



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

## **ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DOS DADOS DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA INCIDENTE NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

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

**PROCESSO Nº 118647/2006-7**

**Luana Serafini dos Santos (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)**  
E-mail: [luana@lacesm.ufsm.br](mailto:luana@lacesm.ufsm.br)

**Dr. Plínio Carlos Alvalá (DGE/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)

**Julho de 2007**

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Título: ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DOS DADOS DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA INCIDENTE NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

**Processo CNPq Nº: 118647/2006-7**

### **Bolsista:**

Luana Serafini dos Santos

Curso de Engenharia Química

Centro de Tecnologia - CT/UFSM

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

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### **Orientador:**

Plínio Carlos Alvalá

Laboratório de Ozônio

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE

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

### **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

Aguardando  
certificação  
da instituição  
?

Identificação	Recursos Humanos	Linhas de Pesquisa	Indicadores do Grupo
<b>Identificação</b>			
<b>Dados básicos</b>			
Nome do grupo: Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis			
Status do grupo: <b>aguardando certificação pela instituição</b>			
Ano de formação: 1992			
Data da última atualização: 18/06/2007 17:11			
Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - <a href="mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br">nelson.schuch@pq.cnpq.br</a> Damaris Kirsch Pinheiro - <a href="mailto:damaris@lacesm.ufsm.br">damaris@lacesm.ufsm.br</a>			
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			
<b>Endereço</b>			
Logradouro: Caixa Postal 5021			
Bairro: Camobi			
Cidade: Santa Maria			
Telefone: 3301 2026			
E-mail: <a href="mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br">njschuch@lacesm.ufsm.br</a>			
CEP: 97110970			
UF: RS			
Fax: 3301 2030			
Home page: <a href="http://">http://</a>			
<b>Repercussões dos trabalhos do grupo</b>			
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 físico-químicos e dinâmicos, o potencial energético renovável e o transporte de energia, com medidas in situ e fenômenos Atmosféricos, Biofísicos 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 - LACESMCT-UFSM, objetiva: a análise de sua concentração, o comportamento de sua "camada", a +- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UVA, 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-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.			
<b>Recursos humanos</b>			
<b>Pesquisadores</b>			
<a href="#">André Passaglia Schuch</a> <a href="#">Augusta Maria Passaglia Schuch</a> <a href="#">Carlos Frederico Martins Menck</a> <a href="#">Damaris Kirsch Pinheiro - (líder)</a> <a href="#">Enio Bueno Pereira</a> <a href="#">Ezequiel Echer</a> <a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a> <a href="#">Fernando Ramos Martins</a>			<b>Total: 16</b>
<a href="#">Lucymara Fassarella Agnez Lima</a> <a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a> <a href="#">Marcelo Pizzuti Pes</a> <a href="#">Nelson Jesus Ferreira</a> <a href="#">Nelson Jorge Schuch - (líder)</a> <a href="#">Neusa Maria Paes Leme</a> <a href="#">Pílnio Carlos Ahralá</a> <a href="#">Ricardo André Guarnieri</a>			
<b>Estudantes</b>			
<a href="#">Ana Marcell Soares</a> <a href="#">Caroline Bertagnoli</a> <a href="#">Daniel Vinicius Fiorin</a> <a href="#">Diogo Alessandro Arsego</a> <a href="#">Germano Possani</a> <a href="#">Gustavo Pereira Guerra</a>			<b>Total: 12</b>
<a href="#">Luana Serafini dos Santos</a> <a href="#">Marcus Guedes</a> <a href="#">Nadira Pereira</a> <a href="#">Pabulo Henrique Rampelotto</a> <a href="#">Rafael Jonas Righi Batista</a> <a href="#">Simone Spiazzi Favarin</a>			
<b>Técnicos</b>			
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			<b>Total: 5</b>
<b>Linhas de pesquisa</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação</li> <li>• Energias Renováveis</li> </ul>			<b>Total: 2</b>
<b>Empresas associadas ao grupo</b>			
			<b>Total: 0</b>
<b>Indicadores de recursos humanos do grupo</b>			
<b>Integrantes do grupo</b>			<b>Total</b>
Pesquisador(es)			16
Estudante(s)			12
Técnico(s)			5



Diratório 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 Bertagnolli](#)  
[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 aos seus familiares e amigos pelo carinho, apoio psicológico e incentivo aos estudos.

Ao orientador Dr. Plínio Carlos Alvalá, da Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE, em São José dos Campos, SP, pela atenção e orientação dedicada ao bolsista ao longo do Projeto.

Em especial a Co-Orientadora Dr<sup>a</sup>. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciência Espaciais de Santa Maria, pela paciência, atenção, orientação, incentivo e apoio ao desenvolvimento do projeto.

Ao Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS, pela orientação, grande confiança depositada e pelo constante incentivo as atividades desenvolvidas.

A todos os colegas do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico.

Aos funcionários do LACESM/CT - MCT e da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, em especial ao Luis Fermino Nascimento.

Agradeço também a todos os funcionários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - MCT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, que de alguma forma contribuíram para a realização deste Projeto, em especial as secretárias Egídia e Angelita pelo apoio e atenção às necessidades dos alunos do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da intensidade da radiação Ultravioleta incidente no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, através da análise da série temporal dos dados obtidos no período de 1994 a 2007. A radiação UV foi obtida através dos equipamentos Espectrofotômetro Brewer MKIV #081 (1994– 2000), MKII #056 (2000 – 2002) e MKIII #167 (2002 – 2007), instalados no Observatório Espacial do Sul (29.4° S, 53.8° O) – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS Brasil, em parceria 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 da Divisão de Geofísica Espacial – DGE/INPE – MCT. O Brewer realiza uma medida de radiação ultravioleta na faixa de 286,5 a 365,0 nm a cada 30 minutos, além de medidas de ozônio e dióxido de enxofre. Primeiramente foi feita a reorganização dos dados e sua conversão em irradiância diária e integral diária através do software UVBrewer versão 2.1 (desenvolvido pelo engenheiro Martin Stanek), o qual é amplamente utilizado nos trabalhos para processamento de dados de UV de espectrofotômetros Brewers. Da análise dos dados, pode-se observar um comportamento sazonal da radiação UV, para o período analisado, com valores máximos nos meses de dezembro e janeiro, correspondentes ao verão no Hemisfério Sul, e valores mínimos nos meses de junho e julho, inverno. Este comportamento sazonal é devido principalmente à posição Terra – Sol e à variação do ângulo zenital solar. Não houve evidência de tendências de aumento na radiação incidente durante o período analisado. Efetuou-se uma comparação dos índices UV, para o período de janeiro de 1998 a março de 2007, obtidos experimentalmente com os resultados fornecidos pelo modelo do Laboratório do Ozônio, o qual considera apenas dias de céu claro, sem influência de nuvens. Os resultados mostram que há uma diferença considerável entre os dados experimentais e o modelo teórico, com os valores do primeiro bem menor que o segundo, o que já se esperava, visto que os dados experimentais são obtidos com condições reais da atmosfera, a qual apresenta nebulosidade e aerossóis, não considerados no modelo.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 Objetivos do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico (PMOA).....	3
2.2 Objetivos Específicos do Projeto.....	3
<b>CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
3.1 A Radiação Ultravioleta .....	4
3.2 Fonte de emissão da Radiação Ultravioleta.....	7
3.3 Influência da Radiação UV na Atmosfera terrestre.....	7
3.4 Incidência da Radiação Ultravioleta.....	8
3.5 Atenuação e absorção da Radiação Ultravioleta .....	8
3.5.1 Dióxido de Nitrogênio e Dióxido de Enxofre .....	9
3.5.2 Ozônio .....	10
3.5.3 Espalhamento da Radiação .....	12
3.5.4 Altitude .....	13
3.5.5 Incidência latitudinal, sazonal e do ângulo solar zenital .....	13
3.5.6 Albedo e cobertura de nuvens .....	16
3.6 Radiação biologicamente ativa.....	18
3.6.1 Efeitos causados pela Radiação UV-B .....	18
3.6.2 Espectro de ação biológica .....	19
3.6.3 Índice Ultravioleta .....	22
<b>CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
4.1 Radiômetro UV-B MS - 212 W.....	24
4.2 Espectrofotômetro Brewer.....	26
4.3 Software Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program.....	30
<b>CAPÍTULO 5 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA</b> .....	<b>33</b>
5.1 Visitas técnicas ao Observatório Espacial do Sul.....	33
5.1.2 Calibração do Espectrofotômetro Brewer .....	33
5.1.3 Manutenção Técnica do Espectrofotômetro Brewer .....	37
5.1.4 Manutenção Preventiva dos Equipamentos .....	38
<b>CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS</b> .....	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 8 – TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS</b> .....	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO 9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</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 - 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. O primeiro Equipamento a ser instalado foi o Espectrofotômetro Brewer #081.

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 do tipo A e tipo B, a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a coluna total de ozônio atmosférico.

