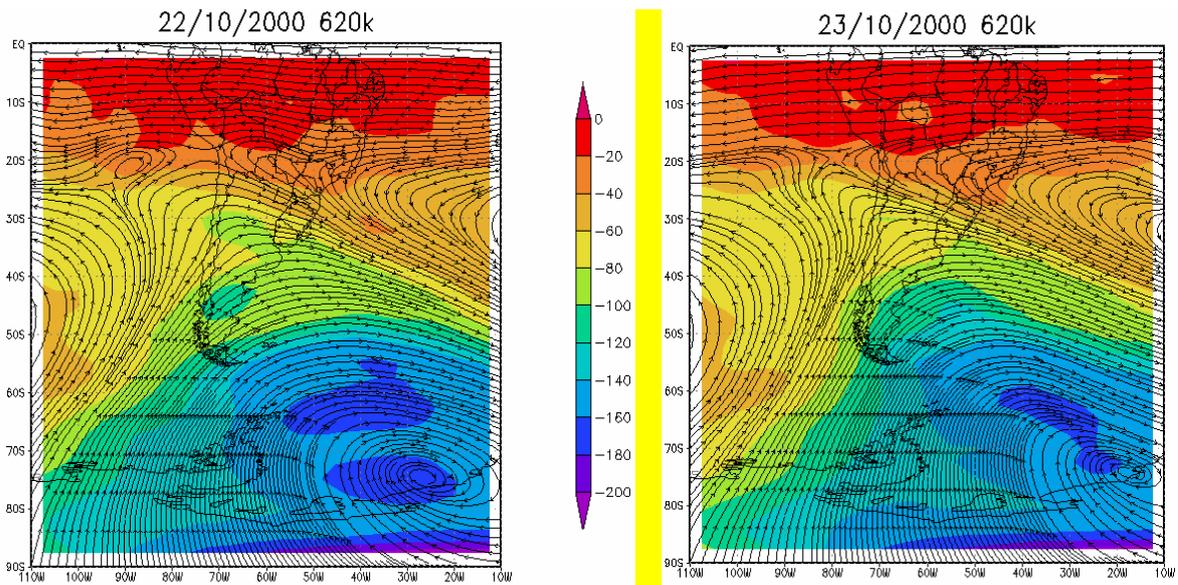


Fig. 6.7– Modelo de transporte da superfície isentrópica 620K para os dias 22 e 23 de outubro de 2000 com campos de ventos sobrepostos calculado no CRS/CIE/INPE – MCT.

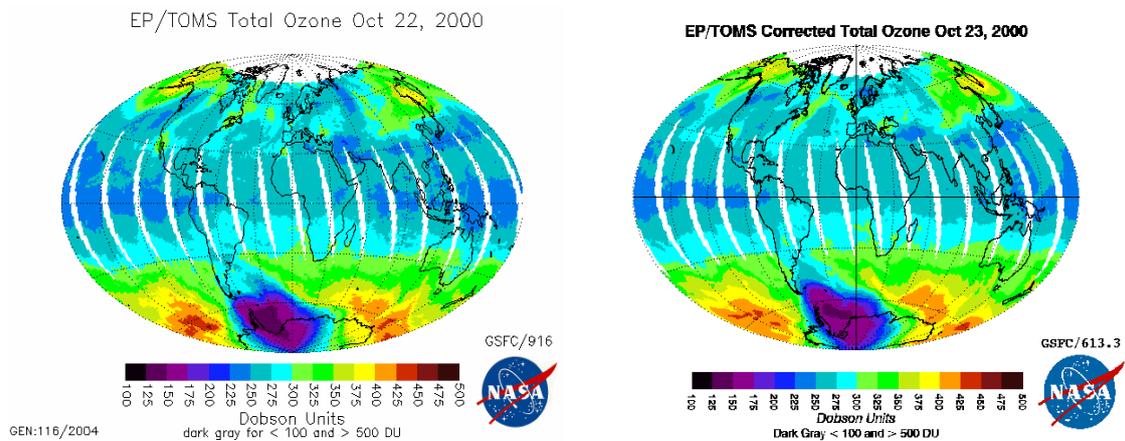


Fig. 6.8. Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 22 e 23 de outubro de 2000. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html.

