



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**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  
ESPESSURAS ÓTICAS DE AEROSSÓIS**

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

**PROCESSO Nº 105453/2006-7**

**Germano Possani (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)**

**E-mail: [germano@lacesm.ufsm.br](mailto:germano@lacesm.ufsm.br)**

**Dr. Plínio Carlos Alvalá (INPE - MCT, Orientador)**

**E-mail: [plinio@dge.inpe.br](mailto:plinio@dge.inpe.br)**

**Dr. Nelson Jorge Schuch (CRS/CIE/INPE - MCT, Co-Orientador)**

**E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)**

**Dra. Damaris Kirsch Pinheiro (LACESM/CT - UFSM, Co-Orientadora)**

**E-mail: [damaris@lacesm.ufsm.br](mailto:damaris@lacesm.ufsm.br)**

**Santa Maria, Julho de 2007**

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Título: 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 ESPESSURAS ÓTICAS DE AEROSSÓIS**

**Processo CNPq Nº:** 105453/2006-7

### **Bolsista:**

Germano Possani

Curso de Engenharia Química

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

Centro de Tecnologia - CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### **Orientador:**

Plínio Carlos Alvalá

Laboratório de Ozônio - Divisão de Geofísica Espacial-DGE/CEA/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT

### **Co-Orientadores:**

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Dr<sup>a</sup>. Damaris Kirsch Pinheiro

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

### **Colaboradores:**

Ana Marcelli Soares - UFSM

Nadiara Pereira – UFSM

Caroline Bertagnolli - UFSM

### **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

Relatório Final de Atividades, 2007



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



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:** **aguardando certificação pela instituição**  
**Ano de formação:** 1992  
**Data da última atualização:** 18/06/2007 17:11  
**Lider(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@pq.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)  
 Damaris Kirsch Pinheiro - [damaris@lacesm.ufsm.br](mailto: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](mailto: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 DBO/IB-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 físico-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 (NO<sub>2</sub> - SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>); 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<sub>J-UV</sub>, 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: 16**

<a href="#">André Passaglia Schuch</a>	<a href="#">Lucymara Fassarella Agnez Lima</a>
<a href="#">Augusta Maria Passaglia Schuch</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Carlos Frederico Martins Menck</a>	<a href="#">Marcelo Pizzuti Pais</a>
<a href="#">Damaris Kirsch Pinheiro - (líder)</a>	<a href="#">Nelson Jesus Ferreira</a>
<a href="#">Enio Bueno Pereira</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch - (líder)</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Neusa Maria Paes Leme</a>
<a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a>	<a href="#">Plínio Carlos Alvalá</a>
<a href="#">Fernando Ramos Martins</a>	<a href="#">Ricardo André Guarnieri</a>

**Estudantes** **Total: 12**

<a href="#">Ana Marcell Soares</a>	<a href="#">Luana Serafini dos Santos</a>
<a href="#">Caroline Bertagnoli</a>	<a href="#">Marcus Guedes</a>
<a href="#">Daniel Vinicius Florin</a>	<a href="#">Nadliara Pereira</a>
<a href="#">Diogo Alessandro Arsego</a>	<a href="#">Pabulo Henrique Rampelotto</a>
<a href="#">Germano Possani</a>	<a href="#">Rafael Jonas Righi Batista</a>
<a href="#">Gustavo Pereira Guerra</a>	<a href="#">Simone Spiazzi Favarin</a>

**Técnicos** **Total: 5**

Anderson Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica  
 Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação  
 Fabrício Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico de Manutenção  
 Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas  
 Roben Castagna Lunardi - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação

**Linhas de pesquisa** **Total: 2**

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

**Empresas associadas ao grupo** **Total: 0**

**Indicadores de recursos humanos do grupo**

	Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)		16
Estudante(s)		12
Técnico(s)		5

Relatório Final de Atividades, 2007



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

**Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação**

**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](#)  
[Fernando Luis 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 Marcell Soares](#)  
[Caroline Bertagnoli](#)  
[Germano Possani](#)  
[Gustavo Pereira Guerra](#)  
[Luana Serafini dos Santos](#)  
[Nadlira Pereira](#)  
[Pabulo Henrique Rampelotto](#)  
[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 biológicos-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**

O bolsista gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus por todas as oportunidades em seu caminho e pela Família que sempre o apoiou em todos os momentos dessa jornada.

Ao orientador Dr. Plínio Carlos Alvalá, da Divisão de Geofísica Espacial DGE/CEA/INPE - MCT, em São José dos Campos, SP pela atenção e orientação que dedicou ao bolsista durante o período de Projeto.

Em especial ao Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch pela confiança, pela ajuda na conquista desta bolsa, sempre auxiliando nos momentos de grande dificuldade.

A Co-Orientadora Dr<sup>a</sup>. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, por toda atenção, apoio ao desenvolvimento do projeto, paciência, dedicação, orientação, além de toda a constante ajuda e incentivo.

Ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, por ter possibilitado a realização deste Projeto Científico.

Aos companheiros do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico.

Aos funcionários do LACESM/CT e da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, em particular ao Luis Fermino Nascimento e Francisco Almeida pelo apoio durante todo o Projeto. Além de todos os funcionários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, que colaboraram para o desenvolvimento deste Projeto, em especial as secretárias Egídia e Angelita pelo apoio e atenção para com os alunos/estagiários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é o estudo da influência de queimadas realizadas nas regiões centro e norte do Brasil, norte da Argentina e Paraguai sobre a região centro do Rio Grande do Sul medida através de Espessuras Ópticas de Aerossóis (EOA). Para isto foi aplicado o Método de Langley, a partir do qual foi calculada a Espessura Óptica Atmosférica, possibilitando o cálculo da Espessura Óptica de Aerossóis, para os períodos da manhã e tarde, separadamente. A utilização do Método de Langley requer dias de céu limpo, sem interferência de nuvens, a fim de se obter ótimas correlações entre a massa de ar e a Radiação UV incidente. Para se aplicar esta metodologia, foram utilizados dados de medidas DS (Direto ao Sol) dos Espectrofotômetros Brewer MKIV #081 (1997 – 2000), MKII #056 (2000 – 2002) e MKIII #167 (2002 – 2006), instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT (29,42°S, 53,87°O), em São Martinho da Serra, através de uma cooperação entre o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM, o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT e o Laboratório de Ozônio – LO/DGE/CEA/INPE – MCT. Foram utilizadas as medidas de DS obtidas de janeiro de 1997 a dezembro de 2006 para inferir a Espessura Óptica de Aerossóis. Após a obtenção da EOA, foram separados os dias normais dos dias onde ocorreram Picos, ou seja, dias com valores acima da média de espessura de aerossóis, tendo se obtido 45 manhãs e 28 tardes para analisar. Uma análise da ocorrência dos picos de aerossóis mostra que os mesmos foram encontrados em maior número nos meses de agosto, setembro, outubro e dezembro para as manhãs e durante os meses de maio, julho e, principalmente, agosto para as tardes. Estas ocorrências estão associadas, provavelmente, a queima de biomassa. Um estudo das prováveis causas dos picos de aerossol para o Observatório Espacial do Sul mostrou a sua ocorrência juntamente com o período de queima de biomassa nas regiões Central e Norte do Brasil, bem como o período de queimadas regionais, indicando, portanto, uma possível influência desta fonte de aerossóis na região central do Rio Grande do Sul.

## *SUMÁRIO*

<b>DADOS DE IDENTIFICAÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivo do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico (PMOA) .....	11
2.2. Objetivos do Projeto .....	11
2.3 Objetivos Específicos do Projeto.....	11
<b>CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
3.1 Importância dos aerossóis.....	13
3.1.1 Influência no balanço energético da Terra e Clima.....	13
3.1.2 Núcleos Condensadores de Nuvens.....	15
3.1.3 Influência na Produção agrícola .....	15
3.1.4 Redução da visibilidade.....	16
3.1.5 Validação de dados de satélites .....	17
3.2 Particulados Atmosféricos de acordo com a distribuição de tamanho .....	17
3.3 Fontes Emissoras de Aerossóis e outros Particulados.....	19
<b>CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
4.1 Equipamentos utilizados na análise.....	20
4.1.1 Espectrofotômetro Brewer.....	20
4.1.2 Satélites.....	24
4.1.2.1 Satélites NOAA 12 e 16 .....	24
4.1.2.2 Satélite AQUA.....	24
4.2 Método de Langley .....	25
<b>CAPÍTULO 5 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA.....</b>	<b>32</b>
5.1 Visitas Técnicas ao Observatório Espacial do Sul .....	32
5.1.1 Calibração do Espectrofotômetro Brewer .....	32
5.1.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos .....	33
5.1.2.1 Troca da Sílica Gel .....	33
5.1.2.2 Limpeza e Polimento .....	33
5.1.3 Processamento de Schedules para o Espectrofotômetro Brewer.....	34
5.1.4 Coleta de Dados.....	34
5.1.5.1 Processamento dos dados de espessuras e gases traço .....	34
5.1.5.1.1 Arquivo countvJJJAA.167 .....	35
5.1.5.1.2 Arquivos O3DSJJJAA.167 e O3ZSJJJAA.167 .....	36
5.1.5.1.3 Arquivos O3DSJJJ_JJJ_AA.167 e O3ZSJJJ_JJJ_AA.167.....	36
5.1.5.1.4 Arquivo ETCJJJ_JJJ_AA.167 .....	37
5.1.5.1.5 Arquivo LogJJJ_JJJ_AA.167 .....	37
5.1.5.2 Redução dos dados de EOA .....	37



<b>CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS.....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO 8 – TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS.....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO 9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico - PMOA vem sendo realizado desde 1992 no sul do Brasil em Santa Maria - RS, através da Parceria entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT, o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM e o Laboratório de Ozônio do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais – LO/DGE/CEA/INPE – MCT. Neste período, diversos equipamentos foram instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, dentro da parceria entre o INPE/MCT e a UFSM e da Cooperação Internacional em Ciências Espaciais e Atmosféricas Brasil - Japão. Cooperação esta desenvolvida no Brasil pelo CRS/CIE/INPE - MCT em conjunto com LACESM/CT - UFSM.

No Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico do CRS/CIE/INPE - MCT, onde é desenvolvido o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, existe uma série de equipamentos que monitoram continuamente a Radiação Ultravioleta Tipo A e Tipo B, a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e a Coluna Total de Ozônio Atmosférico.

O estudo dos aerossóis atmosféricos é de grande importância, uma vez que são responsáveis pela degradação da visibilidade (Finlayson-Pitts, B. J. and Pitts, J., 2000; Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N., 1998), atenuação da radiação ultravioleta (Liu et al. 1991; Krzyscin and Puchalski, 1998), podendo atuar como núcleo de formação de nuvens na atmosfera (Finlayson-Pitts, B. J. and Pitts, J., 2000) e são, portanto, indicadores indiretos de poluição do ar.

Este trabalho analisa a Espessura Óptica de Aerossóis através dos dados fornecidos pelos Espectrofotômetros Brewer MKIV #081 (1997 – 2000), MKII #056 (2000 – 2002) e MKIII #167 (2002 – 2006), instalados no Observatório Espacial do Sul (29.4° S, 53,8° O) de Janeiro de 1997 a Dezembro de 2006.

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico (PMOA)**

O PMOA, desenvolvido dentro do Programa de Cooperação Técnico-Científica entre o CRS/CIE/INPE - MCT e o LACESM/CT - UFSM, executado em Convênio com o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Convênio: MMA - UFSM, em Cooperação com o Laboratório de Ozônio do INPE/MCT, no âmbito do Convênio INPE - UFSM e Convênio Agência Espacial Brasileira - Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência - Convênio: AEB/PR - FATEC/UFSM. Esta cooperação objetiva realizar o monitoramento, as análises estatísticas e a evolução da Camada de Ozônio, na latitude de 30° Sul, acompanhando e estudando a expansão do fenômeno “Buraco de Ozônio Antártico” e seus efeitos secundários na latitude de Santa Maria/São Martinho da Serra, bem como a correlação com o monitoramento sistemático da radiação ultravioleta, de partículas de radiação cósmica, de gases traçadores atmosféricos, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, com dados físicos e meteorológicos obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlação com os fenômenos da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, junto ao Observatório Espacial do Sul do CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

#### **2.2. Objetivos do Projeto**

O objetivo geral deste trabalho é o estudo da influência de queimadas realizadas nas regiões centro e norte do Brasil, norte da Argentina e Paraguai sobre a região centro do Rio Grande do Sul medida através de espessuras óticas de aerossóis.

#### **2.3 Objetivos Específicos do Projeto**

- Realização de medidas de radiação solar direta na faixa de UV, através da técnica Direto ao Sol (DS), e obtenção dos valores de espessuras óticas atmosféricas e de aerossóis, aplicando o Método de Langley, utilizando o Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra.

- Obtenção da climatologia das espessuras óticas de aerossóis através da análise da série temporal dos dados coletados pelo Brewer, de 1992 a 2006, na região Central do Rio Grande do Sul.

## CAPÍTULO 3

### DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

#### 3.1 Importância dos aerossóis

Os aerossóis atmosféricos consistem em um complicado sistema de partículas líquidas ou sólidas suspensas em uma mistura gasosa (Heintzenberg, J., 1994; Finlayson-Pitts e Pitts, 2000). A importância destas partículas vai além de indicadores indiretos de poluição atmosférica. Os aerossóis podem atenuar até 35% da radiação UV-B (Kylling et al., 1998) e desta forma influenciar no clima do planeta (Waggoner et al., 1981; Charlson et al., 1990; IPCC, 1995; Schwartz, 1996). A atenuação de radiação por aerossóis, além de influenciar na formação de ozônio troposférico através da modificação do balanço energético da atmosfera (Dickerson et al., 1997), interfere na produção agrícola, reduzindo a incidência de radiação fotossinteticamente ativa (Chameides et al., 1999). São fundamentais no processo de formação de nuvens, além de contribuírem significativamente para a redução da visibilidade.

##### 3.1.1 Influência no balanço energético da Terra e Clima

Quando um fluxo de radiação atravessa a atmosfera, a intensidade da radiação muda devido à interação com a matéria (Begum, 1998). Para manter o balanço de energia da Terra, todo o fluxo de radiação que chega ao planeta deve ser balanceado por um fluxo que parte da Terra sob a forma de radiação infravermelha. Qualquer alteração nesses fluxos levará a um desequilíbrio no clima do planeta.

Os aerossóis podem influenciar em ambos os fluxos do balanço de energia. Partículas com tamanhos inferiores a 1  $\mu\text{m}$  agem de forma muito efetiva no espalhamento da radiação vinda do Sol, refletindo parte desta de volta para o espaço, inclusive parte da radiação infravermelha. Partículas de poeira mineral, provenientes de erosão e desfragmentação do solo, devido ao seu tamanho e composição podem absorver e espalhar tanto a radiação incidente como a radiação emitida da Terra. Na banda da radiação visível, as partículas de poeira mineral refletem de volta para o espaço parte da radiação reduzindo a quantidade de radiação disponível no sistema, o que pode se

traduzir em uma redução da temperatura da atmosfera. Na banda do infravermelho essas partículas agem como absorvedores, assim como os gases do efeito estufa, causando um aquecimento da atmosfera. Costuma-se dizer que esses efeitos causam impactos diretos no clima do planeta (Seinfeld e Pandis, 1998).

As nuvens troposféricas interagem com ambos os fluxos de radiação: solar e terrestre, podendo contribuir para tanto para o aquecimento como para o resfriamento global. As nuvens estratiformes marinhas encontradas na camada limite refletem de volta para o espaço a radiação solar, resultando em uma forçante radioativa com valores negativos e, portanto em um resfriamento na atmosfera. Porém, essas nuvens absorvem parte da radiação infravermelha terrestre e emitem aproximadamente na mesma temperatura da superfície terrestre. Contudo, nuvens do tipo cirrus e nuvens convectivas profundas encontradas próximas a Tropopausa emitem radiação infravermelha para o espaço com temperaturas baixas, características desta região da atmosfera. Devido a essa emissão de energia a baixas temperaturas, o saldo de emissão infravermelha para o espaço é pequeno, levando a forçante radiativa a valores positivos, portanto de aquecimento. Como resultado, a forçante radiativa para nuvens baixas sobre o oceano é negativo e positivo para regiões continentais com nuvens altas. O balanço de todas essas forçantes radiativas tem um efeito médio negativo de aproximadamente  $20 \text{ W/m}^2$ , (Baker, 1997).