O estudo da radiação ultravioleta é muito importante no Brasil por ser um país tropical, onde a incidência de radiação é intensa durante todo o ano, além de a camada de ozônio ser mais delgada na região equatorial, apresentando os maiores índices de radiação UV do planeta. Pelo fato de que a Região Sul do país sofre, ocasionalmente, efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico (Kirchhoff et al., 1996), uma redução significativa na coluna total de ozônio poderia acarretar em um aumento significativo de radiação UV, expondo demasiadamente as populações desta região.

Neste trabalho, estuda-se a intensidade e nocividade da radiação ultravioleta incidente no Observatório Espacial do Sul, através da análise da série temporal dos dados obtidos no período de 1994 a 2007 .

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivos 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 proceder o monitoramento, as análises estatísticas e comportamentais 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 Específicos do Projeto**

- Monitorar a radiação UV-A e UV-B incidentes no Observatório Espacial do Sul;
- Analisar o comportamento sazonal da Radiação UV-B, Eritema e índice UV sobre a região central do Rio Grande do Sul;
- Desenvolver comparação com os diferentes detectores instalados no OES.

## CAPÍTULO 3

### DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

#### 3.1 A Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta, descoberta em 1801 pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776 -1810), é a radiação eletromagnética de comprimentos de onda  $\lambda$  entre a região visível do espectro e os raios X, sendo a mais conhecida depois da radiação solar visível. A quantidade de energia solar correspondente a esta região espectral é bastante pequena, da ordem de 1,5% no topo da atmosfera terrestre, e só 0,5% atinge a superfície (Blumthaler, 1993). Esta radiação pode se subdividir em quatro faixas de comprimentos de onda entre 10 e 400 nm (Coulson, 1975):

- **NUV (NEAR ULTRAVIOLET)** – região que compreende 400 a 300 nm;
- **MUV (MIDDLE ULTRAVIOLET)** – que se estende de 300 até 200 nm;
- **FUV (FAR ULTRAVIOLET)** – corresponde à região de 200 até 100 nm;
- **EUV (EXTREME ULTRAVIOLET)** – também conhecido como XUV que corresponde a região entre 100 e 10 nm.

Ou em três faixas de acordo com a interação biológica entre 100 e 400 nm:

- **UV-A** – compreende a faixa entre 400 e 320 nm (Kirchhoff, 1995), mas também aceito por muitos autores como 315 nm (WMO, 1999; Roy et al., 1994), inclusive por organizações internacionais como a Organização Meteorológica Mundial (WMO) e a Organização Mundial da Saúde (WHO). Sua absorção pelos constituintes atmosféricos é ineficiente (Kirchhoff livro), atingindo a superfície terrestre em quase sua totalidade. Constitui cerca de 6,3% da emissão total do Sol.
- **UV-B** - região espectral de 320 a 280 nm, essa faixa contribui com cerca de 1,5% da irradiância solar total, enquanto que na superfície terrestre contribui

com 0,5% (Blumthaler, 1993). Seu principal agente absorvedor é a molécula de ozônio. Estima-se que uma redução de 1% no ozônio total poderia acarretar um aumento de 1,2% da Radiação UV Biologicamente Ativa (Krzýscin, 1996; McKenzie et al., 1991b). Apresenta o maior efeito biológico na superfície terrestre;

- **UV-C** – corresponde a região desde 280 a 100 nm, que é totalmente absorvida na atmosfera pelo ozônio, oxigênio molecular e outros constituintes atmosféricos, não atingindo o solo (WMO, 1999). Constituindo 1% da emissão solar (Frederick and Lubin, 1994), sua importância reside em dirigir a química da estratosfera e a formação da camada de ozônio.

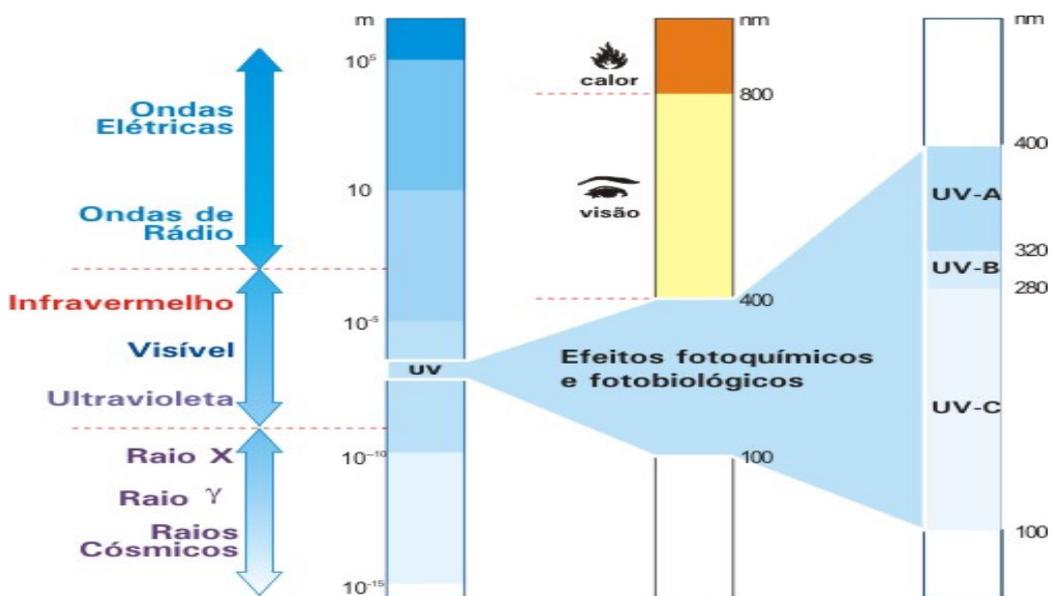


Fig. 3.1 – Espectro Eletromagnético apresentando a faixa total de emissão Solar, destacando a faixa do Ultravioleta. Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/R-UV.html>

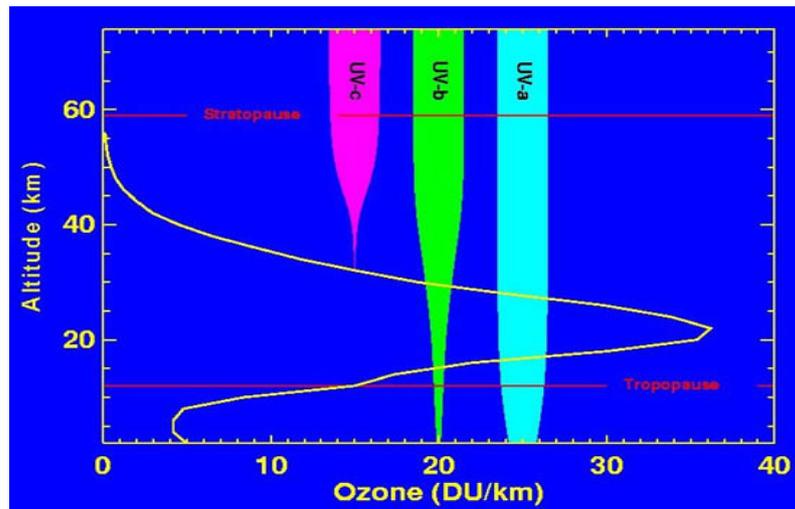


Fig. 3.2 – Perfil Vertical de Ozônio e Altitude de Penetração das faixas UV-A, UV-B e UV-C. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

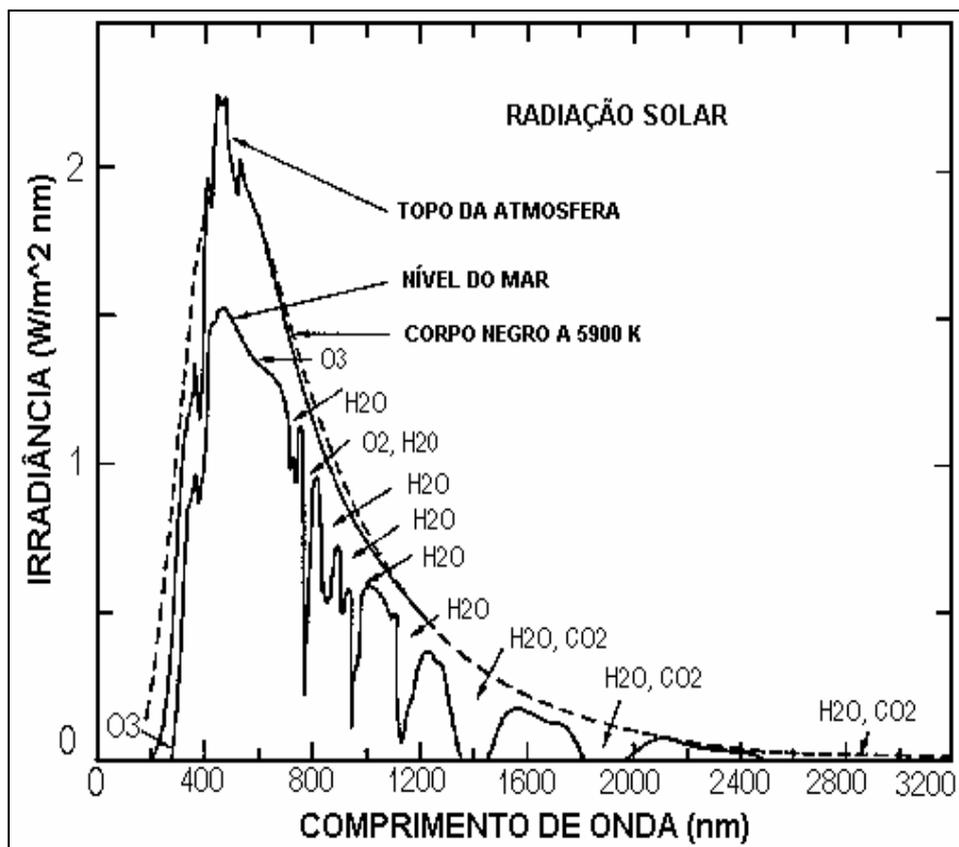


Fig. 3.3 - Espectro solar comparando a curva de radiação de corpo negro a 5900 K, a irradiância no topo da atmosfera e a irradiância ao nível do mar e as principais bandas de absorção atmosféricas. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