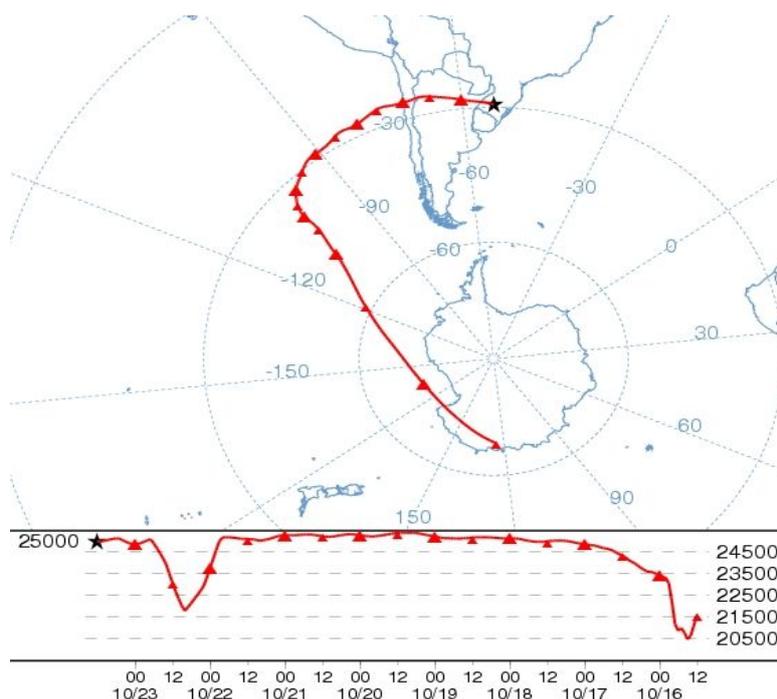


Fig. 6.9 – Trajetória retroativa (backtrajectory – Modelo HYSPLIT) dos ventos mostrando a origem polar de massas de ar sobre o Observatório Espacial do Sul, dia 23 de outubro de 2000 a 25 km, 12 UT.

6.3.2 Análise para eventos do ano de 2005

No ano de 2005 houve somente um evento, mas neste observa-se perfeitamente as massas de ar pobres em ozônio chegando à região central do Rio Grande do Sul. Através da análise isentrópica observa-se o aumento da VPA na região nos dias 11 e 12 de outubro, Figura 6.10, as imagens de satélite mostram perfeitamente uma “língua” do “Buraco” nos atingindo nos dois dias, Figura 6.11 e a trajetória de massa de ar comprova a origem polar das massas de ar, Figura 6.12. No dia 12 de outubro de 2005, observou-se uma coluna de 273,98 UD.