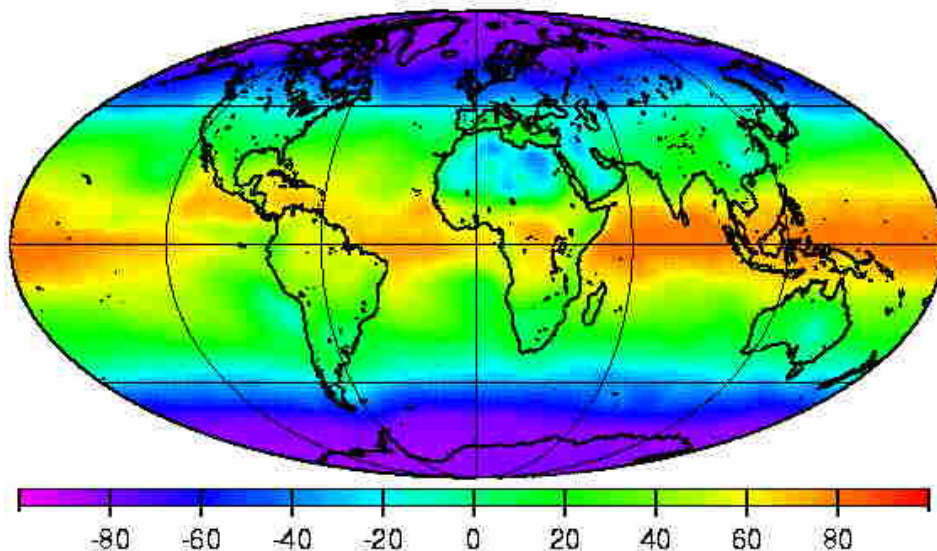


Fig. 3.1 – Média anual global do balanço radioativo da Terra em  $\text{W/m}^2$ .

Fonte: [www.atmosphere.mpg.de/enid/te.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/te.html)

Deve ser considerado ainda o impacto causado por aerossóis de origem vulcânica sobre regiões próximas. Em 1783 uma grande erupção vulcânica ocorrida na Islândia teria provocado um severo inverno sobre a Europa. Este fato levou o cientista Benjamin Franklin a sugerir uma possível redução na incidência de radiação solar. Algumas simulações e observações após a erupção do Monte Pinatubo mostram um resfriamento da temperatura global de 0,5° C.

### **3.1.2 Núcleos Condensadores de Nuvens**

O efeito indireto no clima ocorre devido ao fato das partículas de aerossol atuarem como núcleos de condensação de nuvens (NCN), podendo dessa forma alterar as propriedades físicas e ópticas das nuvens, tais como distribuição do tamanho das gotas e albedo (Twomey, 1977, Kaufman e Fraser, 1997). Existe a possibilidade do aumento da nebulosidade, o que pode modificar a fração de radiação refletida de volta ao espaço e o padrão de precipitação, alterando o ciclo hidrológico da Terra (Hinds, 1982, Crutzen e Andreae, 1990).

Se a concentração de aerossóis aumentar substancialmente como resultado das emissões antropogênicas, o número de gotículas de nuvens aumentará, pois é governado pelo número de partículas de aerossóis nas pré-nuvens. Um aumento no número de gotículas de nuvens levará a um acentuado espalhamento múltiplo da luz pelas nuvens e um aumento na espessura óptica e albedo das nuvens. A extensão de uma nuvem e o seu tempo de vida devem também serem aumentados. Em essência, o aumento no número de gotículas de nuvens repercute diretamente no número de núcleos condensadores de nuvens (Seinfeld e Pandis, 1998).

De acordo com Seinfeld e Pandis, 1998, o número de NCN em massas de ar continentais é maior que na atmosfera marinha. A concentração de NCN no ar marítimo, influenciada por emissões antropogênicas, dificilmente ultrapassa os 100 cm<sup>-3</sup>, enquanto que concentrações de NCN em regiões continentais ultrapassam os 1000 cm<sup>-3</sup>.

### **3.1.3 Influência na Produção agrícola**

Os aerossóis atmosféricos ao atuarem como atenuadores da radiação solar acabam impedindo parcialmente a passagem da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que é

a radiação utilizada pelas plantas para realização da fotossíntese. Essa radiação está na faixa da luz visível (400 a 700 nm). Esse efeito é mais significativo em países em desenvolvimento tipicamente agrícolas como é o caso da China. De acordo com Chameides et al., 1999, os aerossóis atmosféricos causaram uma redução de  $80 \text{ W/m}^2$  de radiação PAR durante o período de safra na China em 1995. Isso representa uma diminuição de 25% sobre a radiação PAR incidente.

### 3.1.4 Redução da visibilidade

A distancia visual,  $x_v$ , é definida como a maior distância a que um observador consegue identificar um objeto no horizonte. A habilidade humana de enxergar através da atmosfera depende da concentração de partículas suspensas e dos gases, uma vez que ambos podem espalhar e absorver a luz, causando a aparência de uma neblina, uma diminuição do contraste e uma mudança na percepção da cor dos objetos distantes.

Muitas colorações atmosféricas são causadas pela absorção dos aerossóis de determinados comprimentos de onda, contudo a degradação da visibilidade é consequência direta da propriedade de espalhamento dos aerossóis. Quando ocorre redução da visibilidade, as partículas na atmosfera entre o observador e o objeto espalham a luz proveniente do Sol e outras partes do céu através da linha de visão do observador.



(a)

(b)

Fig. 3.2 – Imagem ilustrando a degradação da visibilidade em a) com 240 km de comprimento visual e b) apenas com 70 km.

Fonte: <http://www.mpg.de/english/portal/index.html>





Fig. 3.3 – Região urbana com grande quantidade de gases poluidores redutores da visibilidade atmosférica.

Fonte: <http://www.mpg.de/english/portal/index.html>

### **3.1.5 Validação de dados de satélites**

A quantificação das EOA é de fundamental importância para a validação de dados de satélites. Em geral, os detectores de radiação UV e CTO embarcados em satélites, realizam essas medidas a partir da radiação retro-espalhada. A obtenção da atenuação da radiação UV a partir de medidas em solo é de vital importância na validação destes sensores, bem como os utilizados no estudo do albedo planetário e na alimentação dos modelos de clima e tempo.

### **3.2 Particulados Atmosféricos de acordo com a distribuição de tamanho**

Por definição os particulados atmosféricos devem ter diâmetro entre 0,002 e 100  $\mu\text{m}$ . Contudo, não existe um critério que defina exatamente as extremidades desse intervalo. Costuma-se adotar que o limite superior desse intervalo seja um fino chuvisco ou partículas muito finas de areia que devido ao seu elevado tamanho, rapidamente irão sedimentar na atmosfera. As partículas mais importantes em termos de propriedades químicas e físicas na atmosfera estão no intervalo de 0,002 a 10  $\mu\text{m}$ , (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000).

Os tipos mais comuns de partículas atmosféricas de acordo com Seinfeld e Pandis 1998 são:

- ✓ **Aerossóis, Aerocolóides ou Sistemas Aerodispersos** – partículas finas dispersas em gases.
- ✓ **Poeira** (dust) – aerossol de partículas sólidas formado por desintegração mecânica de um material, tal como moagem; apresenta partículas no intervalo desde sub-microns-metro até o visível.
- ✓ **Bruma ou Nevoeiro** (fog) – termo não muito usado para aerossóis visíveis onde a fase dispersa é líquida. Normalmente, uma dispersão de gelo ou água, próxima ao solo.
- ✓ **Fumo** (fume) – aerossol de partículas sólidas produzido por condensação de vapores ou produtos gasosos de combustão; apresenta partículas geralmente menores que 1  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Neblina** (haze) – aerossol que impede a visão e consiste da combinação de gotículas d'água, poluentes e poeira; apresenta partículas geralmente menores que 1  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Névoa** (mist) – normalmente água na forma de partículas suspensas na atmosfera na superfície ou próxima a ela. Pequenas gotículas de água flutuantes ou em queda, similares a forma de chuva e algumas vezes são distinguidas de bruma (fog) como sendo mais transparentes ou por terem partículas perceptivelmente se movendo para baixo; apresenta partículas geralmente maiores que 1  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Smog** – aerossol produto de reações fotoquímicas, normalmente combinado com o vapor de água; o termo é derivado das palavras em inglês *smoke* e *fog*; as partículas são normalmente menores que 1 ou 2  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Fumaça** (smoke) – aerossol visível resultante de combustão incompleta; as partículas podem ser sólidas ou líquidas e com diâmetros normalmente menores que 1  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Fuligem** (soot) – aglomerados de partículas de carbono impregnadas com alcatrão, formadas a partir da combustão incompleta de material carbonáceo.

As partículas menores que 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro encontram-se na atmosfera em maior número, geralmente de 10 a alguns milhares por  $\text{cm}^3$ , enquanto as que excedem 1  $\mu\text{m}$  normalmente possuem concentrações inferiores a 1 por  $\text{cm}^3$ .

### **3.3 Fontes Emissoras de Aerossóis e outros Particulados**

De acordo com a fonte emissora, os aerossóis podem ser de origem natural ou antropogênica, ambos são ainda classificados em primários e secundários. Aerossóis Primários são aqueles aerossóis introduzidos diretamente na atmosfera, seja de origem natural ou antropogênica. Já os Aerossóis Secundários são formados na atmosfera por componentes gasosos desta, sofrendo a conversão de gás para partícula.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGIA**

#### **4.1 Equipamentos utilizados na análise**

Os dados sobre a EOA 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).

##### **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 O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub>. Este equipamento foi instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em Martinho da Serra, a partir de um convênio entre a UFSM e o INPE/MCT, durante o período de 1992 – 2000 funcionou 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 equipamento 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  $\lambda$  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.

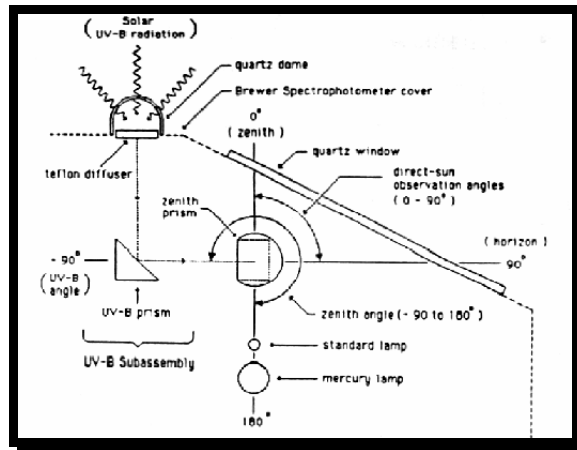


Fig. 4.1 - Possíveis posicionamentos do prisma e caminhos percorridos pela luz até chegar ao prisma nos Brewers MKII e MKIV. Fonte: Manual de Operação do Espectrofotômetro Brewer MK II.

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. Este sistema 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.

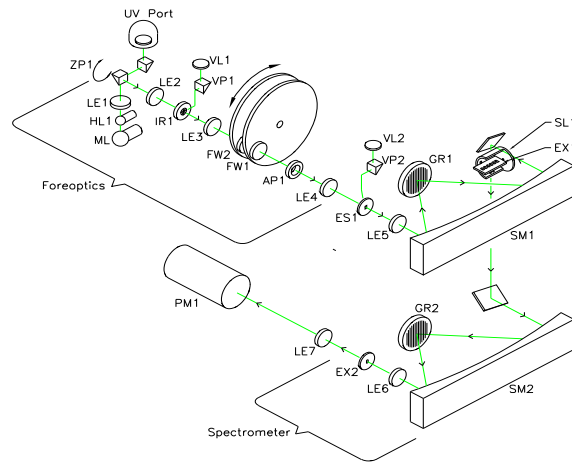


Fig. 4.2 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MK III. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK III.

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 - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

#### 4.1.2 Satélites

Satélites como NOAA 12 e 16 da National Oceanic and Atmospheric Administration e o AQUA da NASA possuem sensores infravermelhos capazes de detectar focos de calor. Dessa forma é possível inferir focos de queimadas a partir de 30 x 0,5 m, o que é comumente chamado de Píxel.

##### 4.1.2.1 Satélites NOAA 12 e 16

O NOAA 12, Figura 4.4, foi lançado em Maio de 1991 e encontra-se operando a uma altitude de 833 km, possui órbita quase polar, sincronizada com o Sol e período de 101,4 minutos. Mede 5 canais dentro da banda espectral de: 0,58 a 12  $\mu\text{m}$ . O satélite NOAA 16 foi lançado em Setembro de 2000, possui 6 canais dentro da mesma banda do NOAA 12.

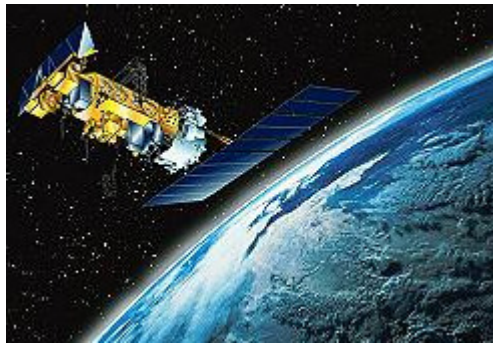


Fig. 4.4 – Satélite NOAA 12 em órbita.

Fonte: <http://www.jcoppens.com/sat/tech/n12.php>

##### 4.1.2.2 Satélite AQUA

O AQUA foi lançado em Maio de 2002 pela NASA e opera a 705 km de altitude. Trás a bordo diversos instrumentos entre eles a Sonda de Infravermelho Atmosférica (AIRS – Atmospheric Infrared Sounder) responsável pelas medidas de focos de calor, Figura 4.5. Assim como os satélites NOAA 12 e 16 possui órbita quase polar, conforme mostra a Figura 4.6.



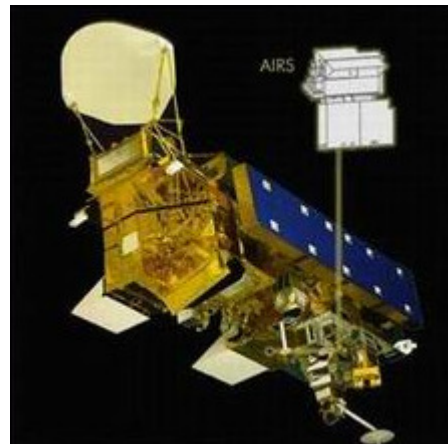


Fig. 4.5 – Instrumento AIRS do Satélite AQUA da NASA.

Fonte: [http://disc.gsfc.nasa.gov/AIRS/airsL1B\\_Rad.shtml](http://disc.gsfc.nasa.gov/AIRS/airsL1B_Rad.shtml)

Este instrumento possui 2378 canais de infravermelho e 4 canais de visível próximos do Infravermelho, medindo a radiação refletida pela Terra de 0,4 a 1,0  $\mu\text{m}$  e de 3,7 a 15,4  $\mu\text{m}$ . O seu campo de visão é de  $\pm 49,5^\circ$ .

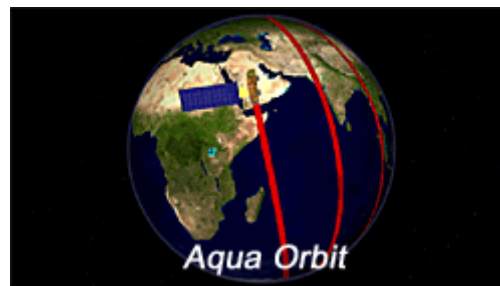


Fig. 4.6 – Órbita do Satélite AQUA da NASA.