### 3.2 Fonte de emissão da Radiação Ultravioleta

A principal fonte emissora de Radiação Ultravioleta é o Sol, o qual é fonte de praticamente toda energia que entra no planeta Terra. A radiação solar possui importância fundamental em processos térmicos, dinâmicos e químicos na nossa atmosfera (Brasseur and Solomon, 1986). O Sol emite um espectro de radiação contínuo, com um máximo na região do visível, com uma curva similar a da radiação de um corpo negro emitindo a  $\sim 6000$  K, seguindo aproximadamente a Lei de Plank para a emissão de radiação (Coulson, 1975; Brasseur and Solomon, 1986; Kirchhoff, 1991; Lenoble, 1993). O espectro solar emitido é constituído principalmente por um contínuo originário da fotosfera e cromosfera e também por emissões na corona e cromosfera (Kivelson and Russel, 1995). A radiação ultravioleta solar é proveniente da fotosfera e cromosfera solar, tanto em emissão de linhas como no contínuo (Woods et al., 1996), e ao atravessar a atmosfera terrestre, é absorvida pelo oxigênio molecular e ozônio, além de espalhamento, minimizando seus efeitos nocivos.

A radiação solar apresenta variações temporais tanto de longo período, como a de 11 anos, associada ao ciclo das manchas solares, e de curto período, como a associada ao período de 27 dias da rotação solar. Variações de curto período no UV ocorrem principalmente em 27 e 14 dias, associadas à rotação solar, mas também à evolução de regiões solares ativas. A ocorrência de explosões solares pode aumentar por durante um curto período a emissão de radiação pelo Sol em comprimentos de onda mais curtos. As variações principais no UV ocorrem em comprimentos de onda  $< 290$  nm, e a radiação acima deste limite apresenta variações temporais inferiores a 1%, de maneira que a radiação UV acima de 290 nm pode ser considerada constante em curtos períodos de tempo, como por exemplo ao longo de um dia.

### 3.3 Influência da Radiação UV na Atmosfera terrestre

A radiação ultravioleta corresponde a uma pequena parte do espectro solar, sendo seu valor da ordem de 8 a 9% da radiação solar total incidente no topo da atmosfera terrestre para  $\lambda < 400$  nm e 1, 4% para  $\lambda < 300$  nm (Frederick and Lubin, 1994; Woods et al., 1996). Entretanto, a radiação UV é de grande importância na estruturação da atmosfera

terrestre e também tem grande ação na biosfera. A radiação de comprimentos mais curtos é responsável na atmosfera superior pela formação de uma camada ionizada importante para a rádio-propagação, a ionosfera. A radiação de comprimentos de onda intermediários atua na mesosfera e estratosfera como elemento forçante em uma série de reações fotoquímicas, incluindo o importante mecanismo de formação da molécula de ozônio. A absorção de UV na atmosfera terrestre influencia na distribuição de temperatura, na fotoquímica e no balanço de *momentum*, determinando as estruturas da estratosfera, mesosfera e termosfera inferior.

### **3.4 Incidência da Radiação Ultravioleta**

A radiação UV que incide no topo da atmosfera depende basicamente da distância Terra – Sol e de variações da atividade solar. Já a radiação que atinge a biosfera varia com o tempo e localização. Algumas destas variações são regulares e devido a fatores geométricos bem determinados e outras são devido aos constituintes atmosféricos que determinam a transmissão do topo à superfície da atmosfera (Madronich, 1993). Dentre os inúmeros fatores responsáveis pela atenuação e distribuição da radiação UV na atmosfera terrestre, pode – se citar: gases traço, espalhamento Rayleigh e por aerossóis, nebulosidade, albedo do solo, latitude geográfica, altitude, ângulo solar zenital entre outros fatores (Robinson, 1966; Coulson, 1975; Lenoble, 1993).

### **3.5 Atenuação e absorção da Radiação Ultravioleta**

A radiação UV-B é atenuada à medida que penetra na atmosfera, onde os menores comprimentos de onda são atenuados no topo da atmosfera, principalmente pelo NO<sub>2</sub> (Davidson et al., 1988) e SO<sub>2</sub> (McGee e Burris Jr, 1987). Na média atmosfera, os comprimentos de ondas médios são atenuados pelo ozônio (Green, 1964; Molina e Molina, 1986), já os comprimentos de onda mais longos atingem a superfície terrestre por não haver forte absorção molecular na atmosfera (Brasseur and Solomon, 1986). A radiação pode ser espalhada pelos aerossóis e espalhamento Rayleigh e ainda auxiliam muito na atenuação da radiação a latitude, o ângulo zenital, a altitude, o albedo e a cobertura de nuvens.

A Figura 3.4 apresenta a penetração da radiação UV na atmosfera terrestre em função do comprimento de onda. As altitudes correspondem a uma atenuação de um fator de  $1/e$  da radiação.

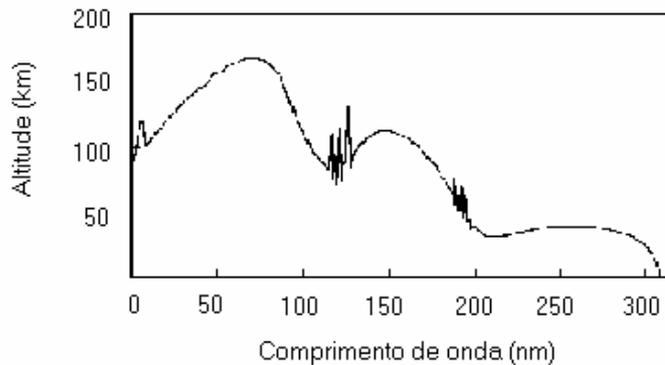


Fig. 3.4 - Distribuição da atenuação da irradiância de UV solar em função da altitude.

Fonte: Adaptado de Brasseur and Solomon, 1986.

### 3.5.1 Dióxido de Nitrogênio e Dióxido de Enxofre

Encontrados principalmente em regiões poluídas, o  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$  afetam os níveis de UV na atmosfera, mas se comparados com o ozônio, possuem uma concentração muito pequena.

#### 3.5.1.1 Dióxido de Nitrogênio

A molécula de  $\text{NO}_2$  pode resultar da oxidação do  $\text{NO}$  nas camadas superiores da estratosfera (Summers, 1999), ou produzida na troposfera a partir da combustão em alta temperatura de combustível fóssil e da ocorrência de relâmpagos (Walker, 1977). O solo e o oceano também são fontes importantes de óxidos de nitrogênio oriundos da nitrificação realizada por microorganismos (Kinzig e Socolow, 1994). Em geral o  $\text{NO}$  e o  $\text{NO}_2$  são os principais produtos desses processos, o  $\text{NO}$  é posteriormente oxidado transformando-se em  $\text{NO}_2$ .

A molécula de dióxido de nitrogênio absorve a radiação solar na baixa e média atmosfera. Este fenômeno extremamente importante deve-se ao fato de que o  $\text{NO}_2$

absorve a radiação solar não só na faixa do ultravioleta, mas também do visível, sendo fotodissociado em toda a atmosfera, inclusive na troposfera onde é o principal responsável pela presença do átomo de oxigênio proveniente de sua dissociação. Assim, a absorção pela molécula de  $\text{NO}_2$  da radiação na faixa do visível é importante por ser responsável pela formação do *smog* fotoquímico na troposfera e por ser efetiva na redução da intensidade da radiação solar que atinge o solo (Shimazaki, 1985).

### 3.5.1.2 Dióxido de Enxofre

O  $\text{SO}_2$  é fonte principalmente da emissão antropogênica proveniente da queima de combustível fóssil, a emissão natural resultante de erupções vulcânicas e a produção a partir de sulfetos orgânicos (Warneck, 1988; Fioletov et al., 1998). Este gás possui maior seção de choque depois do  $\text{NO}_2$ , sendo de grande importância na atenuação da radiação UV.