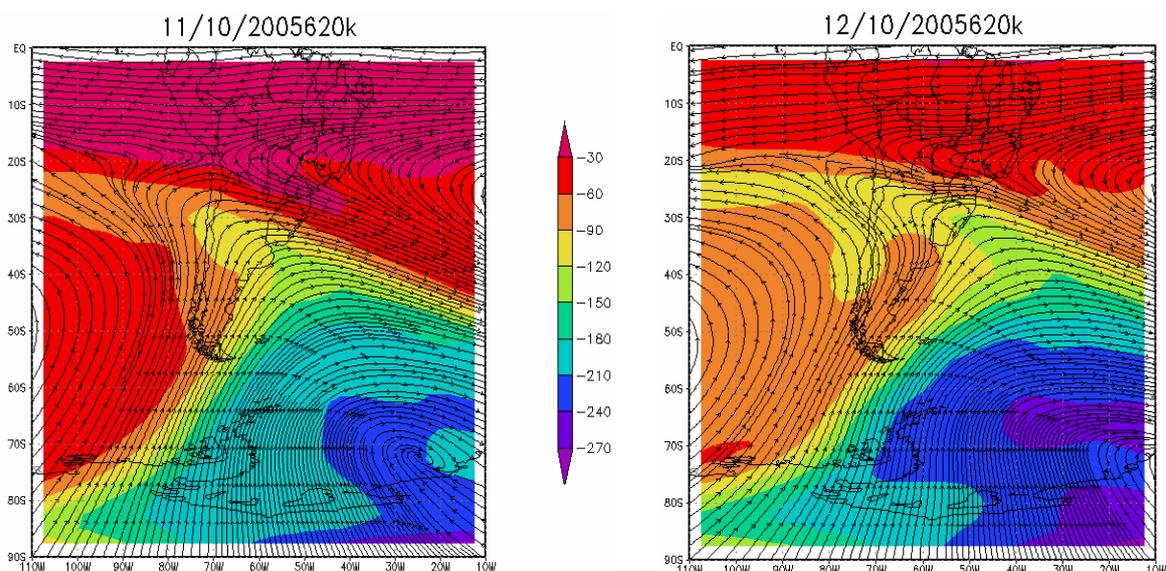


Fig. 6.10– Modelo de transporte da superfície isentrópica 620K para os dias 11 e 12 de outubro de 2005 com campos de ventos sobrepostos calculado no CRS/CIE/INPE – MCT.

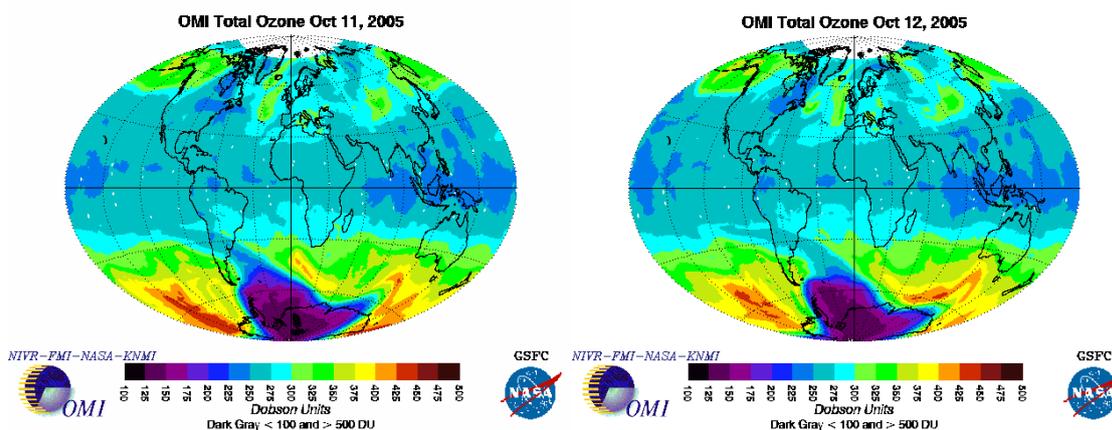


Fig. 6.11. Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 11 e 12 de outubro de 2005. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html.

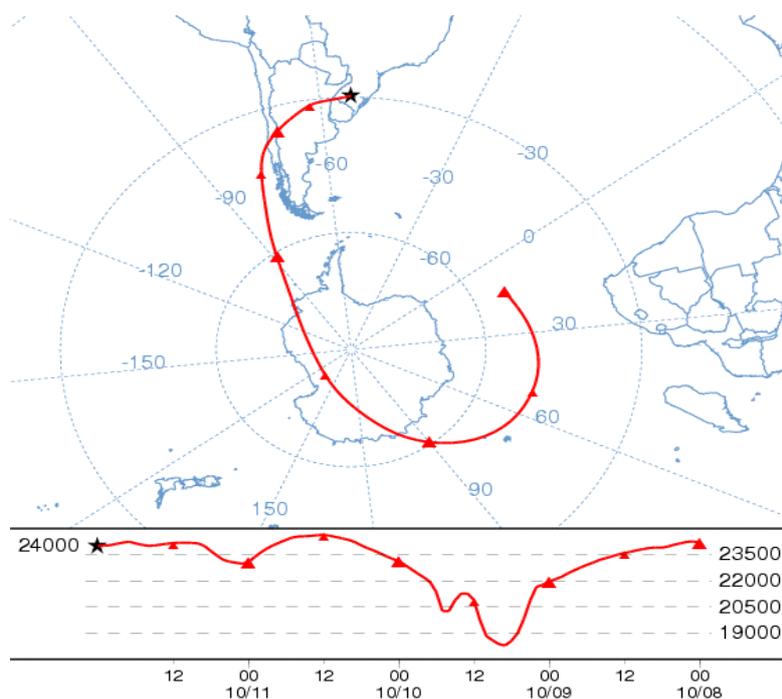


Fig. 6.12 – Trajetória retroativa (backtrajectory – Modelo HYSPLIT) dos ventos mostrando a origem polar de massas de ar sobre o Observatório Espacial do Sul, dia 12 de outubro de 2005 a 24 km.