Fonte: [http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Aqua/Aqua\\_animations.html](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Aqua/Aqua_animations.html)

## 4.2 Método de Langley

O Método de Langley é uma aplicação da Lei de Beer-Bouguer-Lambert para a atmosfera terrestre irradiada pela luz solar (Yavorsky e Detlaf, 1980). A Lei de Beer-Bouguer-Lambert, ou apenas Lei de Beer, juntou os estudos dos pesquisadores Pierre Bouguer (1729), Johann Heinrich Lambert (1760) e August Beer (1852) na tentativa de quantificar amostras a partir da absorção eletromagnética. No final do século XIX Samuel Pierpont Langley propôs a relação da incidência de radiação no topo da atmosfera com a incidência na superfície através da Espessura Óptica Atmosférica,  $\tau_{at}$ , (Coulson, 1975). Portanto, a Lei de Beer pode ser tomada na forma da Equação (4.1)

$$I_{\lambda} = I_{o\lambda} \cdot \exp(-\tau_{at} \cdot m) \quad (4.1)$$

onde  $I_{\lambda}$  representa a Irradiância solar na superfície da Terra para o comprimento de onda  $\lambda$ ,  $I_{o\lambda}$  a Irradiância solar no topo da atmosfera terrestre para o comprimento de onda  $\lambda$ ,  $\tau_{at\lambda}$  a Espessura Óptica Atmosférica e  $m$  a massa de ar. A massa de ar  $m$  corresponde ao caminho óptico percorrido pela luz, esta é calculada através da Equação (4.2)

$$m = \sec \left[ \arcsen \left( \frac{R_{Terra} \cdot \text{sen}(\theta)}{R_{Terra} + h} \right) \right] \quad (4.2)$$

onde  $h$  representa a altura da massa de ar e  $\theta$  o ângulo solar zenital (ASZ), Figura (4.7). Sendo o raio da Terra  $R_{Terra} \gg h$ , a massa de ar pode ser calculada pela Equação (4.3) para  $ASZ < 60^\circ$  (Kasten e Young, 1989; Lenoble, 1993; Young, 1994; Marquard et al., 2000), tal que:

$$m \sim \sec(\theta) \quad (4.3)$$

O Método de Langley consiste, portanto, na linearização da Lei de Beer, o que resulta na Equação (4.4):

$$\ln I_{\lambda} = \ln I_{o\lambda} - \tau_{at\lambda} \cdot m \quad (4.4)$$

Como a radiação proveniente do Sol em todos os comprimentos de onda é considerada uma constante, chamada Constante Solar, aproximadamente  $1368 \text{ W/m}^2$  (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000) e a Irradiância incidente no topo da atmosfera terrestre na faixa do ultravioleta do tipo B possui uma taxa de variação de cerca de 0,1% ao ano (Lean, 1991; Hood, 1999; Reid, 1999; Rottman, 1999), pode-se medir Irradiâncias,  $I_{\lambda}$ , para diferentes massas de ar, diferentes ASZ, enquanto a  $\tau_{at}$  se mantiver constante.

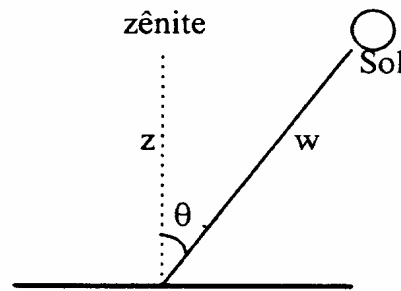


Fig. 4.7 - Esquema da geometria da atenuação da radiação solar pela atmosfera, em relação ao ponto de zênite (perpendicular à superfície terrestre). O ângulo formado pela posição do Sol e o zênite é denominado ângulo solar zenital ( $\theta$ ).

Dessa forma, haverá uma relação linear entre  $\ln I_\lambda$  e a massa de ar,  $m$ . Ajustando uma reta média à esses pontos, com inclinação igual a  $-\tau_{at}$ , quando essa reta extrapolar o eixo das ordenadas ( $m = 0$ ), para um feixe de radiação monocromática, esse valor corresponderá a radiação incidente no topo da atmosfera,  $I_{0\lambda}$ . A partir desta metodologia Langley foi capaz de determinar a constante solar (Coulson, 1975).

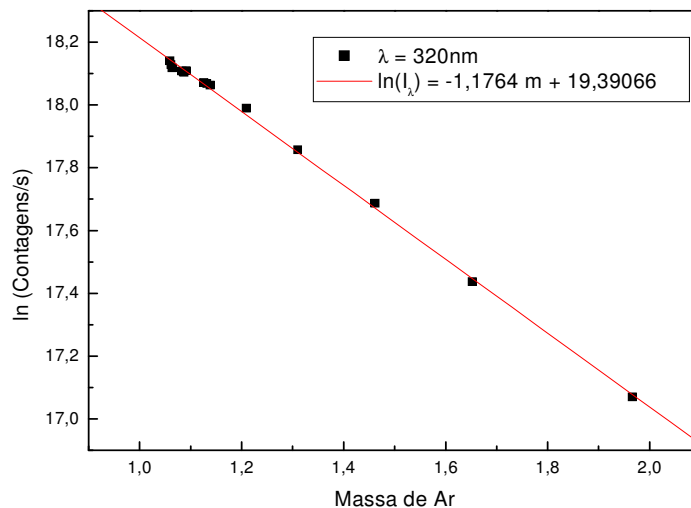


Fig. 4.8 – Aplicação do Método de Langley para a manhã do dia 21/10/2006 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT.

Uma vez obtida a  $\tau_{at}$ , a EOA pode ser estimada para um comprimento de onda específico descontando a contribuição dos gases traço: Ozônio,  $O_3$ , e Dióxido de Enxofre,  $SO_2$  e o espalhamento Rayleigh (Kirchhoff et al., 2002). A  $\tau_{at}$  pode ser expressa pela Equação (4.5):

$$\tau_{at} = \tau_R + \tau_{ae} + \tau_{SO_2} + \tau_{O_3} \quad (4.5)$$

Onde,  $\tau_{at}$  é a espessura óptica atmosférica,  $\tau_R$  é a espessura óptica do Espalhamento Rayleigh,  $\tau_{SO_2}$  é a espessura óptica pela absorção do  $SO_2$ ,  $\tau_{O_3}$  é a espessura óptica pela absorção do  $O_3$  e  $\tau_{ae}$  é a espessura óptica de aerossóis (EOA).

O Espalhamento Rayleigh foi calculado pela Equação (4.6), onde é levada em consideração a pressão local e valores de índice de refração do ar e coeficiente de despolarização (Teillet, 1990).

$$\tau_R = 0,008569 \lambda^{-4} (1 + 0,0113 \lambda^{-2} + 0,00013 \lambda^{-4}) p_{estação} \cdot p_{atm}^{-1} \quad (4.6)$$

Onde,  $p_{estação}$  é a pressão local ( $p_{OES} = 960$  hPa),  $p_{atm}$  é a pressão atmosférica ( $p_{atm} = 1013,15$  hPa) e  $\lambda$  é o comprimento de onda em nm.

As frações referentes à absorção pelos gases traço são calculadas pela Equação (4.7):

$$\tau_{xx\lambda} = \sigma_{xx\lambda} \cdot UD \cdot 2.69 \cdot 10^{16} \quad (4.7)$$

sendo  $\sigma_{xx\lambda}$  a seção de choque de absorção em  $cm^2/molécula$  (Molina e Molina, 1986; McGee and Burris Jr, 1987) e UD representa a coluna integrada de gás em Unidades Dobson. As seções de choque de absorção para os gases traço para cinco comprimentos de onda na faixa do UV-B está ilustrada na Figura 4.9.

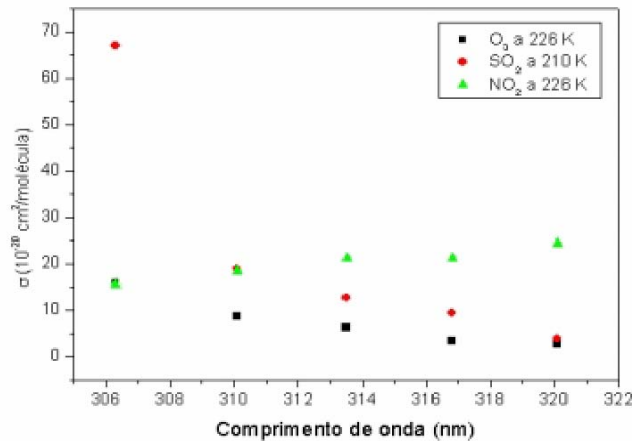


Fig. 4.9 - Seções de choque de absorção para os gases traço: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> para os comprimentos de onda ilustrados na Figura.

Fonte: Molina e Molina (1986), McGee e Burris Jr (1987).

A baixa Troposfera compreende uma região bastante turbulenta e a aplicação do método de Langley requer alguns cuidados especiais como: a ausência de nuvens no céu e uma camada de aerossóis estável na atmosfera (Silva e Kirchhoff, 2004). Contudo, é muito difícil assegurar que essas duas condições sejam satisfeitas. A fim de garantir a confiabilidade do Método de Langley, alguns critérios foram adotados para a seleção dos dias e medidas a serem analisadas:

- (i) Devido à rotina diária do Brewer, são efetuadas medidas da coluna total de O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub> ds (Direto ao Sol) 5 vezes em 3 minutos. As medidas da coluna dos gases e seus respectivos desvios padrões são registradas em um grupo de 5 medidas *ds* individuais para cada um dos comprimentos de onda, onde somente as medidas com desvios padrões iguais e inferiores a 2,5 UD são consideradas válidas.
- (ii) Para que as retas ajustadas às medidas sejam estatisticamente representativas, são necessárias no mínimo 35 medidas *ds* individuais (7 seqüências de 5 medidas).
- (iii) Somente retas com coeficiente de correlação R<sup>2</sup> maiores que 0,97 são aceitas.

- (iv) A fim de minimizar o efeito do espalhamento múltiplo, na aplicação do Método, são utilizados somente dias sem a presença de nuvens e medidas ds com ASZ inferior a  $65^\circ$ .

Um dia típico sem a presença de nuvens está representado na Figura 4.10, correspondente ao dia 2/11/2002 para os cinco comprimentos de onda obtidos do Espectrofotômetro Brewer.

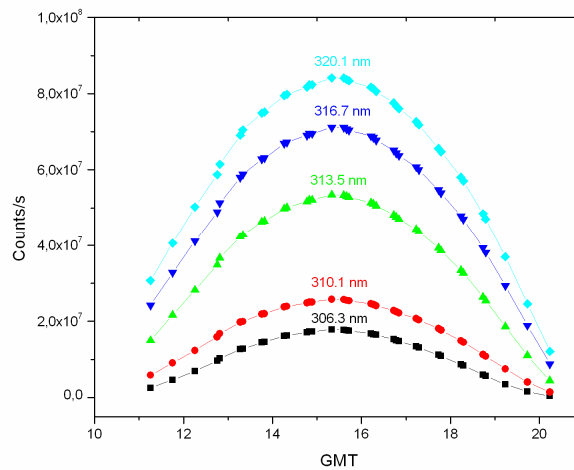


Fig. 4.10 – Medidas ds para um dia de céu claro sem nuvens no Observatório Espacial do Sul para os cinco comprimentos de onda fornecidos pelo Brewer.

A linearização das curvas da Figura 4.10, o que consiste na aplicação do Método de Langley, em função da massa de ar, leva a obtenção dos  $\tau_{at}$  para cada um dos comprimentos de onda, através da inclinação das retas, Figura 4.11.

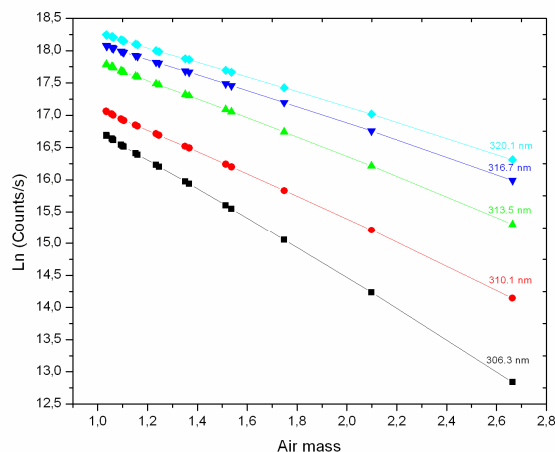


Fig. 4.11 – Método de Langley aplicado ao dia 2/11/2002 para os cinco comprimentos de onda do Brewer para o Observatório Espacial do Sul.

Uma vez calculadas as EOA, é possível determinar seu erro através teoria de propagação de erros, (Knoll, 1979), Equação 4.8.

$$\delta_{ac} = (\delta_{at}^2 + \delta_{O_3}^2 + \delta_{SO_2}^2 + \delta_R^2)^{0,5} \quad (4.8)$$

onde o erro da contribuição dos gases O<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> é calculado pela Equação 4.9 (Knoll, 1979).

$$\delta_{\delta_{gás}} = 2,69 \times 10^{16} [(N\delta_{\sigma})^2 + (\sigma\delta_N)^2]^{0,5} \quad (4.9)$$

onde  $\delta_{\sigma}$  é o erro no valor da seção de choque de absorção ( $\sigma$ ) e  $\delta_N$  é o erro no valor da coluna integrada de gás (N).

## CAPÍTULO 5

### ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

#### 5.1 Visitas Técnicas ao Observatório Espacial do Sul

Um grupo de integrantes do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico desloca-se semanalmente ao Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra - RS, com a finalidade de verificar o funcionamento dos equipamentos, calibração e manutenção preventiva, coleta de dados e limpeza de equipamentos, conforme citado a seguir.

##### 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 variações naturais. Um kit composto por uma fonte ajustável de precisão, um multímetro, um suporte para as lâmpadas e as lâmpadas padrão fornecidas pelo fabricante é utilizado para calibração.

As lâmpadas 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 UV-B. 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 em alguns comprimentos de onda, da mesma forma como se estivesse executando uma medida do tipo UV. 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 *XLdddyy.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. Esse arquivo é gerado no Software UVBrewer 2.1.

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

## **5.1.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos**

### **5.1.2.1 Troca da Sílica Gel**

Todo equipamento eletrônico é bastante vulnerável à ação da umidade, principalmente suas partes ópticas, tais como filtros a base de sílica. Assim, a maioria dos equipamentos pertencente os 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 não somente por questões estéticas, mas principalmente para diminuir a interferência de poeira, por exemplo, na absorção de energia 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 Processamento de Schedules para o Espectrofotômetro Brewer

O Espectrofotômetro Brewer opera de acordo com uma seqüência de comandos internos que lhe são designados, são os chamados *schedules*. Cada *schedule* é formado por linhas de comandos, agrupados em conjuntos de trinta minutos, de forma a otimizar as medidas de ultravioleta e coluna total de ozônio. Os *schedules* são gerados a partir do Programa *Schedit.exe*, de acordo com o ASZ, um para cada dia do ano. Depois de gerados, os arquivos assumem o formato: smsJJJ, onde JJJ representa o dia Juliano e são inseridos no diretório: c:\BREWER do Brewer.

### 5.1.4 Coleta de Dados

Visitas freqüentes ao OES/CRS/CIE/INPE – MCT são necessárias para que sejam coletados dados. O equipamento Biômetro 501-A funciona com datalogger, sendo de extrema importância a coleta periódica dos dados, pois possui um sistema de aquisição com tempo limitado. Os Radiômetros e o Espectroradiômetro, que até o início de 2005 encontravam-se acoplados a dataloggers, atualmente funcionam com laptops permitindo um período maior de armazenamento. Mesmo assim, fazem-se necessárias visitas semanais para que os dados dos equipamentos citados e também do GUV e Brewer, ligados a computadores, sejam copiados e trazidos ao CRS/CIE/INPE - MCT para redução e análise.

### 5.1.5 Redução de Dados

#### 5.1.5.1 Processamento dos dados de espessuras e gases traço

Inicialmente é necessário processar os dados brutos gerados pelo Brewer, contidos no arquivo bruto base de dados, utilizando o Programa *bcalc.exe* (Pinheiro, 2003). Para o processamento, devem estar em um mesmo diretório: o Programa *bcalc.exe*, os arquivos *bdata.nnn*, onde nnn corresponde ao número de série do Brewer (aqui apresentado o exemplo do 167), que são os arquivos de dados propriamente ditos, referentes ao período de dados que se deseja processar e o arquivo *setup.167* com as constantes de calibração do equipamento. Os arquivos base de dados do Brewer possuem o formato: BJJAA.167, onde JJJ representa o dia Juliano e o AA representa os dois últimos dígitos

do ano. Deve-se tomar o cuidado para utilizar o arquivo *setup.167* referente ao mesmo período de dados.

Para iniciar o processamento, basta abrir o Programa *bcalc.exe* e entrar com as informações solicitadas, Figura 5.1. Como pode ser visto na Figura 5.1, as informações necessárias são: ano de correspondência dos dados, número de série do Brewer, data de entrada e de fim dos dados. Ao final, o Programa irá gerar no mesmo diretório os seguintes arquivos: *countuvJJJAA.167*, *O3DSJJJAA.167*, *O3ZSJJJAA.167*, *O3DSJJJ\_JJJ\_AA.167*, *O3ZSJJJ\_JJJ\_AA.167*, *ETCJJJ\_JJJ\_AA.167* e *LogJJJ\_JJJ\_AA.167*.