Em áreas não poluídas, a concentração de  $\text{SO}_2$  é menor que 1 UD (Unidades Dobson), já nas regiões urbanas poluídas, essa concentração é em torno de 4 a 6 UD, podendo em casos extremos chegar a 20 UD. Nos casos de erupção vulcânica, há registros de até 600 UD nas cercanias do vulcão (Fioletov et al., 1998).

### 3.5.2 Ozônio

Sendo o componente mais importante na atenuação da radiação UV-B, o ozônio, descoberto em 1840 pelo químico suíço C. F. Schönbein (Whitten e Prasad, 1985) e presente na atmosfera terrestre cerca de 1,5 bilhões de anos atrás (Walker, 1977; Lovelock, 1988; Mézáros, 1993), é uma molécula constituída por três átomos de oxigênio, cuja maior concentração ocorre na Estratosfera (16 – 50 km). Nesta região, a temperatura começa a aumentar com a altitude porque, ao absorver radiação ultravioleta, o ozônio libera energia na forma de calor. Isso influencia decisivamente na estrutura da atmosfera. A existência dessa maior concentração de ozônio na Estratosfera determina a inversão do perfil de temperatura na Tropopausa e o máximo secundário na Estratopausa, sendo uma fonte de calor que alimenta diversos processos dinâmicos e contribui para o sistema de circulação atmosférica global (Whitten e Prasad, 1985;

Brasseur e Solomon, 1986). A região entre 15 e 35 km de altitude é conhecida como camada de ozônio devido a maior abundância desse gás, cerca de 90% do ozônio total encontra-se nesta região.

### 3.5.2.1 Absorção da radiação UV pelo ozônio

O ozônio absorve radiação UV fortemente em duas bandas na região do ultravioleta. Na banda contínua entre 200 e 300 nm denominada banda Hartley, e na banda entre 300 e 360 nm, chamada banda Huggins, na qual absorve debilmente.

A Figura 3.5 apresenta a seção reta de absorção molecular para o ozônio na temperatura de 226 K para a faixa 290-325 nm, obtidos por Molina e Molina (1986). Observa-se que a seção reta de absorção molecular decai exponencialmente com o comprimento de onda na região espectral considerada, ou seja, a absorção de radiação pelo ozônio é mais intensa em comprimentos de onda mais curtos.

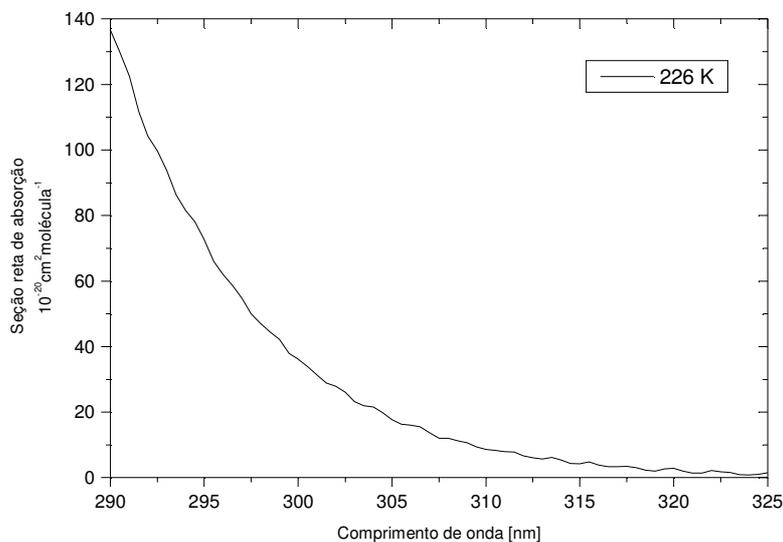


Fig 3.5 – Seção de absorção molecular de ozônio (290 – 325 nm) – temperatura de 226 K. Faixa medida pelo espectrofotômetro Brewer. Fonte: Dados de Molina e Molina (1986).

### **3.5.3 Espalhamento da Radiação**

É um processo físico pelo qual uma partícula, no caminho de uma onda eletromagnética, absorve energia desta onda incidente e re-irradia esta onda em todas as direções. O espalhamento ocorre nas camadas mais densas da atmosfera, devido a presença de grandes concentrações de moléculas do ar e partículas de aerossóis.

#### **3.5.3.1 Espalhamento por aerossóis**

Aerossóis são partículas pequenas, sólidas ou líquidas encontradas mesmo na atmosfera mais limpa. Podem ser de origem natural como da ação erosiva dos ventos sobre o solo e a superfície oceânica, ou da conversão gás-partícula ocorrida entre moléculas numa reação química. Podem ter também origem antropogênica como da emissão de particulados da combustão de combustível fóssil (Seinfeld, 1985). Concentrados nas camadas inferiores da troposfera, sua remoção da atmosfera ocorre principalmente por deposição seca, evaporação e precipitação.

Os aerossóis têm grande influência no clima uma vez que eles aumentam a quantidade de radiação refletida para o espaço (efeito albedo) ao mesmo tempo que, como núcleos formadores de gotículas d'água, levam à formação de nuvens que ajudam a concentrar a radiação infravermelha na troposfera, o conhecido efeito estufa (Twitty e Weinman, 1971; McCartney, 1976; Michelangeli et al., 1992; Lorente et al., 1994). Pesquisas indicam que a radiação na superfície diminui de 5 a 10% durante o verão devido ao espalhamento de aerossóis.

#### **3.5.3.2 Espalhamento Rayleigh**

Ocorre quando a radiação interage com moléculas atmosféricas e outras partículas minúsculas que são muito menores em diâmetro do que o comprimento de onda da radiação. O espalhamento Rayleigh é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda ( $\sim \lambda^{-4}$ ), de maneira que quanto menor o comprimento de onda (na região visível), maior o espalhamento.

É o fator responsável pelo céu parecer azul. O fato de se enxergar o céu azul é porque o início do espectro visível, que é azul-violeta, espalhou mais fortemente do que a luz na parte de vermelho-laranja do espectro, cujos comprimentos de onda são maiores que no azul. Provas do espalhamento Rayleigh são as fotos de astronautas no espaço, onde se pode observar que não há um céu visível no espaço, isso é devido a ausência de uma atmosfera para que a luz do Sol se espalhe.

### **3.5.4 Altitude**

Os locais de maior altitude, como nas montanhas, apresentam altos valores de radiação, pois a radiação atravessa uma menor distância de atmosfera, sendo menos absorvida e espalhada. Como regra geral, para cada 300 metros de aumento de altitude, o poder da radiação UV em causar queimaduras aumenta em cerca de 4%.

### **3.5.5 Incidência latitudinal, sazonal e do ângulo solar zenital**

A incidência de radiação solar está intimamente relacionada com a latitude, isto é, quanto menor a latitude, menor a distância percorrida pela radiação UV na atmosfera terrestre. Por exemplo, a média de exposição anual para uma pessoa vivendo no Havaí (20° N) é aproximadamente quatro vezes maior do que a de outra vivendo no norte europeu (50° N).

Locais afastados do equador, onde a latitude e o ângulo solar zenital são maiores, possuem uma grande variação sazonal onde, em climas temperados como no norte da Europa, a intensidade da UVB pode variar até 25 vezes entre inverno e verão. A intensidade da UVA é mais constante, sendo menos suscetível à reflexão, à deflexão e ao conseqüente enfraquecimento durante uma passagem mais curta ou mais longa pela atmosfera. Por outro lado, ao redor do equador, a variação sazonal é muito menor, sendo os níveis de radiação altos durante o ano todo, porque o Sol está sempre relativamente alto no céu no meio do dia, independentemente da estação do ano.

Analisando a Figura 3.6, obtida no dia 21 de junho de 2000, ou seja, próximo ao Solstício de Verão para o Hemisfério Norte, verifica-se o deslocamento da máxima irradiação para latitudes médias daquele hemisfério.

A Figura 3.7 foi obtida de uma imagem de satélite coletada para o dia 22 de dezembro de 2000, quando se está próximo ao Solstício de Verão para o Hemisfério Sul. Nesta Figura pode-se observar o nítido deslocamento da região de máxima irradiação em direção a latitudes médias, agora para o Hemisfério Sul. Verifica-se também uma maior área com a máxima escala de irradiação (no caso representada pela cor violeta) quando comparada com a Figura 3.6, que possui mesma escala.

A maior densidade de radiação UV é recebida nas quatro horas em torno do zênite solar (isto é, quando o Sol está em seu ponto mais alto no céu). No Brasil isto acontece entre 11h e 15h em um dia claro de verão. Nessas horas, o ângulo dos raios solares relativamente à superfície da Terra é tal que a luz tem a menor distância para atravessar a atmosfera e, portanto, menor oportunidade de ser absorvida ou refletida. Como resultado, cerca de um terço da radiação UV diária é recebida entre 12h e 14h e três quartos entre 10h e 16h.