6.3.3 Análise para eventos do ano de 2007

O último ano analisado assim como os outros também apresentou queda na coluna total de ozônio sobre o Observatório Espacial do Sul, no qual se observou um valor de 267,58 UD, medida efetuada pelo Brewer, para o dia 08 de outubro de 2007. Como mostram os modelos de transporte isentrópico, Figura 6.13, houve aumento da VPA nos dias 7 e 8 de outubro, imagens de satélite complementam a análise comprovando influência do Buraco de Ozônio Antártico, Figura 6.14, bem como a trajetória de massa de ar para o dia 8, Figura 6.15. Fica também comprovado para este evento que a influência na queda da coluna total de ozônio para o OES foi a injeção de massas de ar pobre em ozônio provenientes da Antártida, considerado um Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico.

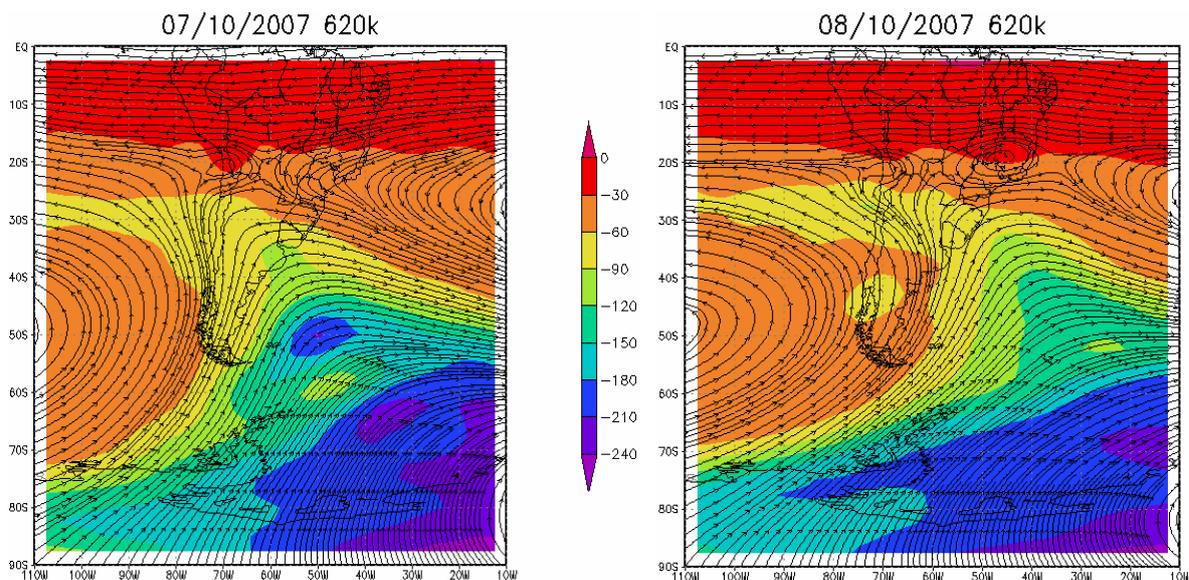


Fig. 6.13– Modelo de transporte da superfície isentrópica 620K para os dias 7 e 8 de outubro de 2007 com campos de ventos sobrepostos calculado no CRS/CIE/INPE – MCT.