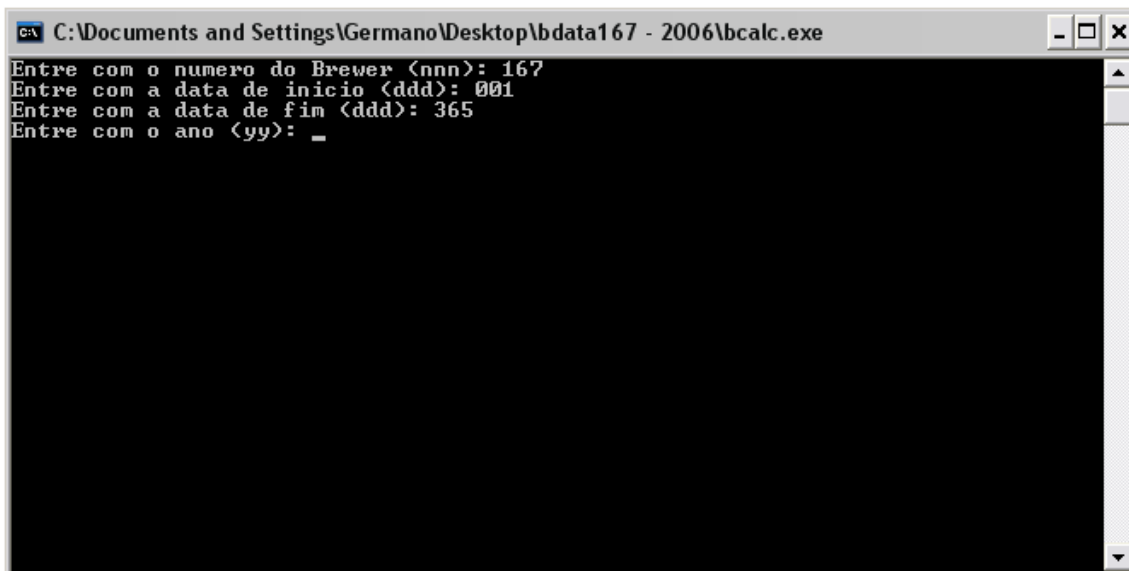


Fig. 5.1. – Tela inicial do Programa *bcalc.exe* com as informações solicitadas.

#### 5.1.5.1.1 Arquivo *countuvJJJAA.167*

Este arquivo é gerado para cada dia individualmente, onde JJJ representa o dia Juliano e AA os dois últimos dígitos do ano. É o arquivo das contagens propriamente dito, é nele que estão os valores das contagens de fótons incidentes na Fotomultiplicadora para os cinco comprimentos de onda operacionais do Brewer. Na primeira linha deste arquivo estão as informações: localidade, São Martinho da Serra e coordenadas geográficas, Lat:  $-29.44300^\circ$  e Lon:  $53,82307^\circ$ . Ele é formado por um total de dezenove colunas: hora (GMT), ASZ, massa de ar, posição do Filtro de Densidade Neutra - FDN, número de

contagens para 306,3 nm, desvio padrão das contagens em 306,3 nm, número de contagens para 310,1 nm, respectivo desvio padrão, número de contagens para 313,5 nm, respectivo desvio padrão, número de contagens para 316,8 nm, respectivo desvio padrão, número de contagens para 320,1 nm, respectivo desvio padrão, ln das contagens em 306,3 nm, ln das contagens em 310,1 nm, ln das contagens para 313,5 nm, ln das contagens para 316,8 nm e ln das contagens para 320,1 nm.

#### **5.1.5.1.2 Arquivos O3DSJJAA.167 e O3ZSJJAA.167**

Nestes arquivos encontram-se os dados diários processados de coluna total de ozônio e dióxido de enxofre, para medida DS e medida de Zênite. É gerado um arquivo por dia, onde JJJ representa o dia Juliano e AA os dois últimos dígitos do respectivo ano.

Em ambos os arquivos a primeira linha contém informações de localidade e coordenadas geográficas, conforme já citado anteriormente. Em seguida há oito colunas: hora (GMT), ASZ, massa de ar, posição do FDN, temperatura interna do equipamento (°C), medida da coluna total de ozônio, respectivo desvio padrão, coluna total de dióxido de enxofre e respectivo desvio padrão.

#### **5.1.5.1.3 Arquivos O3DSJJJ\_JJJ\_AA.167 e O3ZSJJJ\_JJJ\_AA.167**

Estes arquivos contêm as médias diárias de coluna total de ozônio e dióxido de enxofre para as medidas DS e Zênite referentes ao período de processamento dos dados. Dessa forma, cada vez que for utilizado o Programa, e, portanto, processados novos dias, Programa gera um arquivo diferente contendo todos os dias processados. A primeira linha dos arquivos possui informações de localidade e coordenadas geográficas e abaixo sete colunas: dia Juliano, ano, número de medidas, valor da coluna total de ozônio, respectivo desvio padrão, valor da coluna total de dióxido de enxofre e respectivo desvio padrão.

#### 5.1.5.1.4 Arquivo ETCJJJ\_JJJ\_AA.167

Este arquivo contém as constantes gerais resultantes dos testes de calibração diários do equipamento.

#### 5.1.5.1.5 Arquivo LogJJJ\_JJJ\_AA.167

Este arquivo contém informações do processamento e possíveis erros ocorridos durante o processamento dos dados de contagens e coluna de gases.

#### 5.1.5.2 Redução dos dados de EOA

Uma vez gerados os arquivos *countuvJJJ.167*, estes devem ser abertos no software Origin, pelo menos, de acordo com as seguintes etapas:

- 1 – Abre-se o software e seleciona-se a opção “Import” do menu “File”.
- 2 – Seleciona-se a opção “ASCII Options” e ajusta-se o delimitador para “Tab” no topo no menu, conforme Figura 5.2.

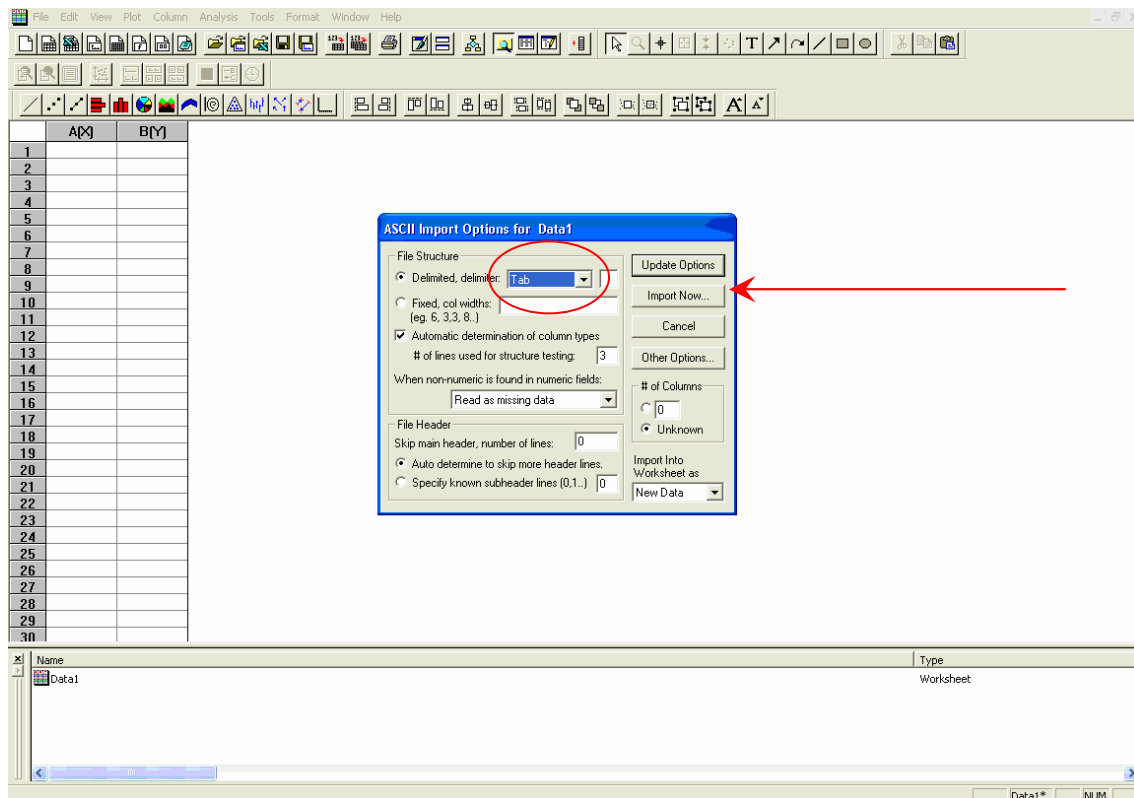


Fig. 5.2 – Menu do software Origin que possibilita configurar o arquivo a ser importado.

- 3 – Clicar em “Import Now” do Menu “ASCII Options”, Figura 5.2.

Relatório Final de Atividades, 2007

4 – Abrirá uma janela onde deve ser selecionado o arquivo correspondente ao dia a ser reduzido, no formato *countuvJJAA.167*. Feito isso, os dados aparecerão na tela do software separadas em colunas, Figura 5.3, de acordo com o formato do arquivo *countuvJJAA.167* já explicado anteriormente.

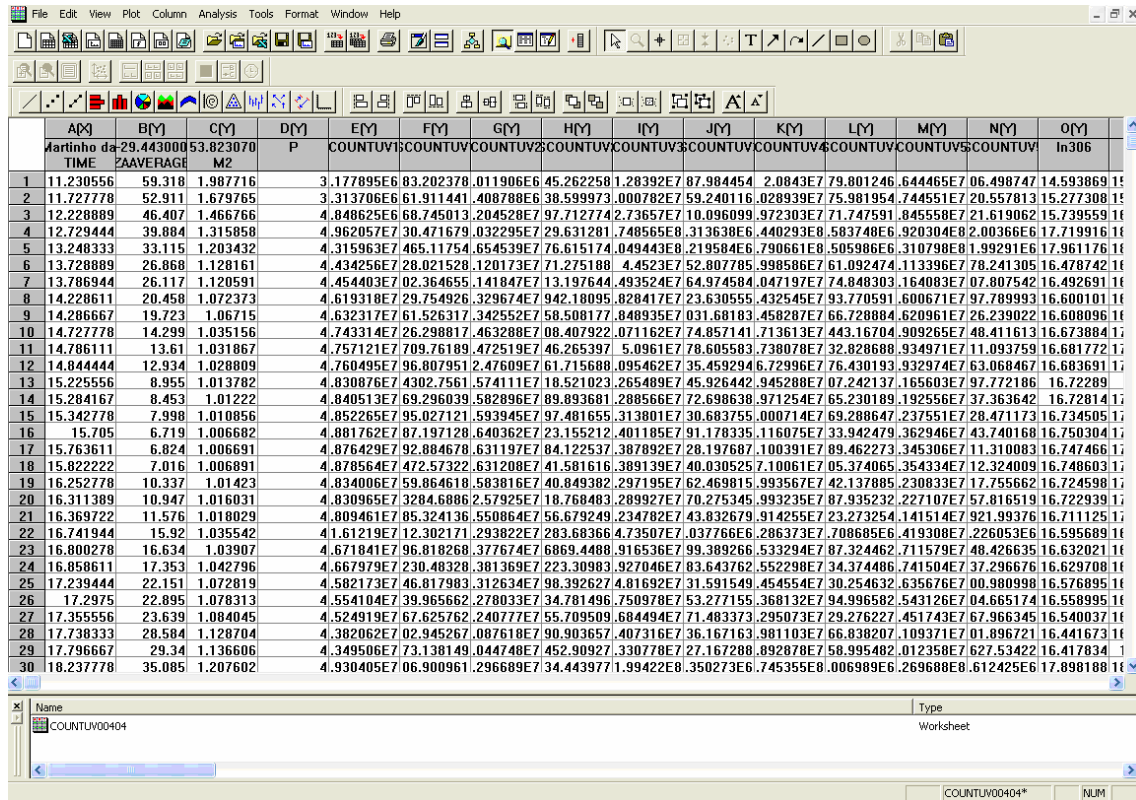


Fig. 5.3 – Arquivo *countuv00405.167* aberto no software Origin.

5 – Antes de trabalhar os dados é necessário verificar o número de casas decimais de cada coluna, isso pode ser feito através da opção “Properties”, clicando com o lado esquerdo do mouse sob o a coluna. Nesta janela alterar a opção “Significant Digits” para 12, pelo menos e pedir para aplicar a todas as colunas à direita selecionando a opção “Apply to all columns to the right”, conforme indicado na Figura 5.4.

## Relatório Final de Atividades, 2007

The screenshot displays the Microsoft Excel interface with the 'Worksheet Column Format' dialog box open. The dialog is configured for column E, which is labeled 'COUNTUV1'. The 'Numeric Display' section is expanded, showing 'Significant Digits' set to 12. A red circle highlights the 'Significant Digits' dropdown menu, and a red arrow points to the value '12'. The background shows a spreadsheet with columns A through O, containing numerical data. The spreadsheet title is 'COUNTUV00404'.

Fig. 5.4 – Opção “Properties” (Propriedades) da coluna, para ajustar o número de casas decimais.

6 – O próximo passo é verificar que o dia escolhido trata-se de um dia sem interferência de nuvens. Isso pode ser feito plotando as contagens para os cinco comprimentos de onda em função da hora. Um dia sem interferência, aparentemente, de nuvens possui o comportamento da Figura 4.8. Na Figura 5.5 está ilustrado um dia com possível interferência de nuvens, este dia não pode ser utilizado para o cálculo das EOA, pelos motivos já explicados anteriormente.

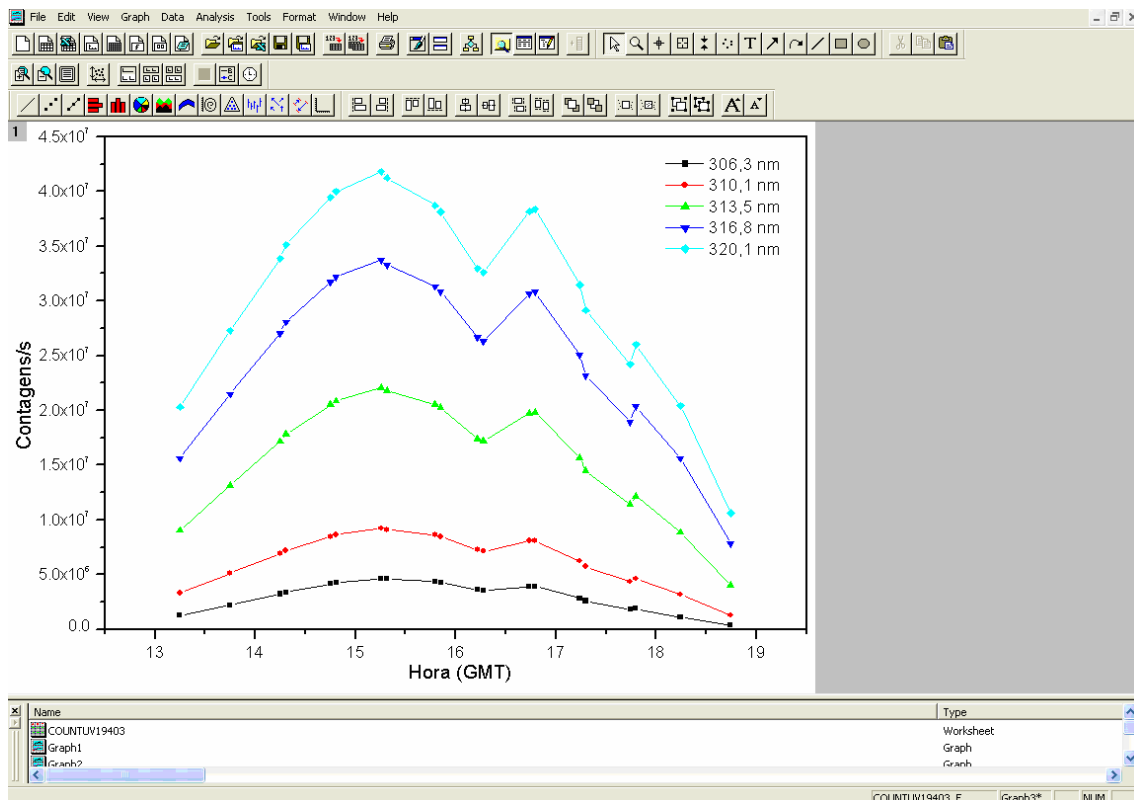


Fig. 5.5 – Dia com presença de nuvens, impróprio para aplicação do Método de Langley.

7 – O próximo passo é plotar o  $\ln$  das contagens, cinco últimas colunas, em função da massa de ar, terceira coluna, mas devem-se plotar os períodos da manhã e tarde separadamente, obtendo-se os gráficos do exemplo da Figura 4.9.

8 – Feito isso, aplica-se uma regressão linear para cada uma das linhas. Isso é feito no menu “Tools” através da opção “Linear Fit”. Utilizando esse menu é possível selecionar a opção “Advanced” que possibilita o valor de  $R^2$ , correlação quadrada, além do valor de correlação simples  $R$ , Figura, 5.6. Neste menu também é possível ajustar para que a regressão seja feita para todas as curvas de uma só vez, selecionando a opção “Fit All Curves”, conforme mostra a Figura 5.6.