Aos níveis de UV-B, em particular, variam significativamente durante o dia, sendo muito mais suscetíveis aos fatores atmosféricos do que a UV-A e a luz visível; assim, no verão, a intensidade de UV-B aumenta e diminui muitas vezes entre 10h e 16h. Em termos práticos, portanto, isto significa que o risco de queimadura solar é quando o Sol se encontra em seu ponto mais alto, o que ocorre mais ou menos em torno das 13h, embora no verão deva-se manter um nível mínimo de exposição entre 11h e 15h porque os níveis de radiações são persistentemente altos durante essa estação.

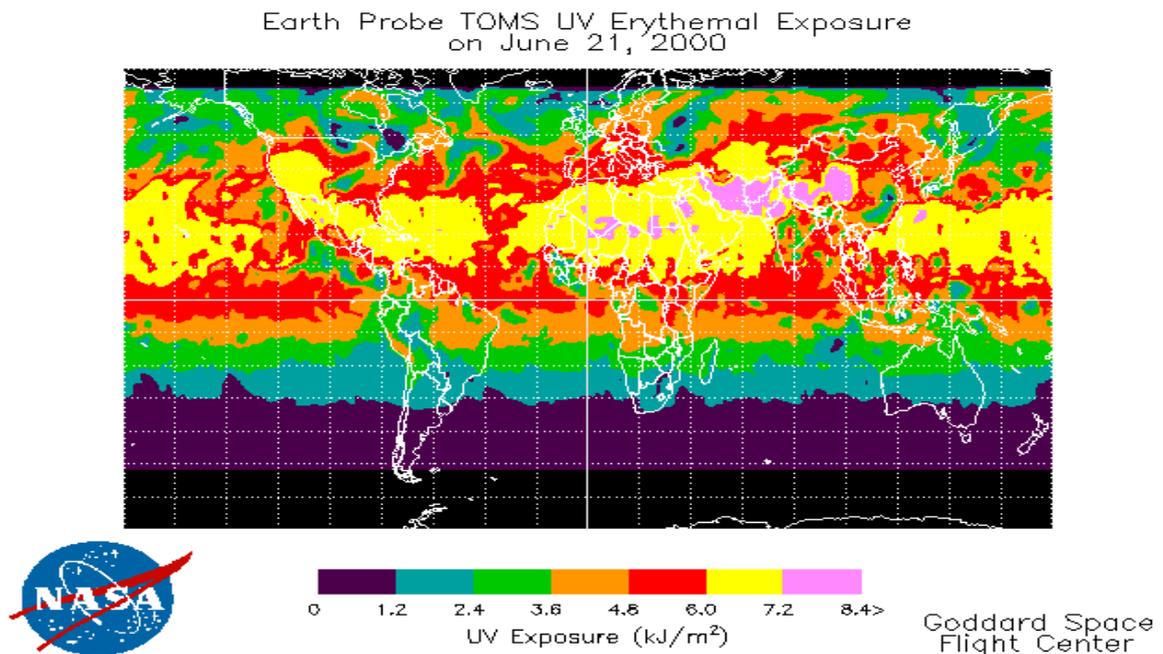


Fig. 3.6 - Incidência de Radiação Ultravioleta no dia 21/06/2000 obtida com o satélite Earth Probe / TOMS da NASA. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

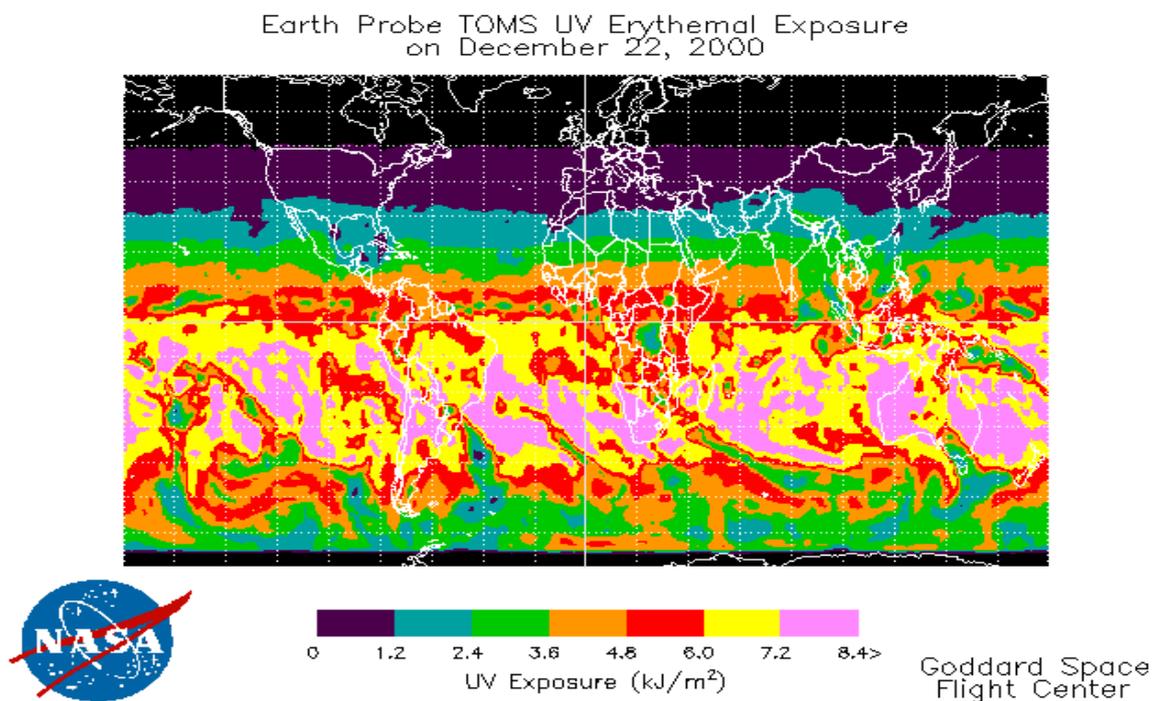


Fig. 3.7 - Incidência de Radiação Ultravioleta no dia 22/12/2000 obtida com o satélite Earth Probe / TOMS da NASA. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

### 3.5.6 Albedo e cobertura de nuvens

Albedo é a fração de luz que é refletida por um corpo ou superfície, também definido como a razão entre a intensidade de radiação refletida e a incidente numa superfície, sendo comumente usado em astronomia para descrever as propriedades reflexivas de planetas, satélites e asteróides.

O albedo da superfície terrestre varia com o tipo de material que cobre a superfície, por exemplo, a neve pode refletir mais de 95 % da radiação incidente. Num outro aspecto, o albedo afetaria pouco na faixa UV, existindo poucas medições de albedo, algumas são mostradas na Tabela 3.1.

A ação das nuvens em reduzir a quantidade de radiação UV que atinge a superfície terrestre é apenas moderada, muito menor do que elas exercem sobre a temperatura, de modo que uma pessoa possa muito bem se queimar em um dia nublado de verão, mesmo que a temperatura esteja amena. Isto acontece porque a água das nuvens absorve calor muito melhor do que absorve radiação UV. Dessa maneira, nuvens esparsas em um céu azul influenciam muito pouco o nível de radiação UVB, embora, um toldamento de nuvens completo do céu possa, ocasionalmente, reduzir a probabilidade de uma queimadura de até 50% e nuvens muito pesadas podem levar essa redução a 90%. Portanto, é possível ganhar uma queimadura em um dia de verão mesmo que o tempo esteja nublado, frio e desagradável. A poluição tem um efeito semelhante ao das nuvens, reduzindo apenas discretamente os efeitos da radiação UV.

Na Tabela 3.2 estão contidas as porcentagens de transmissão, na faixa do visível, para diferentes tipos de nuvens e ângulo zenital solar de 60°.

Tabela 3.1 – Tipos de Albedo de algumas superfícies

<b><u>Tipo de Superfície</u></b>	Albedo	
	<b>Visível</b>	<b>UV</b>
Neve	0,46–0,85 -	0,46–0,85 0,93±0,05
Oceano	0,03–0,46 0,24–0,45	- -
Floresta	0,05–0,18 0,06–0,73	- -
Nuvens	0,70–0,95	-

Fonte: Finlayson and Pitts (1986)

Tabela 3.2 – Transmissão da radiação X Nuvens

<b>Tipo de Nuvem</b>	<b>% de Transmissão</b>
Ci, Cirrus	84
Cs, Cirrostratus	78
Ac, Altocumulus	50
As, Altostratus	41
Sc, Stratocumulus	34
St, Stratus	25
Ns, Nimbostratus	19
Neblina típica (Fog)	17

### 3.6 Radiação biologicamente ativa

#### 3.6.1 Efeitos causados pela Radiação UV-B

Inúmeros são os danos causados pela radiação solar aos seres vivos. A sua ação está diretamente relacionada a quantidade de radiação, ou seja, ao tempo de exposição. A maneira pela qual a radiação solar afeta as populações depende do seu comprimento de onda, o qual determina como ela será absorvida pelos diferentes tecidos.