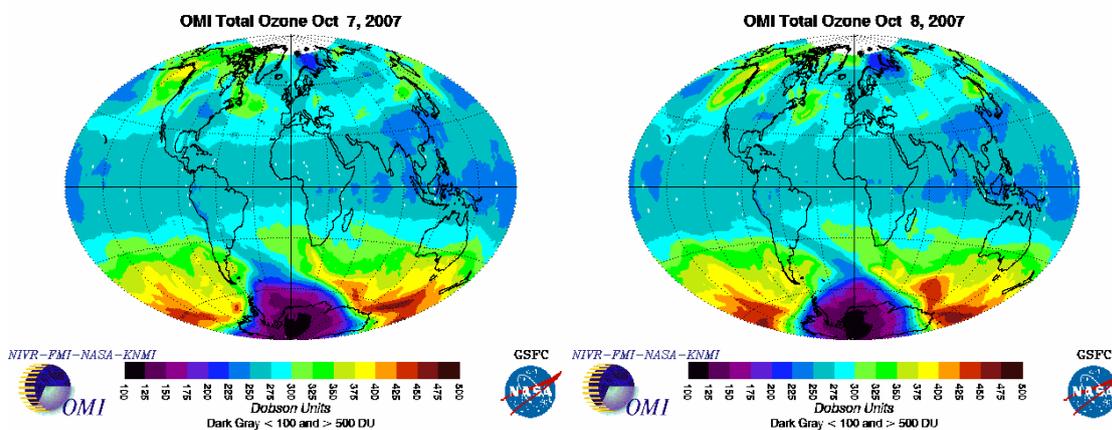


Fig. 6.14. Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 7 e 8 de outubro de 2007. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html.

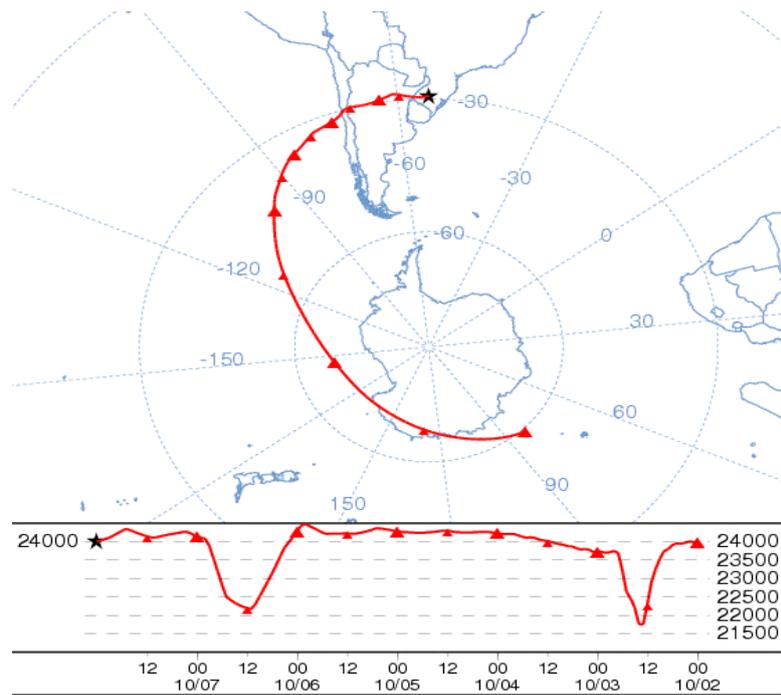


Fig. 6.15 – Trajetória retroativa (backtrajectory – Modelo HYSPLIT) dos ventos mostrando a origem polar de massas de ar sobre o Observatório Espacial do Sul, dia 08 de outubro de 2007 a 24 km.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS

No decorrer desse Projeto foram analisados dados da coluna total de ozônio do equipamento Brewer e satélites TOMS e OMI. Foi dada uma atenção especial aos dias em que houve medidas abaixo da média mensal, cujos eventos ocorrem nos meses em que o buraco de ozônio esta aberto, principalmente para os meses de setembro e outubro, nos quais as médias são altas para a região do Observatório Espacial do Sul e nos dias de eventos as medidas foram bem abaixo da média. Primeiramente, através das imagens de satélite do TOMS e OMI observou-se que as massas que chegam à região do Observatório eram provenientes da região do Buraco de Ozônio Antártico. Através da análise isentrópica dos eventos, pode-se observar que ocorreu um aumento da “vorticidade potencial absoluta” na região do Observatório, proveniente da região polar Antártica, conseqüentemente ocasionando o transporte de massas de ar pobre em ozônio para a Região Sul do Brasil. Os campos de vento sobrepostos a VPA confirmam a trajetória da VPA, indicando o sentido de viagem das massas de ar do pólo para a região subtropical. As trajetórias de massa de ar complementam a análise mostrando que, quando o “buraco” está aberto, podem ocorrer “efeitos secundários do Buraco do Ozônio Antártico” na Região Sul do Brasil que podem ser detectados no Observatório Espacial do Sul.