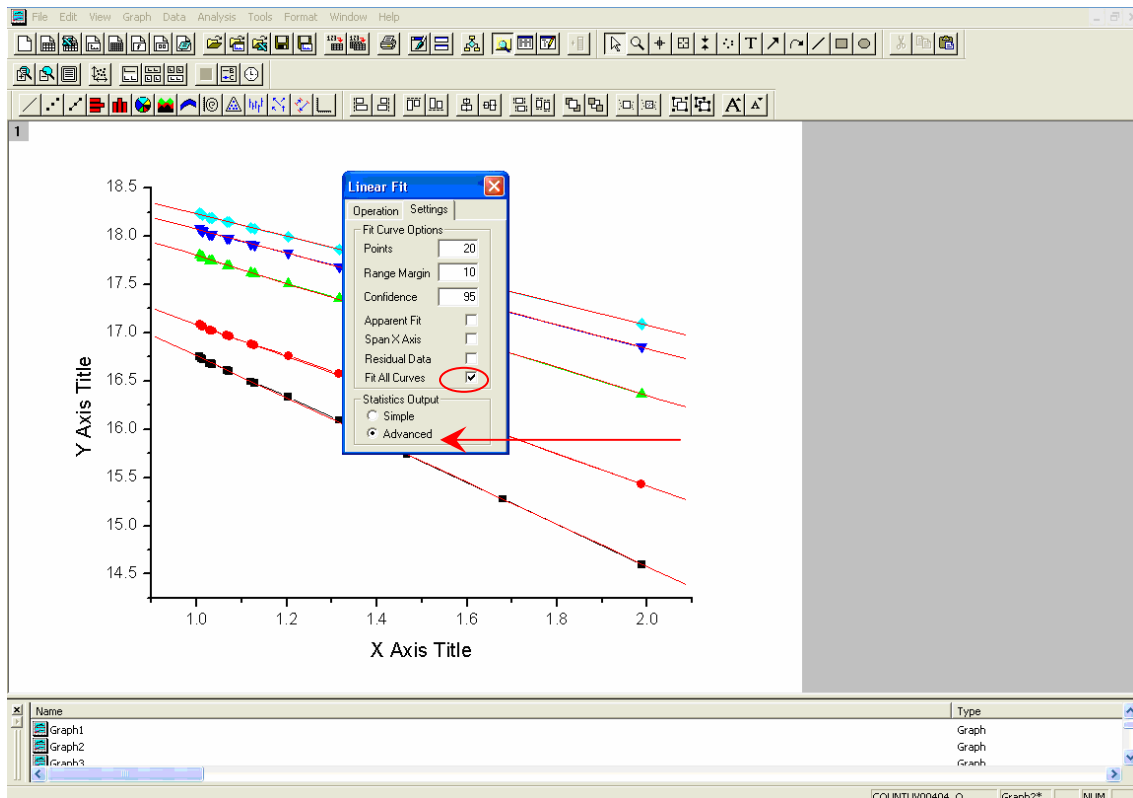


Fig. 5.6 – Menu “Tools” do software, indicando as opções avançadas de regressão linear.

9 – Feita a regressão linear, o software registra os valores da mesma em uma janela na tela, conforme Fig. 5.7. Os valores de “A”, “B”, “ $R^2$ ” e “N” devem ser anotados em uma planilha separadamente, pois estes correspondem aos valores de: coeficiente linear, coeficiente angular, correlação quadrada e número de pontos, respectivamente. Este procedimento deve ser feito para manhã e tarde separadamente.

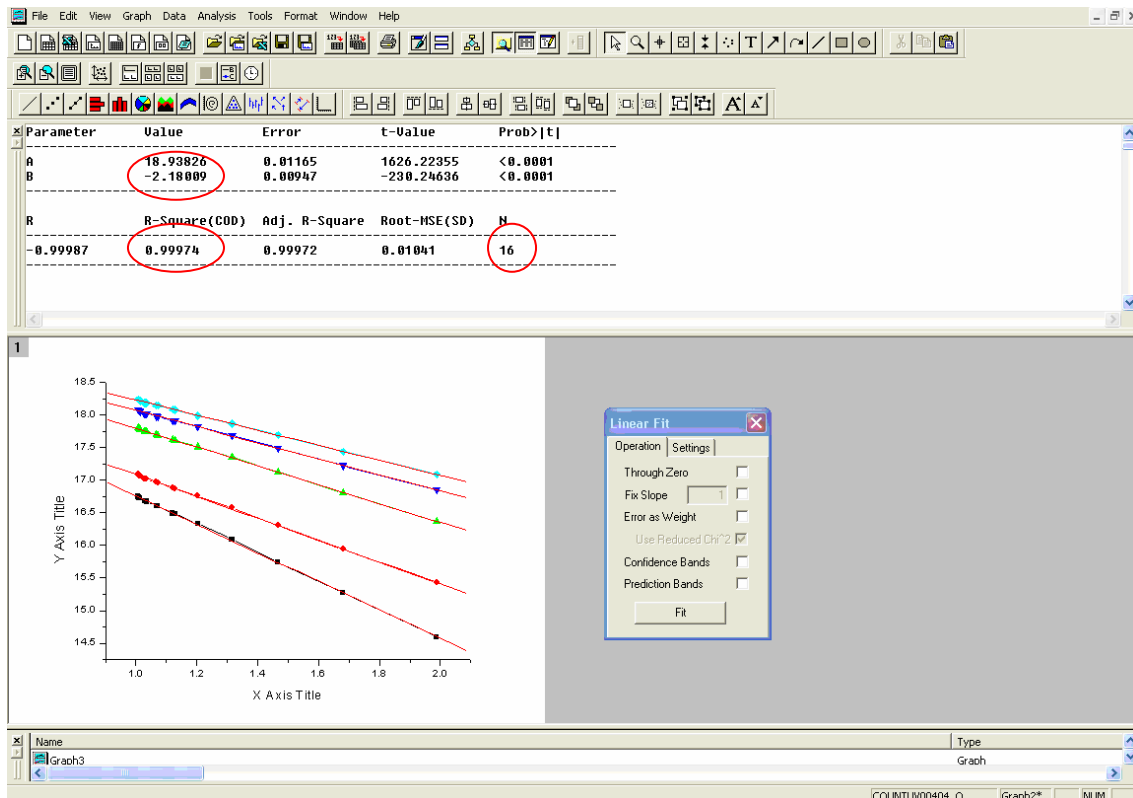


Fig. 5.7 – Janela com as informações da regressão realizada para um dos períodos da análise.

10 – Realizada a regressão para os dois períodos, salva-se esse arquivo no menu “File” na opção “Save Project As” no formato: JJJAA.OPJ. A extensão OPJ é referente ao software Origin e é necessária para que o arquivo possa ser aberto nesse mesmo software posteriormente.

11 – Até então, o valor das EOA ainda não foram obtidos, para tal é necessário descontar da espessura óptica atmosférica, coeficiente angular da reta obtida, os valores das espessuras ópticas de ozônio, dióxido de enxofre e espalhamento Rayleigh. Isso é feito através de planilhas, com modelo previamente pronto, onde se entram os valores da espessura óptica atmosférica e a média diária de cada gás traço, observar Figura 5.8. Demais informações como: número de pontos analisados, correlação quadrada e Irradiância no topo da Atmosfera, coeficiente linear da reta, são registrados também para futuras análises. Os valores de espessuras ópticas são calculados automaticamente de acordo com as Equações 4.5, 4.6 e 4.7. Dessa forma, o valor da EOA é fornecido para os períodos da manhã e tarde de acordo com ilustrado na Figura 5.8.

Relatório Final de Atividades, 2007

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	<b>Dia 211/05</b>																
2																	
3	<b>Manhã</b>	Número de pontos analisados:			<b>10</b>												
4																	
5		$\lambda$	<b>306.3</b>	<b>310.1</b>	<b>313.5</b>	<b>316.8</b>	<b>320.1</b>										
6		$R^2$	0.99572	0.99338	0.99158	0.98895	0.98798										
7		<b>Irr. No topo</b>	19.42852	19.15248	19.57891	19.58561	19.63468										
8		$\tau_{atm}$	2.7441	2.11352	1.82188	1.55025	1.44338										
9																	
10																	
11	<b>Tarde</b>	Número de pontos analisados:			<b>9</b>												
12																	
13		$\lambda$	<b>306.3</b>	<b>310.1</b>	<b>313.5</b>	<b>316.8</b>	<b>320.1</b>										
14		$R^2$	0.9971	0.99533	0.99417	0.9926	0.99177										
15		<b>Irr. No topo</b>	19.11117	18.96438	19.44015	19.50171	19.57794										
16		$\tau_{atm}$	2.48033	1.92872	1.67674	1.44204	1.3538										
17		$\tau_{O3}$	1.262303	0.688763	0.495681	0.269254	0.215339										
18																	
19		$\tau_{SO2}$	0.005565	0.001558	0.001055	0.000774	0.000321										
20																	
21																	
22		<b>Comprim.O</b>	<b>0.3063</b>	<b>0.3101</b>	<b>0.3135</b>	<b>0.3168</b>	<b>0.3201</b>										
23		<b>Espess.Ray</b>	1.047325	0.993724	0.948675	0.907395	0.868359										
24																	
25		$\tau_{manhã}$	0.428907	0.429476	0.376469	0.372828	0.359362										
26		$\tau_{tarde}$	0.185137	0.244676	0.231329	0.264618	0.269782										
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	

Fig. 5.8 – Planilha com valores das espessuras diárias.

## CAPÍTULO 6

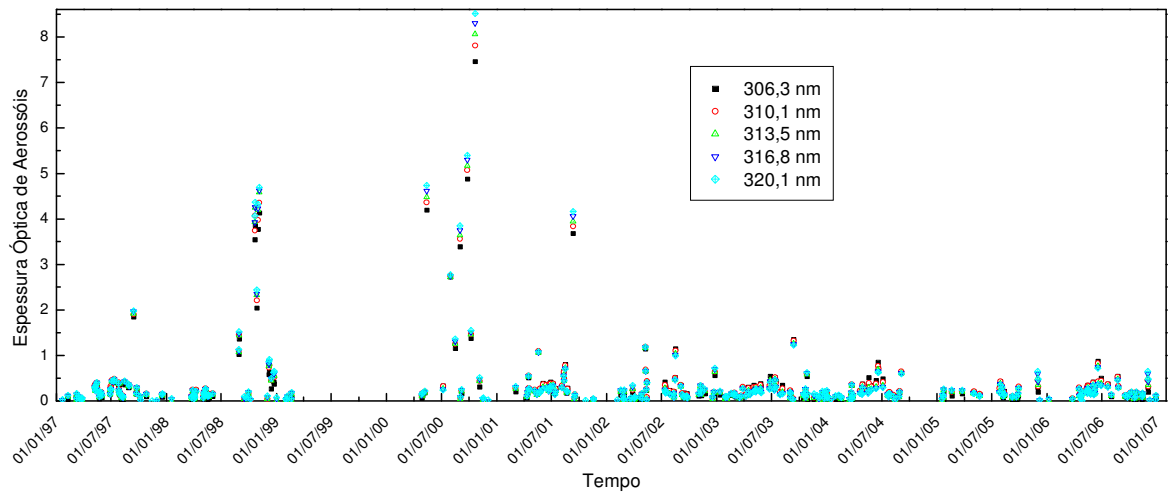
### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a obtenção das Espessuras Ópticas de Aerossóis, construíram-se gráficos para as EOA para todo o período analisado, dos quais foram retirados, visualmente, os valores mais altos contendo os picos. Assim para os valores considerados normais calculou-se a sua média e desvio padrão de acordo com cada comprimento de onda; qualquer valor acima da Média mais duas vezes o Desvio Padrão ( $\sigma$ ) foi considerado um Pico da Espessura Óptica de Aerossóis, de acordo com a Tabela 6.1. As médias foram novamente calculadas sem os dados destes picos.

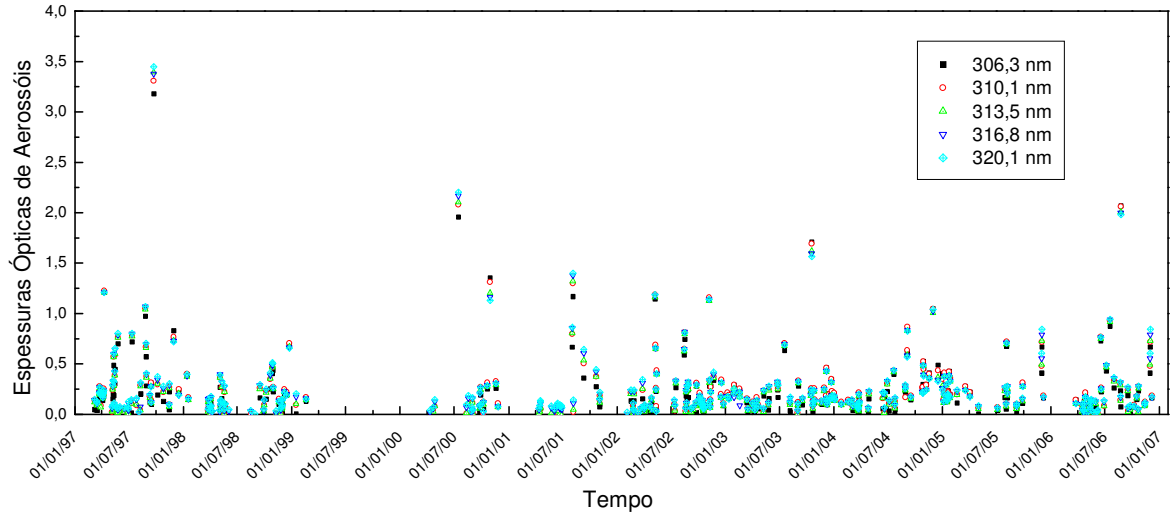
Após a redução dos dados, obtiveram-se os valores das Espessuras Ópticas de Aerossóis para cada comprimento de onda analisado conforme a Figura 6.1, para o período das Manhãs, e a Figura 6.2, para o período das Tardes. Para ambas as figuras foram analisados dados de 1997 a 2006.

Tabela 6.1: Valores de corte para a espessura óptica de aerossóis usados na seleção dos picos.

$\lambda_i$ (nm)	(Média + 2 . $\sigma$ ) para as Manhãs	(Média + 2 . $\sigma$ ) para as Tardes
306,3	0,48082	0,65006
310,1	0,47139	0,63277
313,5	0,43379	0,61982
316,8	0,43707	0,61608
320,1	0,44080	0,62353



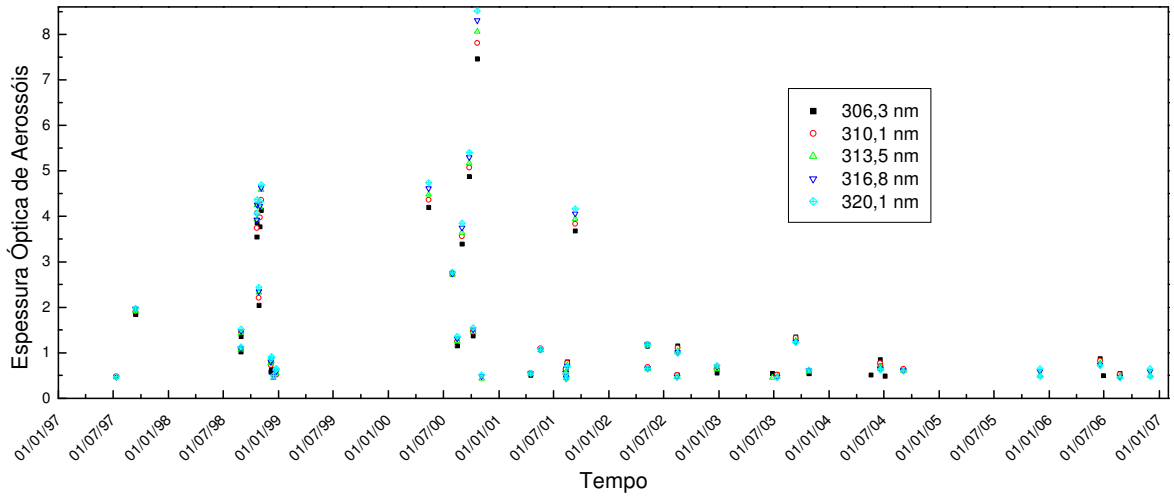
**Figura 6.1:** Espessuras ópticas de aerossóis com os picos para o período das manhãs entre os anos de 1997 a 2006 no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.