##### 3.6.1.1 Efeitos sobre a saúde humana

A principal reação da pele à exposição excessiva aos raios solares é queimadura, ou eritema. O avermelhamento da pele é resultado do aumento do fluxo de sangue, devido à dilatação dos vasos sanguíneos mais superficiais. Altas doses de radiação UV também podem provocar edemas, bolhas, pigmentação da pele, cataratas e supressão do sistema imunológico, ou seja, diminuição da resistência e portanto da defesa contra infecções locais e sistêmicas. As lesões crônicas têm aspectos clínicos muito variados, traduzidos pelo fotoenvelhecimento e, principalmente, pela ocorrência de cânceres cutâneos. A Figura 3.8 apresenta alguns dos efeitos da radiação sobre a pele humana.



Envelhecimento precoce

Câncer melanoma

Carcinoma espinocelular

Fig. 3.8 – Efeitos causados sobre a pele humana devido a exposição excessiva ao Sol.

Fonte: Sociedade Brasileira de Dermatologia - <http://www.sbd.org.br/>

##### 3.6.1.2 Efeitos sobre a biosfera

O UV pode produzir alguns efeitos danosos à biosfera tais como: alteração da distribuição e abundância do fitoplâncton e das algas bentônicas, base da cadeia

alimentar marinha, e na redução da pesca (Kirchhoff, 1995; Zamorano, 1997). Nas plantas há a redução da altura (M. Martyn, 2003), mudança na espessura e tamanho das folhas, redução da floração, aumento da gargalha, modificação do peso seco e redução na atividade fotossintética.

### 3.6.2 Espectro de ação biológica

A Irradiância solar na superfície terrestre é medida em termos de potência por área e por comprimento de onda ( $W/m^2nm$ ) ou em banda integrada ( $W/m^2$ ). Para o estudo de efeitos biológicos utilizam-se espectros de ponderação, os quais atribuem pesos maiores a comprimentos de onda de maior interação biológica. A sensibilidade biológica nos diferentes comprimentos de onda é descrita por um espectro de ação. Um espectro de ação é definido como uma relação numérica de resposta biológica relativa sob exposição a uma série de radiações monocromáticas em uma determinada faixa espectral (Madronich, 1993). Realizando-se uma convolução entre a irradiância absoluta e o espectro de ação obtém-se a irradiância ponderada. Para o efeito da radiação solar sobre a pele humana, que pode provocar queimaduras e até câncer de pele, utiliza-se o Espectro de Ação de Eritema de McKinlay – Diffey (1987).

Seja um “espectro de intensidade de radiação”  $E(\lambda)$  e um “espectro de ação”  $S(\lambda)$  para um efeito biológico particular; a “intensidade espectral ponderada” é definida pelo produto  $E(\lambda)S(\lambda)$ . Integrando-se o produto  $E(\lambda)S(\lambda)$  sobre todos os comprimentos de onda obtém-se a intensidade de radiação efetiva (taxa de energia efetiva), resultado da convolução das intensidades espectrais com o espectro de ação; integrando esta irradiância efetiva sobre um período de tempo, obtém-se a Dose de Radiação, em unidades de energia por área [ $J/m^2$ ]. A expressão a seguir representa matematicamente o conceito de dose:

$$\text{Dose} = \iint E(\lambda)S(\lambda)d\lambda dt \quad (3.4)$$

A Figura 3.9 mostra como fica a radiação UV ponderada com o Espectro de Ação de Eritema (McKinlay-Diffey).

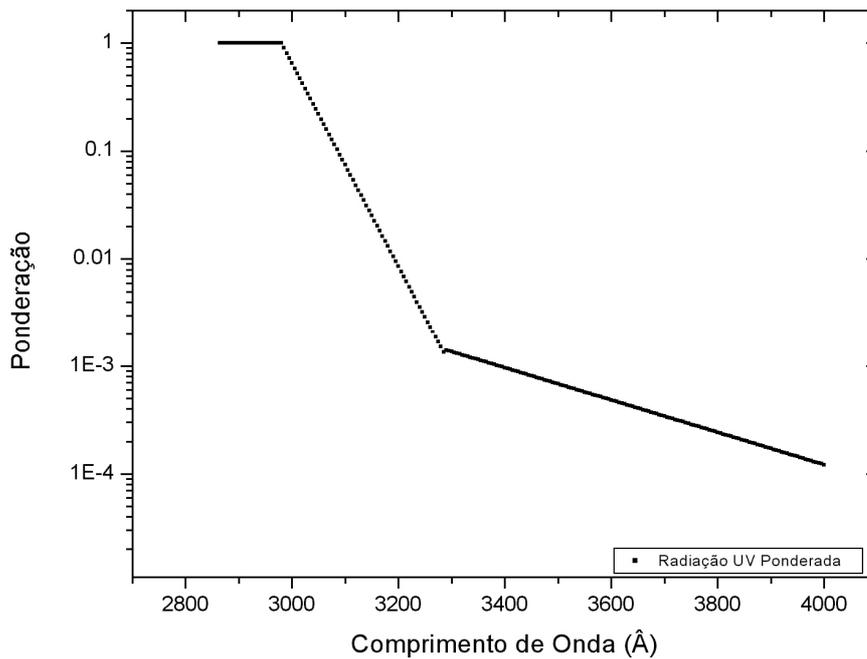


Fig. 3.9 – Espectro de Ação de Eritema (McKinlay-Diffey).

A dose é uma quantidade de energia ponderada para uma dada ação biológica a que certa pessoa foi exposta num processo de irradiação. Uma definição muito importante é a dose eritematosa mínima, que uma vez aplicada produz, após um período de 24 horas, sinais de queimadura na pele (situação eritematosa).

Surge daí a definição do MED (*Minimum Erythema Dosis*) que é a quantidade de energia mínima capaz de causar um eritema. Nota-se que MED não representa um valor fixo de energia, ao contrário, é diferente para cada pessoa. A Tabela 3.3 mostra como que foram classificados os tipos de pele e na Figura 3.10 estão calculadas as doses eritematosas para cada tipo de pele.

Tabela 3.3 - Descrição básica de fototipos de pele humana. Fonte: Kirchoff, 1995

FOTOTIPOS DE PELE	COR DA PELE	TIPO DE PELE
Nunca bronzeia, sempre queima	Muito branca, característica de loiras e ruivas.	<b>A</b>
Às vezes bronzeia, em geral queima.	Morena clara	<b>B</b>
Em geral bronzeia, às vezes queima.	Morena escura	<b>C</b>
Sempre bronzeia, raramente queima.	Morena bem escura e negra.	<b>D</b>

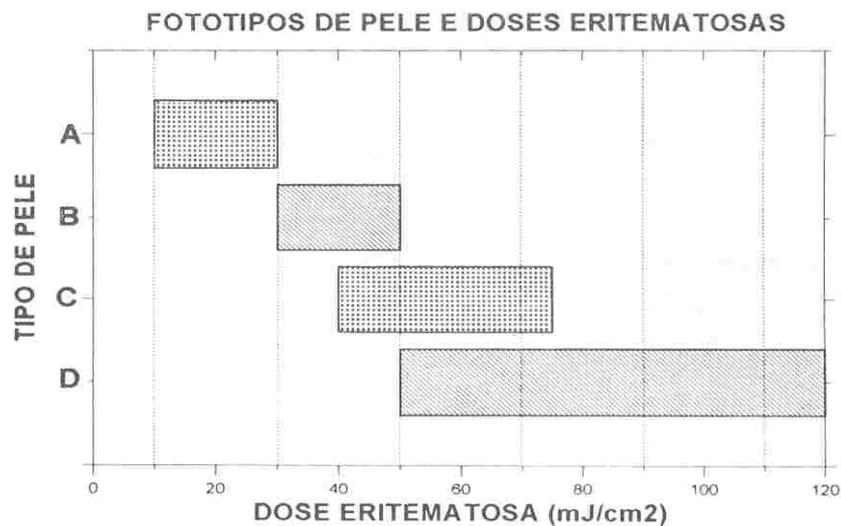


Fig. 3.10 – Os quatro tipos de pele humana e as faixas de doses eritematosas. Fonte: Kirchoff, 1995.

### 3.6.3 Índice Ultravioleta

O Índice ultravioleta, IU-V ou UV Index, é um parâmetro criado para definir a intensidade a que uma pessoa está exposta à irradiação do Sol na faixa do UV-B. Foi criado para informar o público leigo e preveni-lo do tempo máximo de exposição ao Sol.

Alguns equipamentos, como o UV-Biometer, medem energia ultravioleta ponderada como o Espectro Eritema, e a saída das medidas é dada em MED/hora, considerando um MED de  $23 \text{ mJ/cm}^2$ , representando uma pessoa com pele tipo A. O cálculo do índice ultravioleta, realizado a partir da medida da dose acumulada em 1 hora, baseia-se na conversão do valor obtido em MEDs para  $\text{mJ/cm}^2$  através da multiplicação pelo fator de conversão do instrumento – 23 - (Kirchhoff, 1995). Como exemplo, tendo sido obtida uma dose de energia acumulada em 1 hora igual a 5 MEDs, multiplicando-se pelo fator de calibração  $23 \text{ mJ/cm}^2$ , obtém-se  $115 \text{ mJ/cm}^2$ , ou  $11,5 \text{ cJ/cm}^2$ , e o Índice UV neste caso seria igual a 11 (despreza-se a parte decimal).