Pretende-se, para um segundo período do Projeto, dar continuidade ao estudo sobre ozônio, fazer análises nos dados de sondagem de ozônio troposférico e estratosférico, manter o banco de dados de ozônio sempre atualizado e observar a provável ocorrência de novos eventos de Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico. Além disto, pretende-se caracterizar os eventos secundários quanto aos valores médios de queda de ozônio sobre a região do Observatório Espacial do Sul, número de dias para que a massa de ar Antártica chegue ao sul do Brasil e nível de altitude no qual a massa chega preferencialmente, o que pode ser verificado pela análise de Vorticidade Potencial, trajetória isentrópica da massa de ar e com o auxílio das sondagens estratosféricas de ozônio.

CAPÍTULO 8

TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS

Ao longo do período da bolsa, o bolsista participou dos seguintes eventos com apresentação de trabalhos e/ou publicação em anais:

- Análise dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a Região Central do Rio Grande do Sul ocorridos nos anos de 2004 e 2005 através da análise dos campos de vento

PEREIRA, Nadiara, LEME, Neusa Paes, PINHEIRO, Damaris K., SCHUCH, Nelson Jorge, BERTAGNOLLI, Caroline, POSSANI, Germano. XXII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e VII Feira de Protótipos, 2007, Passo Fundo.

- Estudos de casos da influência de queimadas do centro e norte do Brasil, norte da Argentina e Paraguai sobre o centro do Rio Grande do Sul medida através de Espessura Ótica de Aerossóis.

PEREIRA, Nadiara, SCHUCH, Nelson Jorge, PINHEIRO, Damaris K., POSSANI, Germano, SOARES, Ana M., BERTAGNOLLI, Caroline. 10th International Congress of Brazilian Geophysical Society, 2007, Rio de Janeiro.

- Análise dos Picos de Espessuras Ópticas de Aerossóis Sobre o Observatório Espacial do Sul (29.4° S, 53,8° O) de 1997 a 2006.

POSSANI, Germano, SCHUCH, Nelson Jorge, SOARES, Ana M., **PEREIRA, Nadiara**, BERTAGNOLLI, Caroline, SANTOS, Luana Serafini dos, PINHEIRO, Damaris K, Avalá, C. Plínio. 10th International Congress of Brazilian Geophysical Society, 2007, Rio de Janeiro.

- Comportamento Sazonal das Espessuras Ópticas de Aerossóis entre os anos de 1997 a 2006 no Observatório Espacial do Sul

SOARES, Ana M., SCHUCH, Nelson Jorge, PINHEIRO, Damaris K, Avalá, C. Plínio, POSSANI, Germano, **PEREIRA, Nadiara**, BERTAGNOLLI, Caroline. 10th

International Congress of Brazilian Geophysical Society, 2007, Rio de Janeiro.

- Análise da variação das espessuras ópticas de aerossóis com o comprimento de onda na faixa do ultravioleta no período de 1997 a 2006 no Observatório Espacial do Sul

SOARES, Ana M., PINHEIRO, Damaris K, SCHUCH, Nelson Jorge, Avalá, C. Plínio, POSSANI, Germano, **PEREIRA, Nadiara**, BERTAGNOLLI, Caroline. XXII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e VII Feira de Protótipos, 2007, Passo Fundo.

-Estudo de caso: variação diurna das Espessuras Ópticas de Aerossóis para os dias com e sem picos no Observatório Espacial do Sul entre 1998 e 2007.

POSSANI, Germano, PINHEIRO, Damaris K, SCHUCH, Nelson Jorge, Avalá, C. Plínio, SOARES, Ana M., **PEREIRA, Nadiara**. XXII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e VII Feira de Protótipos, 2007, Passo Fundo.

-Estudo de caso: Eventos de queima de biomassa e as massas de ar sobre o centro do Rio Grande do Sul.

PEREIRA, Nadiara, PINHEIRO, Damaris K., SCHUCH, Nelson Jorge, POSSANI, Germano, SOARES, Ana M. 22ª Jornada Acadêmica Integrada – UFSM, 2007, Santa Maria.