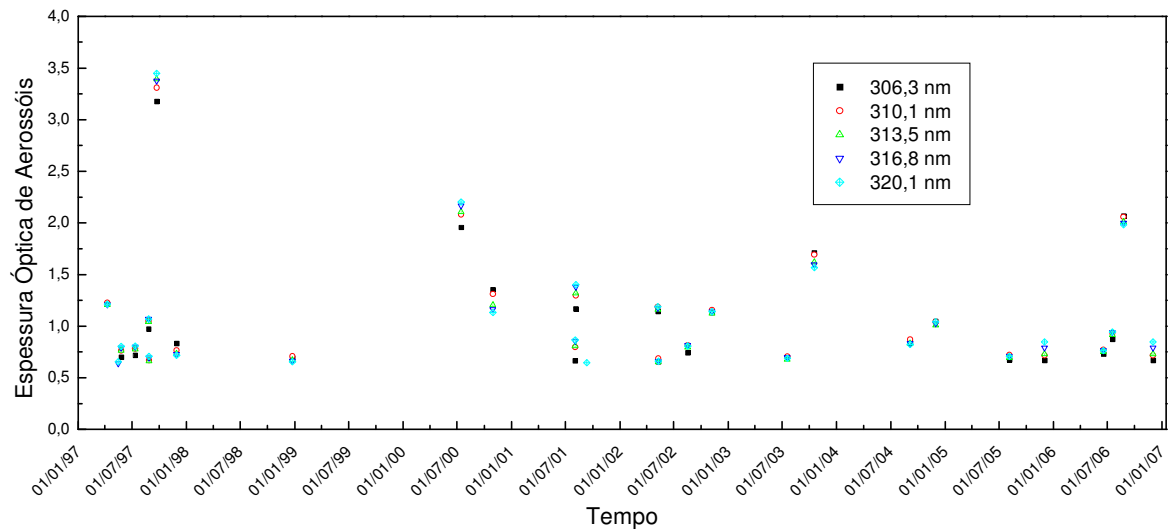
**Figura 6.2:** Espessuras ópticas de aerossóis com os picos para o período das tardes entre os anos de 1997 a 2006 no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.

Após a obtenção da Espessura Óptica de Aerossóis, foram separados os dias normais dos dias onde ocorreram Picos, resultando nas Figuras 6.3 e 6.4 onde são apresentados

apenas os valores considerados Picos, que contabilizam as 45 manhãs e 28 tardes analisadas.

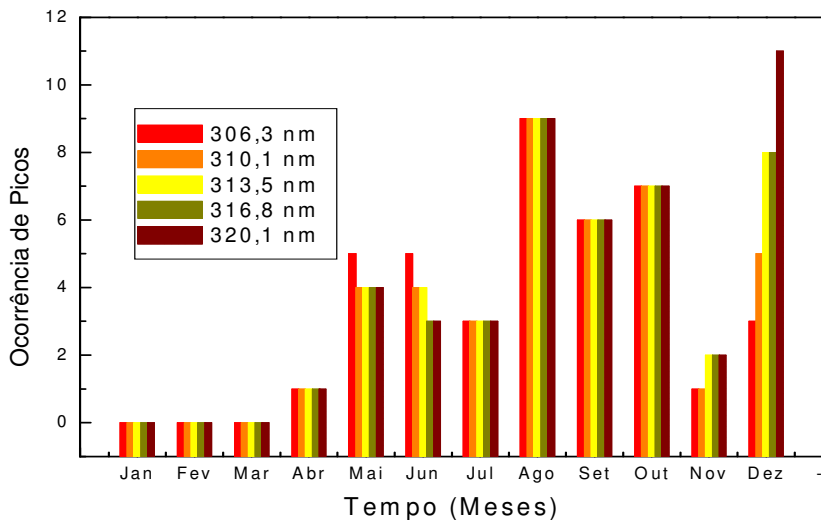


**Figura 6.3:** Picos das Espessuras ópticas de aerossóis para o período das manhãs entre os anos de 1997 a 2006 no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.

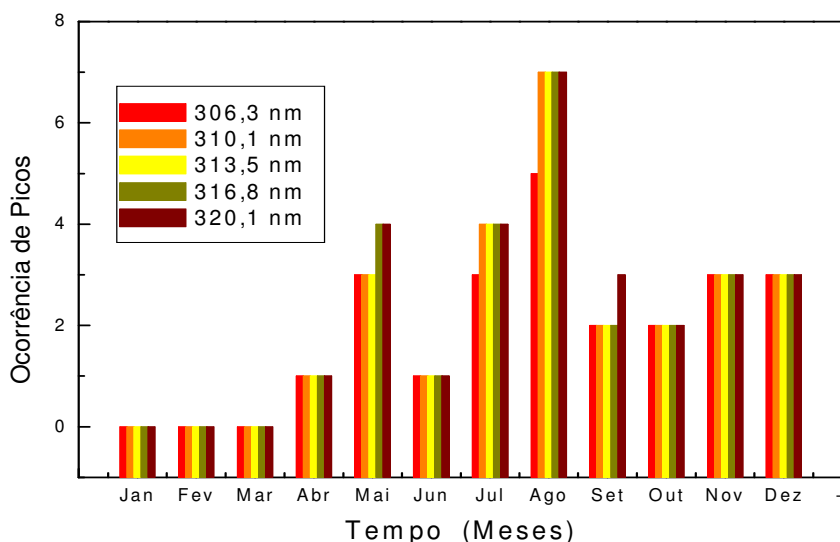


**Figura 6.4:** Picos das Espessuras ópticas de aerossóis para o período das tardes entre os anos de 1997 a 2006 no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.

Após a seleção dos dias de Picos, eles foram respectivamente analisados de acordo com a sua ocorrência sazonal e apresentados nas Figuras 6.5 e 6.6 para os períodos das manhãs e das tardes. Para o período das manhãs, pode-se verificar que a ocorrência de picos de aerossol concentra-se nos meses de Agosto, Setembro e Outubro.



**Figura 6.5:** Ocorrência dos Picos nas Espessuras ópticas de aerossóis para o período das manhãs entre os anos de 1997 a 2006 no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.



**Figura 6.6:** Ocorrência dos Picos nas Espessuras ópticas de aerossóis para o período das tardes entre os anos de 1997 a 2006 no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.

Estes são os meses com maior ocorrência de focos de queimadas no Brasil segundo análise do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ver Figuras 6.7 e 6.8). Os resultados obtidos para o período das manhãs do mês de Dezembro podem ser explicados parte por ser este um dos meses de maior ocorrência de focos de queimadas no Rio Grande do Sul (Carbone et al., 2006) e parte pelo mecanismo de análise escolhido que separa os eventos de picos por comprimentos de onda. Neste mês, alguns dias se caracterizaram como picos para um comprimento de onda e outros não, estando o dia no limiar dos valores de corte. Para o período das tardes, as maiores ocorrências de picos são observadas nos meses de Maio, Julho e Agosto, associados com o número de focos de queimadas.

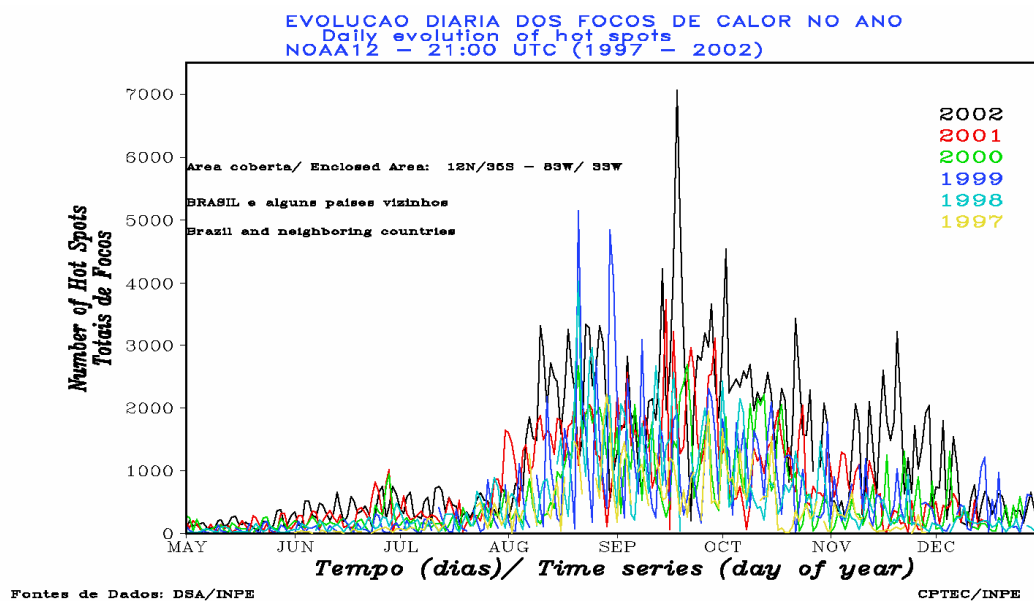
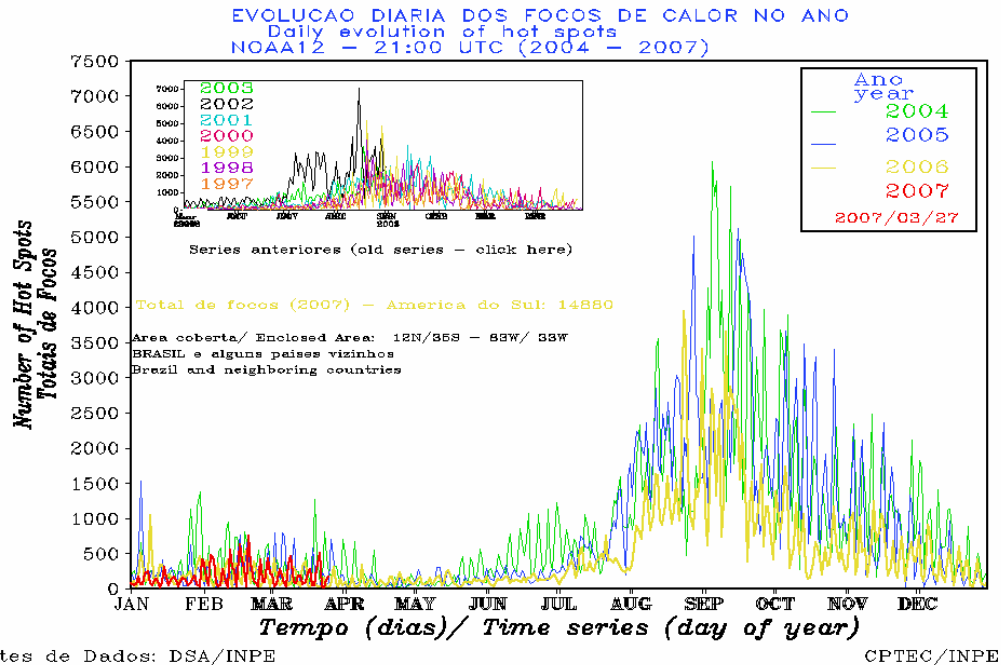


Figura 6.7: Focos de Calor no ano, de 1997 a 2002.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas/queimavtemnoaa.html>





**Figura 6.8:** Focos de Calor no ano, de 2004 a 2007.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas/queimavtemnoaa.html>

Uma das fontes possíveis para os picos nas medidas de EOA são as resultantes dos processos de queima de biomassa (Longo et al., 1999; Ogunjobi et al, 2003 e Badarinath et al, 2003). Para a verificação de tal afirmação foram analisados dados de satélite de focos de queimadas para um dia com valores altos de EOA. O dia escolhido foi o dia 13 de Setembro de 2003, uma vez que os aerossóis são removidos da atmosfera através das chuvas, verificou-se que não ocorreu precipitação nos dias que antecederam o dia do teste. Isto é mostrado na Figura 6.9, onde os dados pluviométricos estão plotados para o mês de Setembro de 2003.

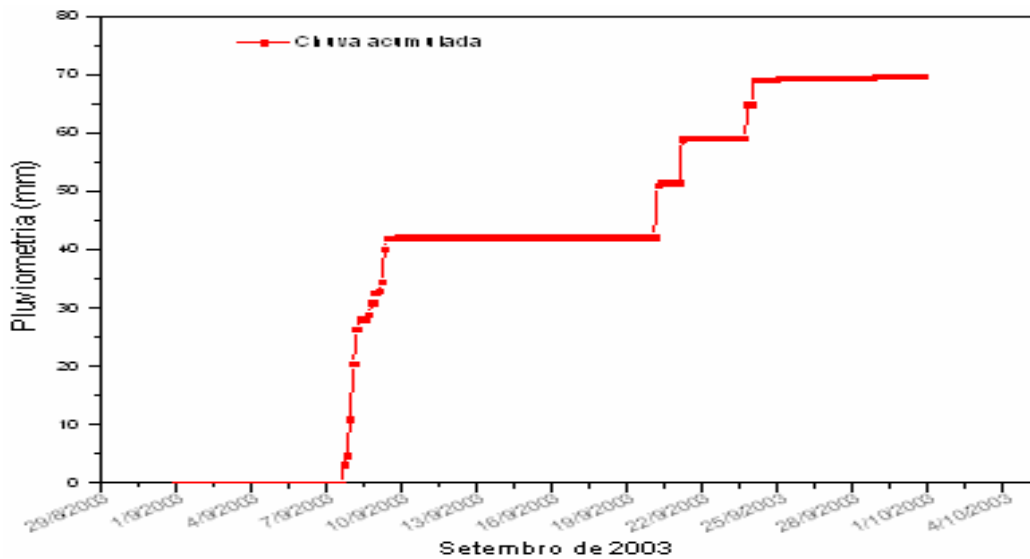


Fig. 6.9 – Dados pluviométricos a partir do Sensor de Chuva da PCD do OES, para o mês de Setembro de 2003, indicando ausência de chuva nos dias que antecedem o dia selecionado para a análise.

Também, a partir dos valores de EOA encontrados, foram encontrados focos de queimadas referentes aos dias 10 a 13 de Setembro de 2003, para o sul do Paraguai, norte da Argentina e Rio Grande do Sul, tanto para os satélites NOAA 12 e 16 como para o AQUA, Figuras 6.10, 6.11, 6.12 e 6.13.

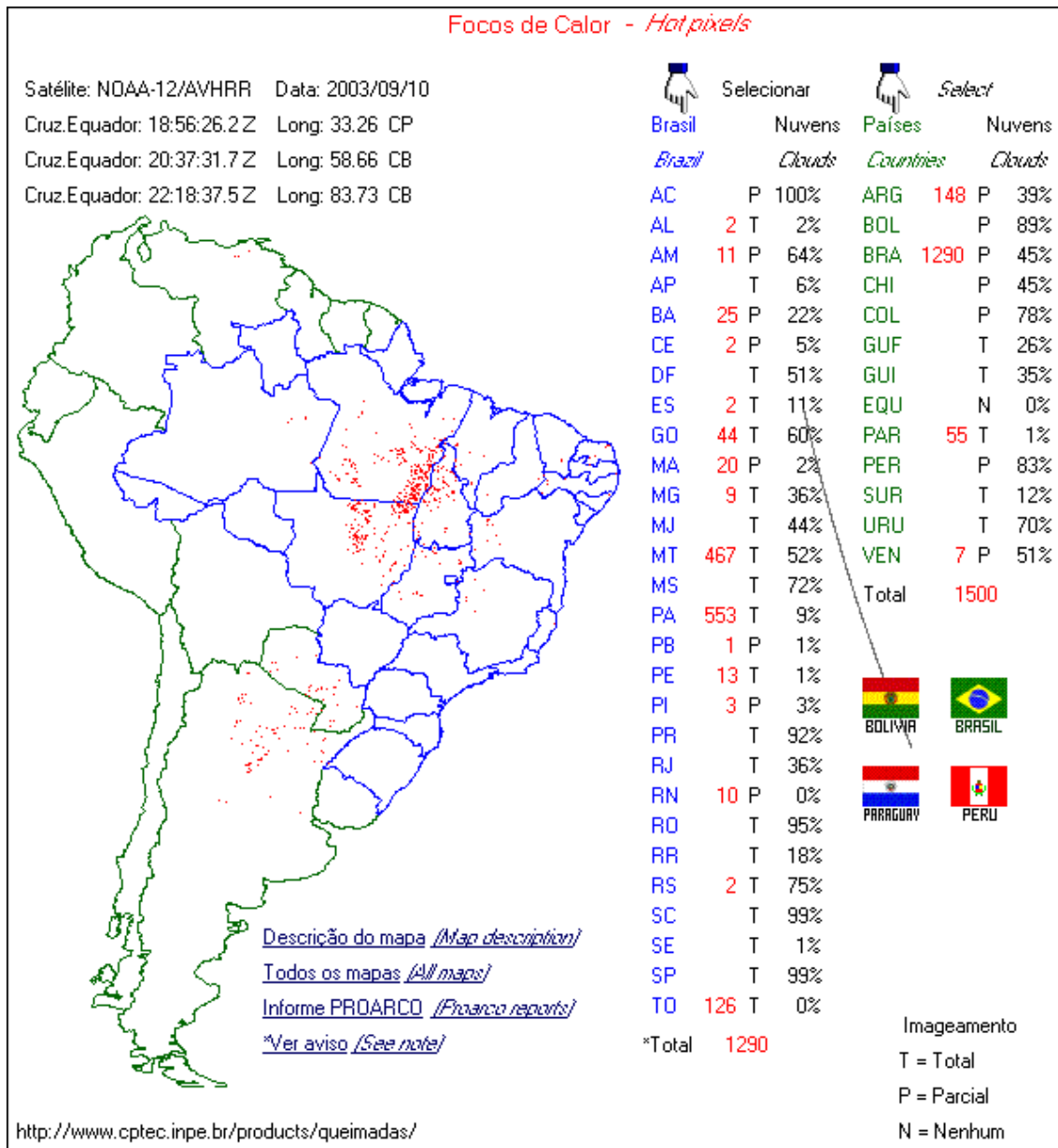


Fig. 6.10 – Imagem do Satélite NOAA 12 ilustrando focos de queimadas para América do Sul para o dia 10 de Setembro de 2003.