O tempo máximo para exposição solar sem causar eritema, neste caso é:

$60 / 5 = 12$  minutos (onde 5 é o quantidade de MEDS).

A Tabela 3.4 apresenta a classificação do Índice UV em intervalos e o correspondente conceito associado. O valor do Índice é um indicativo da intensidade da radiação e do grau de exposição às pessoas num determinado horário. A classificação do índice UV de *mínimo* a *muito alto* serve como indicativo do tempo de exposição segura ao Sol a que uma pessoa poderá se submeter. Este tempo dependerá do tipo de pele da pessoa e da intensidade de radiação.

Tabela 3.4 - Classificação do índice UV.

CATEGORIA	ÍNDICE ULTRAVIOLETA
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv>

Os tempos de exposição segura ao Sol para diferentes tipos de pele, de acordo com o Índice Ultravioleta são mostrados na Figura 3.11.

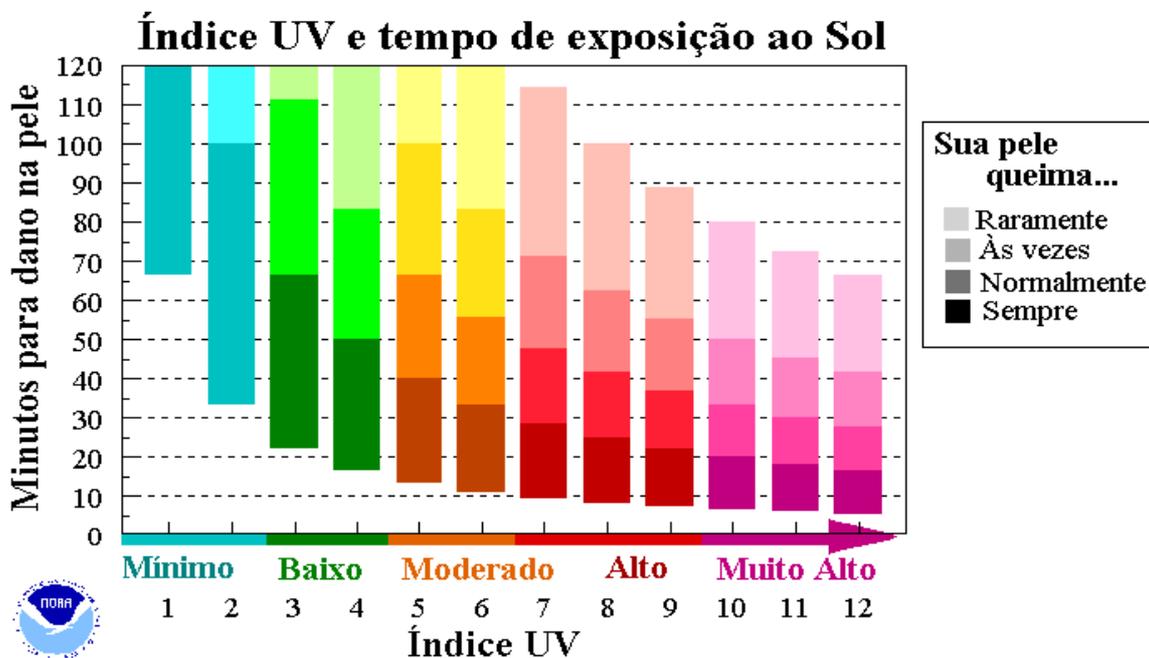


Fig. 3.11 - Gráfico indicativo do tempo seguro de exposição ao Sol para diferentes tipos de pele de acordo com o Índice Ultravioleta. Adaptado de: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere>

## CAPÍTULO 4

### METODOLOGIA

Encontram-se instalados na plataforma do Observatório Espacial do Sul (29,4°S, 53,8°O, 488,7 m) sete medidores de radiação ultravioleta e um da coluna total de ozônio, que serão descritos a seguir, onde todos os dados gerados pelos equipamentos são controlados e armazenados no prédio 1 do Observatório, mostrado na Figura 4.1.



Fig. 4.1 – Plataforma com equipamentos instalados e prédio 1 no Observatório Espacial do Sul.

Foram desenvolvidos estudos e análises de todos os equipamentos de emissão de radiação instalados no Observatório Espacial do Sul, que são: Radiômetros UV-B MS - 212 W, Radiômetro UV-A MS - 212 A, Espectroradiômetro MS-701, Biometer 501 A da Solar Ligh, Ground – Based Ultraviolet Radiometer GUV 511 C e Espectrofotômetro Brewer. Porém serão apresentadas as metodologias referentes somente aos instrumentos que originaram os dados analisados neste relatório.

#### 4.1 Radiômetro UV-B MS - 212 W

O Radiômetro UV-B instalado no Observatório efetua medidas de radiação ultravioleta incidente em uma faixa de 280 a 315 nm, medindo a energia total nesta faixa. É efetuada uma medida por minuto.

No sistema óptico, a radiação solar incidente em um domo de quartzo é então difusa por um Teflon difusor, e somente a radiação UV-B é transmitida após passar por um filtro de interferência. Após a radiação ser transmitida através do filtro de interferência, ela é então convertida em fluorescência de largo comprimento de onda ao se chocar com uma lente fluorescente. As radiações de maior e menor comprimentos de onda são removidas pelo filtro de bloqueio e a radiação fluorescente restante é transmitida ao sensor. A radiação fluorescente é então convertida em corrente, amplificada por um pré-amplificador e o sinal de saída é um nível de tensão DC de 0 à 10 mV (ou 0 à 1 V). Um circuito compensador de temperatura está embutido junto ao circuito de medida, mantendo o ganho de tensão (corrente) inalterado pela variação de temperatura. Este sistema faz com que os valores das medições não sejam alterados com o aumento ou queda de temperatura.

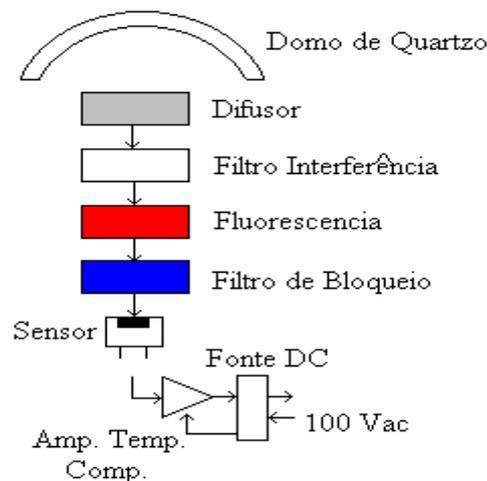


Fig. 4.2 - Diagrama mostrando os vários estágios que compõe o sistema de medição do UV-B Radiometer modelo MS-212W.



Fig. 4.3 – Radiômetro UV-B MS-212 W instalado na plataforma do OES.

Os dados dos instrumentos são armazenados em computadores dedicados ao controle dos equipamentos, instalado no Prédio 1. Esses dados são copiados periodicamente e gravados no Banco de Dados do LACESM/CT/UFSM e CRS/CIE/INPE - MCT, onde são convertidos para formato texto, podendo-se assim obter dados de radiação ultravioleta. A Figura 4.2 ilustra um diagrama esquemático do Radiômetro e a Figura 4.3 mostra este equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul.

#### 4.2 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  $O_3$  e  $SO_2$ . Este equipamento foi instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, a partir do Convênio entre a UFSM e o INPE/MCT. Durante o período de 1992 – 2000 o equipamento instalado foi o Brewer 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.

O modelo MKIII #167 difere dos anteriores 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.

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, 286,5 a 363,0 nm modelo MKIII) 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  $\lambda$  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 4.4.

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 4.5.

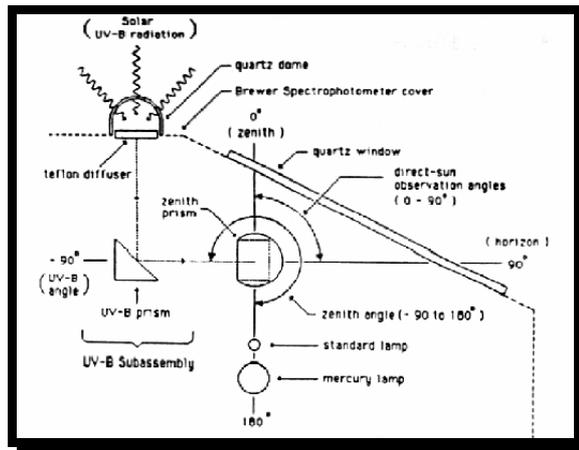


Fig. 4.4 - Possíveis posicionamentos do prisma e caminhos percorridos pela luz até chegar ao prisma nos Brewers MKII e MKIV. Fonte: Manual de Operação do Espectrofotômetro Brewer MK II.