-Influência de queimadas do centro e norte do Brasil, norte da Argentina e Paraguai sobre o centro do Rio Grande do Sul medida através de Espessura Óticas de Aerossóis.

SOARES, Ana M., PINHEIRO, Damaris K., SCHUCH, Nelson Jorge, POSSANI, Germano, **PEREIRA, Nadiara**. 22ª Jornada Acadêmica Integrada – UFSM, 2007, Santa Maria.

-Influência de queimadas sobre o Rio Grande do Sul medida através de Espessura Óticas de Aerossóis – SICINPE 2007.

POSSANI, Germano, ALVALÁ, Plínio C., PINHEIRO, Damaris K., SCHUCH,

Nelson Jorge, **PEREIRA, Nadiara**, SOARES, Ana M. 22ª Jornada Acadêmica Integrada – UFSM, 2007, Santa Maria.

O seguinte trabalho esta aceito para ser apresentado:

- Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região central do Rio Grande do Sul para o ano de 2000.

PEREIRA, Nadiara, BERTAGNOLLI, Caroline, POSSANI, Germano, PINHEIRO, Damaris K., SCHUCH, Nelson Jorge, LEME , Neusa Paes, FERREIRA, Nelson Jesus. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia - agosto de 2008, São Paulo.

CAPÍTULO 9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual**, MKIV #081, 1999.
- Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual**, MKIII #167, 1999.
- DOBSON, G. M. B. – Ozone in the Atmosphere, In: DOBSON, G.M.B. **Exploring the Atmosphere**. Oxford: University Press, p. 111-136, 1968.
- EARTH OBSERVING SYSTEM (EOS) AURA. Disponível em: http://aura.gsfc.nasa.gov/instruments/omi/omi_gallery.html.
- EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY. Disponível em: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>.
- FARMAN, J. C.; GARDINER, B. G. and SHANKLIN, J. D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. **Nature**, v. 315, p. 207-210, 1985.
- GARCIA, R.R. and SOLOMON, S. A Possible Relationship Between Interannual Variability in Antarctic Ozone and the Quasi-Biennial Oscillation. **Geophysical Research Letters**, v. 14, p. 848-851, 1987
- GrADS Script Library. Disponível em: <http://www.iges.org/grads/gadoc/library.html>
- GrADS Software. Disponível em: <http://www.iges.org/grads/downloads.html>
- HOLTON, J. R., **An introduction to Dynamic Meteorology**, Elsevier Academic Press, Fourth Edition, 535 p., San Diego, USA, 2004.
- 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.
- KIRCHHOFF, V. W. J. H. BARNES, R.A. and TORRES, A.L., Ozone climatology at Natal, from in situ ozonesonde data, **J. Geophys. Res.**, 96, 899-909, 1991

MOORE, J. T. **Isentropic analysis and interpretation – Operational Applications to synoptic and mesoscale forecast problems**. National Weather Service Training Center, Kansas City, Missouri, 99p., 1993.

PRATHER, M. and JAFFE, H. Global impact of the Antarctic ozone hole: chemical propagation. **J. Geophys. Res.**, v. 95, p. 3413-3492, 1990.

READY HYSPLIT TRAJECTORIES. Disponível em:

<<http://www.arl.noaa.gov/ready/open/traj.html>>.

SAHAI, Y., KIRCHHOFF, V. W. J. H., PAES LEME, N. M. and CASICCIA, C. Total ozone trends in the tropics, **J. Geophys. Res.**, 105, 19,823-19,828, 2000.

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.

SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N., **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**, John Wiley and Sons, 1998.

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.

SOLOMON, S. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 3, p. 275-316, 1999.

TOTAL OZONE MAPPING SPECTROMETER. Disponível em:

<http://toms.gsfc.nasa.gov/index_v8.html>.

<http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html>.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**, Editora UFV, Viçosa, 449 p., 2000.

WAKAMATSU, S., UNO, I., VEDA, H., UEHARA, K., and TATEISHH, H.
Observational study of stratospheric ozone intrusions into the lower troposphere,
Atmos. Environ., Pittsburg, 23, 1815-1826, 1989.

WHITTEN, R. C. and PRASAD, S. S., **Ozone in Free Atmosphere**. Van Nostrand
Reinhold Company, New York, 288 p., 1985.