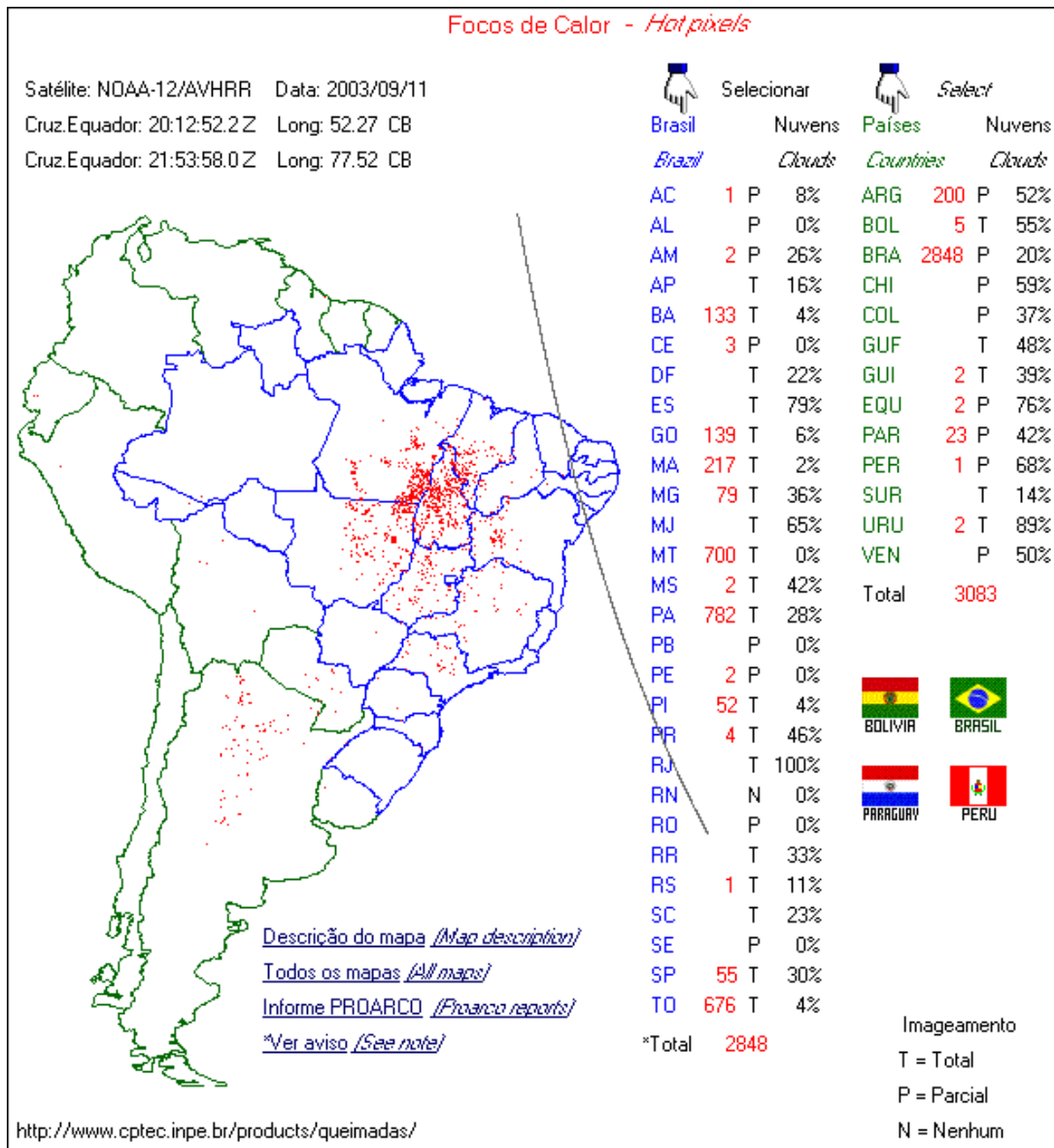


Fig. 6.11 – Imagem do Satélite NOAA 12 ilustrando focos de queimadas para América do Sul para o dia 11 de Setembro de 2003.

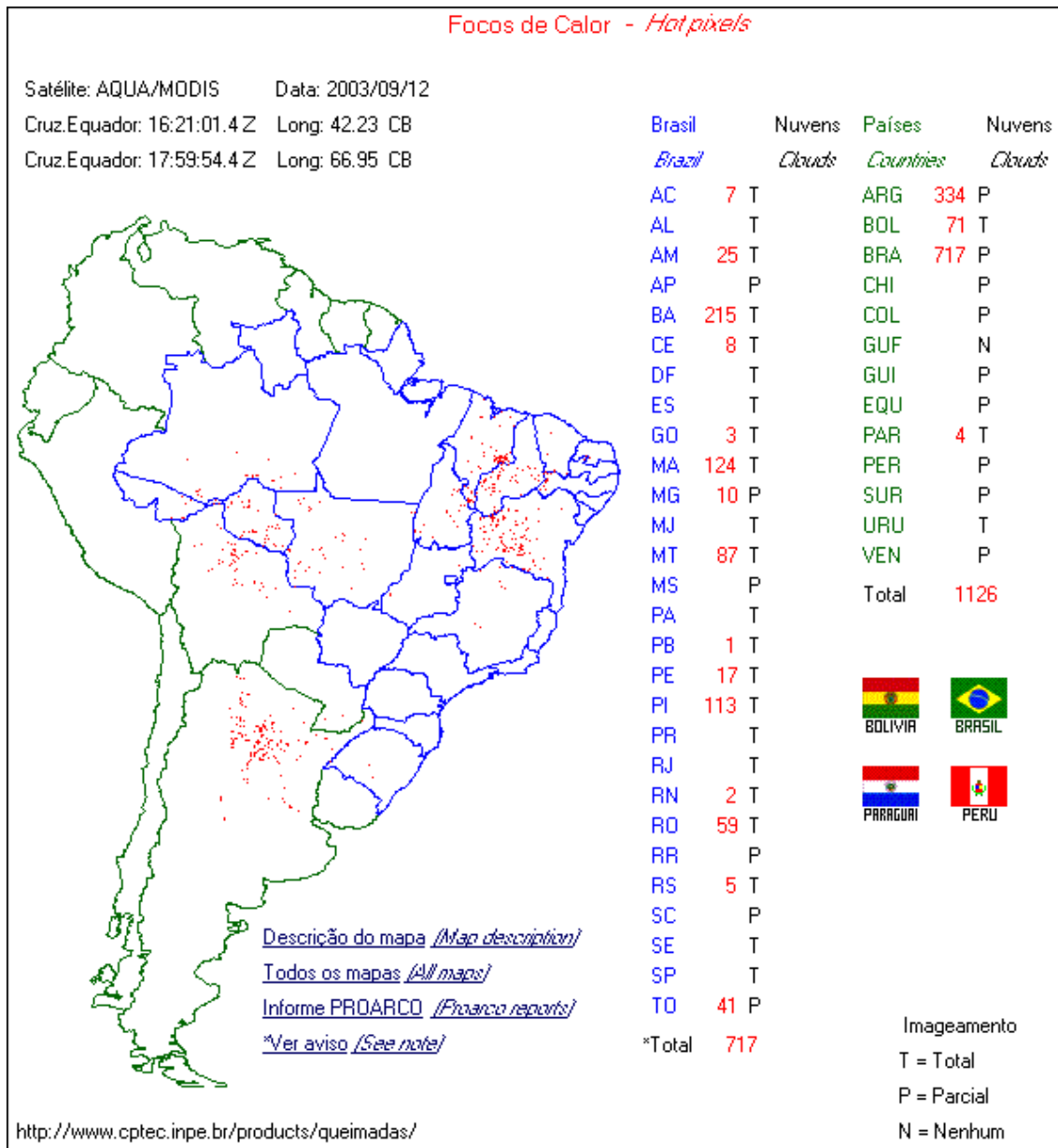


Fig. 6.12 – Imagem do Satélite NOAA 12 ilustrando focos de queimadas para América do Sul para o dia 12 de Setembro de 2003.

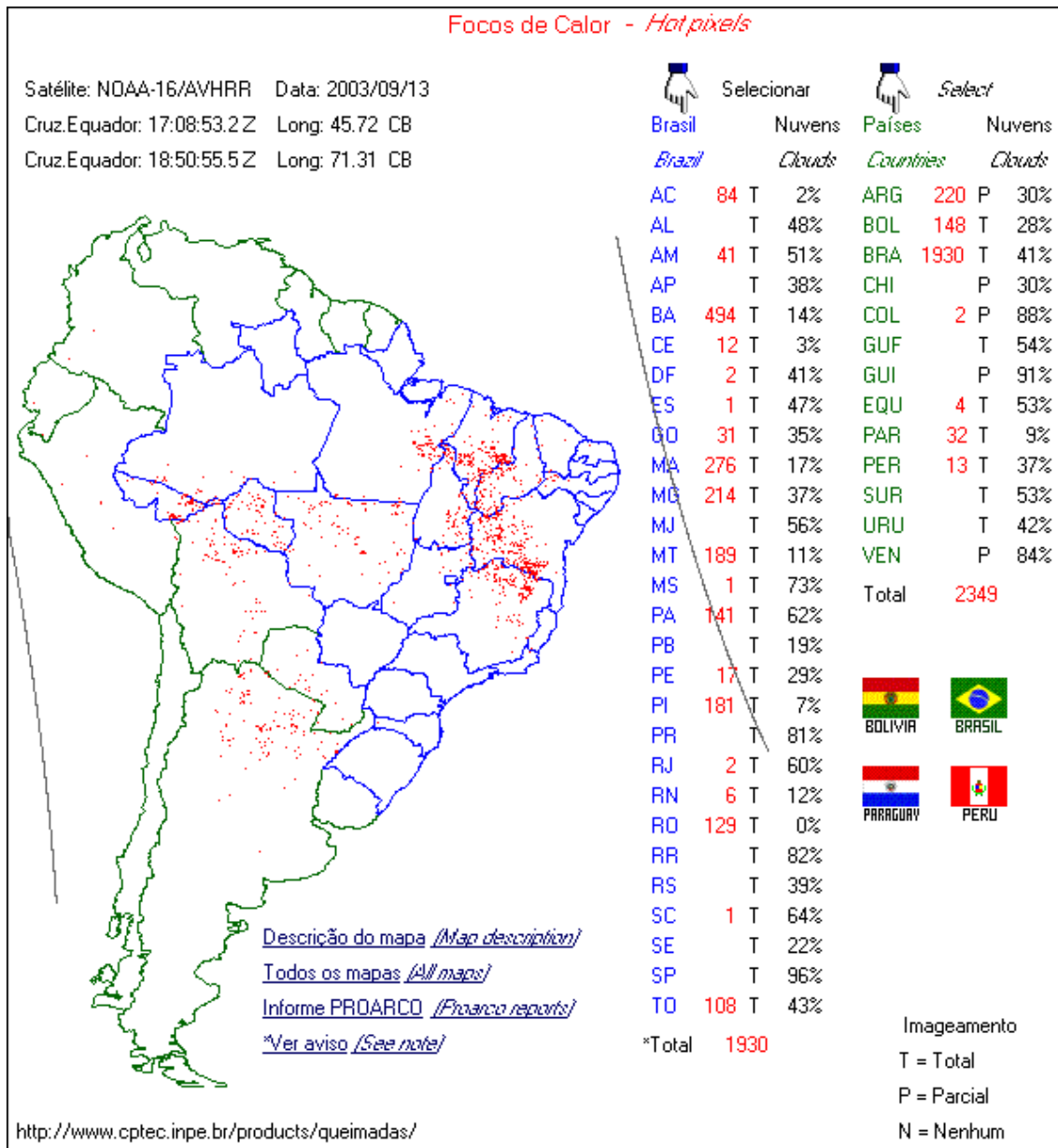


Fig. 6.13 – Imagem do Satélite NOAA 12 ilustrando focos de queimadas para América do Sul para o dia 13 de Setembro de 2003.

Considerando a distância dos focos do Paraguai e Argentina ao Observatório Espacial do Sul, estima-se que de dois a três dias seriam suficientes para que as massas de ar trouxessem destas regiões a queima de biomassa até o OES/CRS/CIE/INPE - MCT. Foram feitas análises dos campos de ventos do dia 10 ao dia 13 de Setembro de 2003 para as pressões atmosféricas de 500 e 700 mb, de acordo com Longo et al. (1999). As médias diárias para estes mesmos dias observados nas figuras acima foram associadas imagens dos campos de ventos gerados a partir dos dados reprocessados e disponíveis

no site do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) utilizando o software GrADS conforme as figuras 6.14, 6.15.

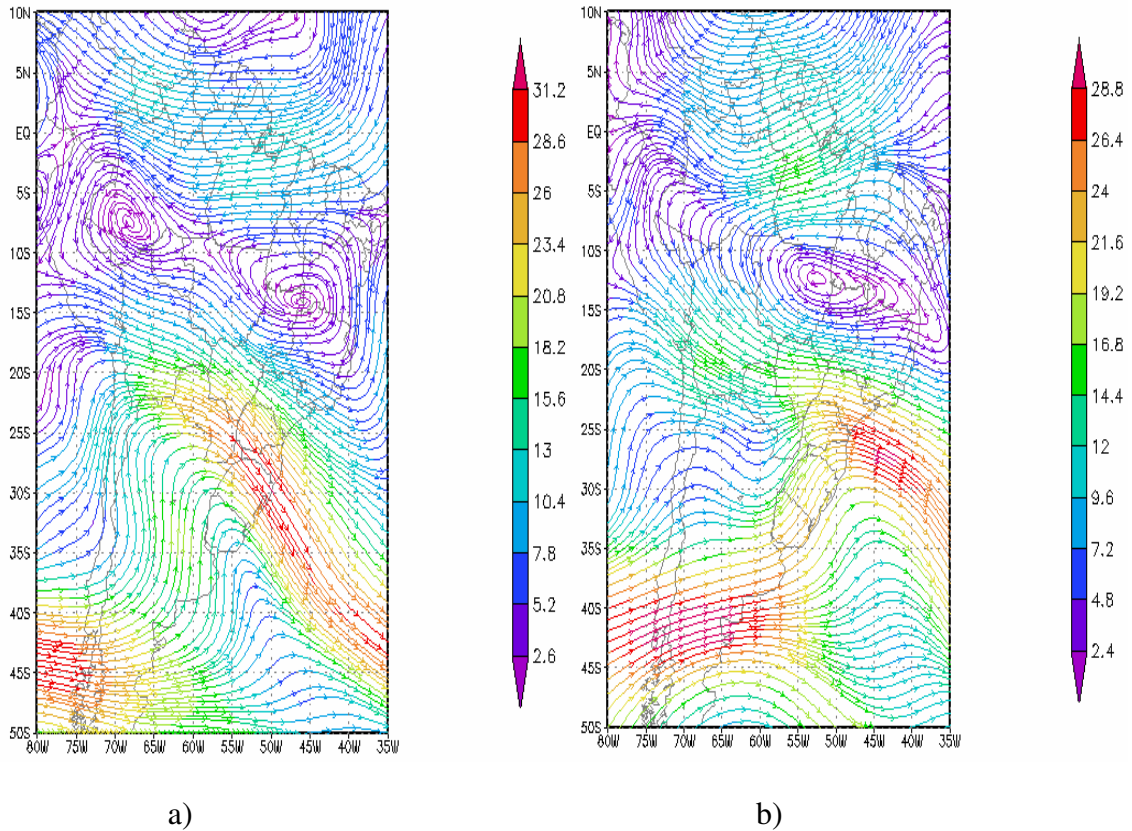


Fig. 6.14 – Média diária de campos de ventos para o dia a) 10 e b) 11 de setembro de 2003, a) a 500mb de pressão se deslocando do Paraguai e b) a 700mb de pressão se deslocando da Argentina em direção ao Rio Grande do Sul.

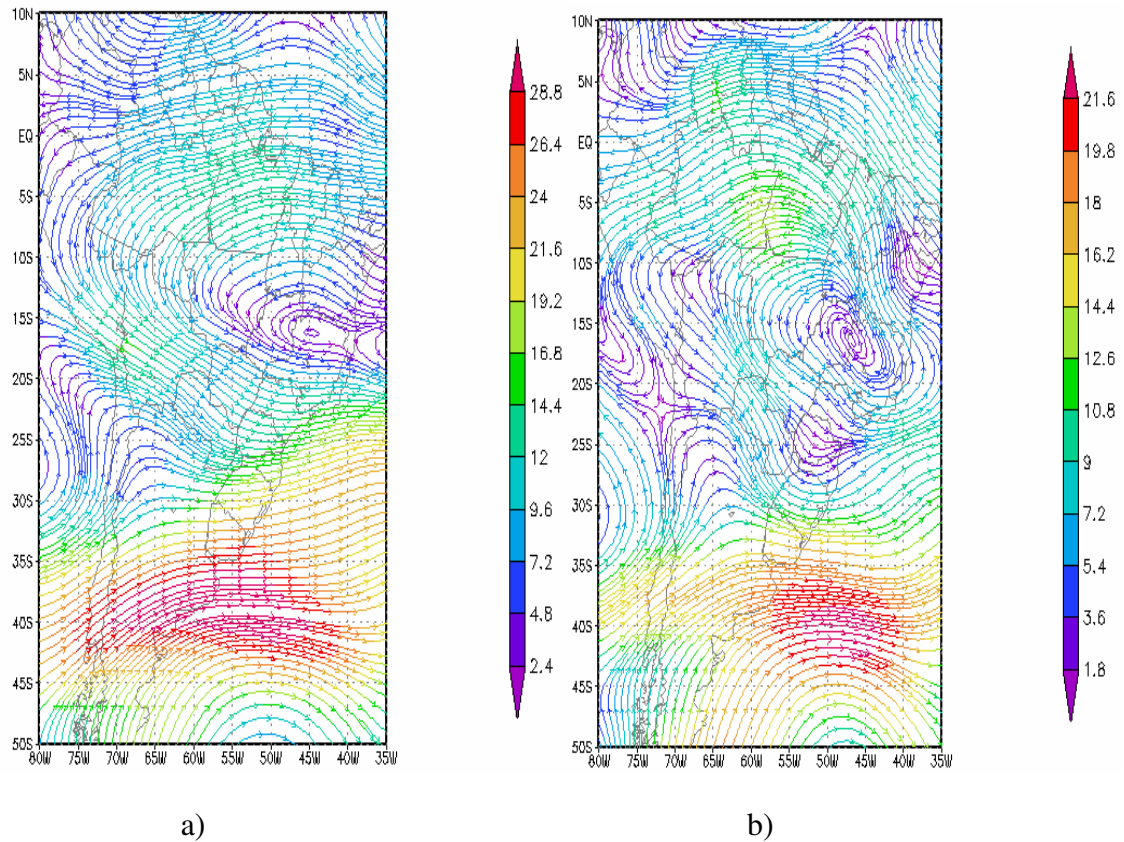


Fig. 6.15 – Média diária de campos de ventos para o dia 12 de setembro de 2003 chegando ao Rio Grande do Sul, a) vindas do Norte da Argentina a 500mb de Pressão e b) do Norte da Argentina e Paraguai.

O estudo realizado mostra uma possível grande influência das queimadas na espessura óptica dos aerossóis mesmo tendo sido analisadas imagens de satélite e campos de ventos para apenas um dia; seria importante uma análise para mais dias a fim de se verificar mais casos de picos para as EOA.



## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS

O estudo das prováveis causas dos *picos* de aerossol para o Observatório Espacial do Sul mostrou a sua ocorrência juntamente com o período de queima de biomassa nas regiões Central e Norte do Brasil, bem como o período de queimadas regional, indicando, portanto, uma possível influência desta fonte de aerossóis na região central do Rio Grande do Sul.

Seria necessária uma análise de trajetórias dos ventos para afirmar que a causa dos elevados valores de EOA para o OES no dia 13 de setembro de 2003 foi devido à grande queima de biomassa ocorrida no Paraguai e Argentina. Por enquanto, pode-se afirmar que essa é uma possível causa para a grande quantidade de aerossóis sobre o Rio Grande do Sul, para o dia analisado.

Nesta 1ª etapa do projeto foram obtidos e analisados dados de Espessuras Ópticas de Aerossóis de 1997 a 2006, tendo sido analisados particularmente os dias considerados como picos da EOA, onde além de ter sido analisada a sua ocorrência mensal também associou-se, como exemplo, um dia às médias diárias de campos de ventos.

Para a próxima etapa pretende-se expandir o período analisado desde o ano de 1992 a 2008 a fim de se utilizar todos os dados disponíveis no banco de dados do PMOA.

Com o andamento do trabalho, um maior período para análise possibilitará a obtenção da sazonalidade desses valores considerados como picos de aerossóis.

## CAPÍTULO 8

### TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS

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

**1. INFLUÊNCIA DE QUEIMADAS NA ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS NA BANDA DO UV NO EXTREMO SUL DO BRASIL: 2002 – 2006**

**Possani, Germano;** Carbone, Samara; Pinheiro, K. Damaris; Alvalá, Plínio Carlos; Schuch, J. Nelson

**XIV CBMET – XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, trabalho completo publicado

**2. ANÁLISE DA SAZONALIDADE DAS ESPESSURAS ÓPTICAS DE AEROSSÓIS OBSERVADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

**Possani, Germano;** Carbone, Samara; Bertagnolli, Caroline; Pinheiro, K. Damaris; Alvalá, Plínio Carlos; Schuch, J. Nelson

**Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia (SBGEA)**, resumo publicado

**3. ESTUDO DO MÉTODO DE LANGLEY NA DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS ÓPTICAS DE AEROSSÓIS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

**Possani, Germano;** Carbone, Samara; Bertagnolli, Caroline; Pinheiro, K. Damaris; Alvalá, Plínio Carlos; Schuch, J. Nelson

**XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia**, resumo expandido publicado

**4. COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO UV-B EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO DE 2005 NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

Luana Serafini dos Santos; Damaris Kirsch Pinheiro; Michel André Pelliser; Caroline Bertagnolli; **Germano Possani;** Nelson Jorge Schuch

**21ª Jornada Acadêmica Integrada (JAI) – UFSM**, trabalho completo publicado

**5. COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO UV-A EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO DE 2005 NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

Michel André Pelliser; Damaris Kirsch Pinheiro; Luana Serafini dos Santos; Nelson Jorge Schuch; **Germano Possani**; Caroline Bertagnolli

**21ª Jornada Acadêmica Integrada (JAI) – UFSM**, trabalho completo publicado

**6. ANÁLISE DA SAZONALIDADE DA ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS DE 1997 e 1998 NO OES**

Ana Marcelli Soares; Damaris Kirsch Pinheiro; Caroline Bertagnolli; **Germano Possani**

**21ª Jornada Acadêmica Integrada (JAI) – UFSM**, trabalho completo publicado

**7. BIOMASS BURNING EVENTS INFLUENCE IN AEROSOL DATA BY BREWER SPECTROPHOTOMETER AT SOUTHERN SPACE OBSERVATORY.**

Samara Carbone, Robinson L. Manfro, Caroline Bertagnolli, **Germano Possani**, Tiele Caprioli, Damaris K. Pinheiro, Nelson J. Schuch.

36 th Committee on Space Research (COSPAR), evento realizado em Beijing – CHINA, de 16 a 23 de Julho de 2006, resumo publicado

## CAPÍTULO 9

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badarinath, K. V. S.; Latha, K. M.; Chand, T. R. K.; Gupta, P. K.; Gosh, A. B.; Jain, S. L.; Gera, B. S.; Singh, R.; Sarkar, A. K.; Singh, N.; Parmar, R. S.; Koul, S.; Coolí, R.; Shambhu, N.; Ojha, V. K. e Singh, G. **Characterization of aerosols from biomasa burning – a case study from Mizoram (Northeast), India.** *Chemosphere*, v. 54, p. 167 – 175, 2003.
- Baker, M. B. **Cloud Microphysics and Climate.** *Science*, v. 276, p. 1072 – 1078, 1997.
- Begum, Z. N. **Significance of multiple scattering in the computation of solar radiation transfer in the atmosphere.** *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, v. 66, p. 35 – 39, 2000.
- Carbone, S., Padilha, L.F., Rosa, M.B., Pinheiro, D.K., Schuch, N.J. First estimations of the aerosol optical thickness using Langley Method at Southern Brazil (29.4° S, 53.8° W). **Advances in Space Research**, v. 37, pp. 2178-2182, 2006.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) <http://tempo.cptec.inpe.br:9080/PCD/> Outubro, 2005.
- Chameides, W. L.; Yu, H.; Liu, S. C.; Bergin, M.; Zhou, X.; Mearns, L.; Wang, G.; Kiang, C. S.; Taylor, R. D.; Luo, C.; Huang, Y.; Steiner, A. e Giorgi, F. **Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agricultura: An opportunity to enhance crop yields in China through emisión controls?** *Science*, v. 96, n. 24, p. 13626 – 13633, 1999.
- Charlson, R. J.; Schwartz, S. E.; Hales, J. M.; Cess, R. D.; Coakley, J. A.; Hansen, J. E. e Hofmam, D. J. **Climate forcing by anthropogenic aerosols.** *Science*, v. 255, p. 423 – 430, 1990.
- Coulson, K. L. **Solar and Terrestrial Radiation: Methods and Measurements.** New York: Academic Press, 1975. 322p.
- Crutzen, P.J. e Andreae, M.O. **Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles.** *Science*, v. 250, p. 1669 – 1678, 1990.

- Dickerson, R. R.; Kondragunta, S.; Stenchikov, G.; Civerolo, K. L.; Doddridge, B. G. e Holben, B. N. **The impact of aerosols on solar ultraviolet radiation and photochemical smog.** *Science*, v. 278, p. 827 – 830, 1997.
- Finlayson-Pitts, B. J. e Pitts, J. N. **Chemistry of the upper and lower atmosphere.** San Diego: Academic Press, 2000. 969.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) **Radiative forcing of climate change.** *Climate change 1994*, Ed. Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G.; Bruce, J.; Lee, H.; Callander, B. A.; Haites, E.; Harris, N. e Maskel, K. Cambridge university Press, 1995.
- Heintzenberg, J. **The life cycle of the Atmospheric Aerosol**, in: Bourton, C. F. (Ed), *Topics in atmospheric and interstellar physics and chemistry*, c. XII, p. 251 – 267, 1994.
- Hinds, W.C. **Aerosol Technology – Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles.** John Wiley & Sons, New York, 1982.
- Hood, L. L. Effects of short-term solar uv variability on the stratosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 61, p. 45- 51, 1999.
- Kasten, F. e Young, A. T. **Revised optical air mass tables and approximation formula.** *Applied Optics*, v. 28, n.22, p. 4735 – 4738, 1989.
- Kaufman, Y.J. e Fraser, R.S. **Confirmation of smoke particles effect on clouds and climate forcing.** *Science*, v. 277, p. 1636 – 1639, 1997.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Silva, A. A. e Pinheiro, D. K. **Wavelength dependence of aerosol optical thickness in the UV-B band.** *Geophysical Research Letters*, v. 29, n. 12, doi: 10.1029/2001GL014141, 2002.
- Knoll, F. G. **Radiation detection and measurement.** New York: John Wiley and Sons, 1979. 833p.
- Krzyscin J. W. e Puchalski, S. **Aerosol impact on the surface UV radiation from the ground based measurements taken at Belsk, Poland 1980-1996.** *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n. D13, p. 16175 – 16181, 1998.
- Kylling, A.; Bais, A. F.; Blumthaler, M.; Schreder, J.; Zerefos, C. S. and Kosmidis, E. **Effect of aerosols on solar UV irradiances during the photochemical activity and solar ultraviolet radiation campaign,** *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n.D20, p. 26051 – 26060, 1998.

- Lean, J. **Variations in the sun's radiative output**. Reviews of Geophysics, v. 29, n. 4, p. 505 – 535, 1991.
- Lenoble, J. **Atmospheric Radiative Transfer**. Hampton: A DEEPAK Publishing, 1993, 553 p.
- Liu, S. C.; McKeen, S. A. e Madronich, S. **Effect of anthropogenic aerosols on biologically active ultraviolet radiation**. Geophysical Research Letters, v. 18, n. 12, p. 2265 – 2268, 1991.
- Longo, K. M.; Thompson, A. M.; Kirchhoff, W. J. H.; Remer, L. A.; Freitas, S. R.; Dias, M. A. F. S.; Artaxo, P.; Hart, W.; Spinhirne, J. D. e Ymasoe, M. A. **Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in Cuiabá during Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B)**. Journal of Geophysical Research, v. 104, n. D10, p. 12113 – 12129, 1999.
- McGee, T. J.; Burris Jr, J. **SO<sub>2</sub> absorption cross sections in the near uv**. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, v. 37, n.2, p. 165 - 182, 1987.
- Marquard, L. C.; Wagner, T. e Platt, U. **Improved air mass factor concepts for scattered radiation differential optical absorption spectroscopy of atmospheric species**. Journal of Geophysical Research, v. 105, n. D1, p. 1315 – 1327, 2000.
- Molina, L.T.; Molina, M. J. **Absolute absorption cross sections of ozone in the 185 to 350 nm wavelength range**. Journal of Geophysical Research, v. 91, n. D13, p. 14501 – 14508, Dec. 1986.
- Ogunjobi, K. O.; He, Z.; Kim, K. W. e Kim, Y. J. **Aerosol optical depth during episodes of Asian dust storms and biomass burning at Kwangju, South Korea**. Atmospheric Environment, v. 38, p. 1313 – 1323, 2003.
- Pinheiro, D. K. **Estudo do comportamento do dióxido de nitrogênio atmosférico com base nos dados do espectrofotômetro Brewer**. São José dos Campos: INPE, INPE-10017-TDI/881, Tese de Doutorado, 2003.
- Reid, G. C. **Solar variability and its implications for the human environment**. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 61, p. 3 – 14, 1999.

- Rottman, G. **Solar ultraviolet irradiance and its temporal variation.** Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 61, p. 37 – 44, 1999.
- Schwartz, S, E. **The whitehouse effect-shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols: an overview.** Journal Aerosol Science, v. 3, p. 359 – 382, 1996.
- Sci-Tec Instruments Inc. **Brewer MKIII spectrophotometer operator's manual.** Saskatoon: Sci-Tec instruments, 1999. 135p.
- Seinfeld, J. H. e Pandis, S. N. **Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change.** New York: John Wiley & Sons, 1998. 1326p.
- Silva, A. A. e Kirchhoff, V. W. J. H. **Improved Aerosol Optical Thickness Measurements in the uvb Range** In: Zerefos, C. (Ed), Ozone, v. II, Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 2004.
- Silva, A. A., and Kirchhoff, V. W. J. H. **Aerosol Optical Thickness from Brewer Spectrofotometers and an investigation into stray light effect.** Applied Optics, 43, 2484 - 2489, 2004.
- Teillet, P. M. **Rayleigh optical depth comparisons from various sources.** Applied Optics, v. 29, n. 13, p. 1897 – 1900, 1990.
- Twomey, S. **The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds.** Journal of the Atmospheric Sciences, v. 34, p. 1149 – 1152, 1977.
- Waggoner, A. P.; Weiss, R. E. e Larson, T. V. **In-situ rapid response measurement of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aerosols in urban Houston: A comparison with rural Virginia.** Atmospheric Environment, v. 17, p. 1723 – 1731, 1981.
- Yavorsky, B. e Detlaf, A. **Handbook of physics.** Moscow: Mir, 1980. 1135p.
- Young, A. T. **Air mass and refraction.** Applied Optics, v. 33, n. 6, p. 1108 – 1110, 1994.