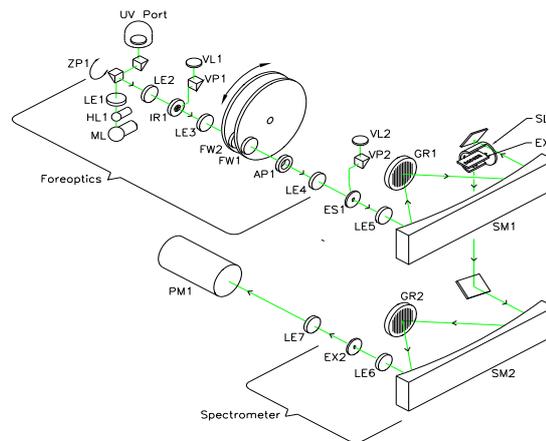


Fig. 4.5 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MK III. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK III.

O Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul é mostrado na Figura 4.6, onde observa-se 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.

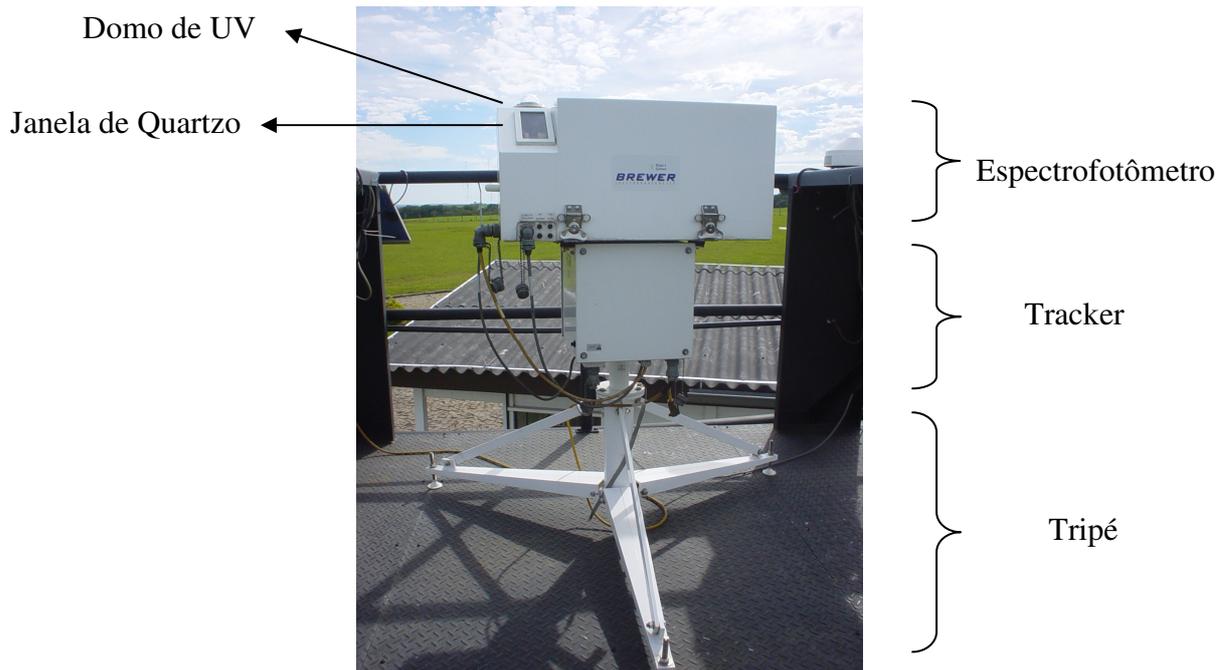


Fig. 4.6 - Espectrofotômetro Brewer MK III # 167 atualmente instalado no Observatório Especial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

### 4.3 Software Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program

O software Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program, desenvolvido pelo engenheiro Martin Stanek, é utilizado para analisar os dados de radiação ultravioleta fornecidos pelo Brewer. Este é um programa que permite a converção dos dados em irradiância e integral diária. A versão utilizada para análise foi a UVBrewer 2.1.

O programa reprocessa os dados dos arquivos UV fazendo uso de um arquivo de calibração UVR. Podem ser aplicados diversos espectros de ação disponíveis na interface do programa, que roda em ambiente Windows. Assim, pode-se obter a irradiância pesada pelo espectro escolhido, bem como a integral diária de energia efetiva em cada espectro de ação. O UV Brewer apresenta uma saída gráfica com análises temporais e espectrais dos dados, onde se pode observar os dados brutos e ponderados. Os dados podem também ser visualizados em tabelas que podem ser exportadas em formato ASCII pela função *Export*.

Além da potência de radiação UV medida em cada horário e das integrais diárias, o software mostra o valor de índice ultravioleta em cada medida UV realizada ao longo de um dia, bem como o horário, temperatura e o ângulo solar zenital.

Na Figura 4.7 observa-se a interface do programa mostrando a análise de um arquivo UV do dia 13 de novembro de 2006. Pode-se ver o valor do índice ultravioleta para determinado horário e a curva do comportamento da radiação ultravioleta pesada pelo espectro Eritema ao longo do dia, assumindo o máximo de radiação aproximadamente às 15:30 GMT. Verifica-se ainda o valor da integral diária de energia eritematosa no canto inferior esquerdo, que é igual a integral da curva apresentada, e a potência incidente no horário apresentado.

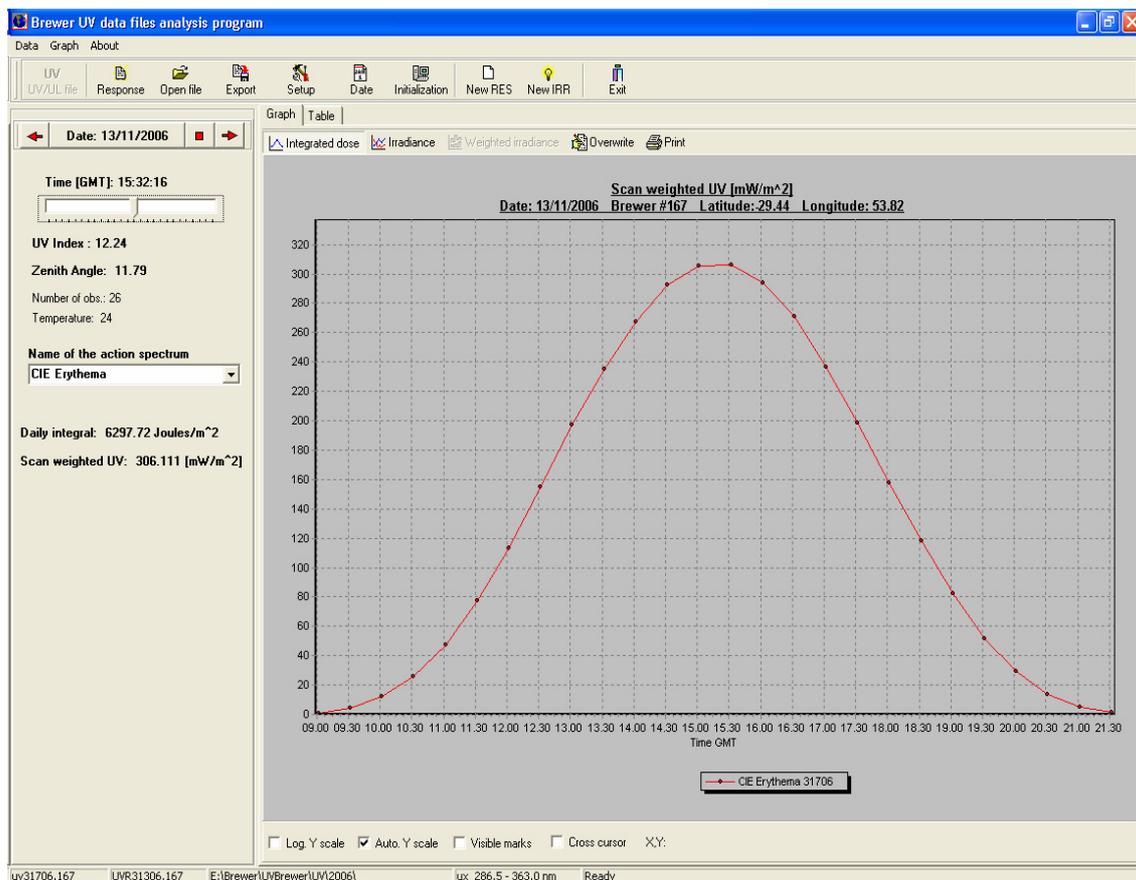


Fig 4.7 – Interface do Software Brewer UV Data Analysis Program v.2.1, mostrando uma curva do comportamento diário da radiação ultravioleta efetiva.

O software possibilita também visualizar a irradiância para uma determinada medida do equipamento. A irradiância mostra as potências (taxas de energia transportada pela radiação) medidas em cada comprimento de onda. Na Figura 4.8 pode-se observar duas curvas: uma vermelha que representa a irradiância bruta e outra azul que representa a irradiância pesada no espectro de Erythema. O gráfico está representado em escala logarítmica para que se possa observar o real comportamento das irradiâncias. A área sob a curva azul em relação ao comprimento de onda resulta na potência eritematosa total incidente sobre o equipamento no instante da medida, às 15 h e 32 min (GMT).

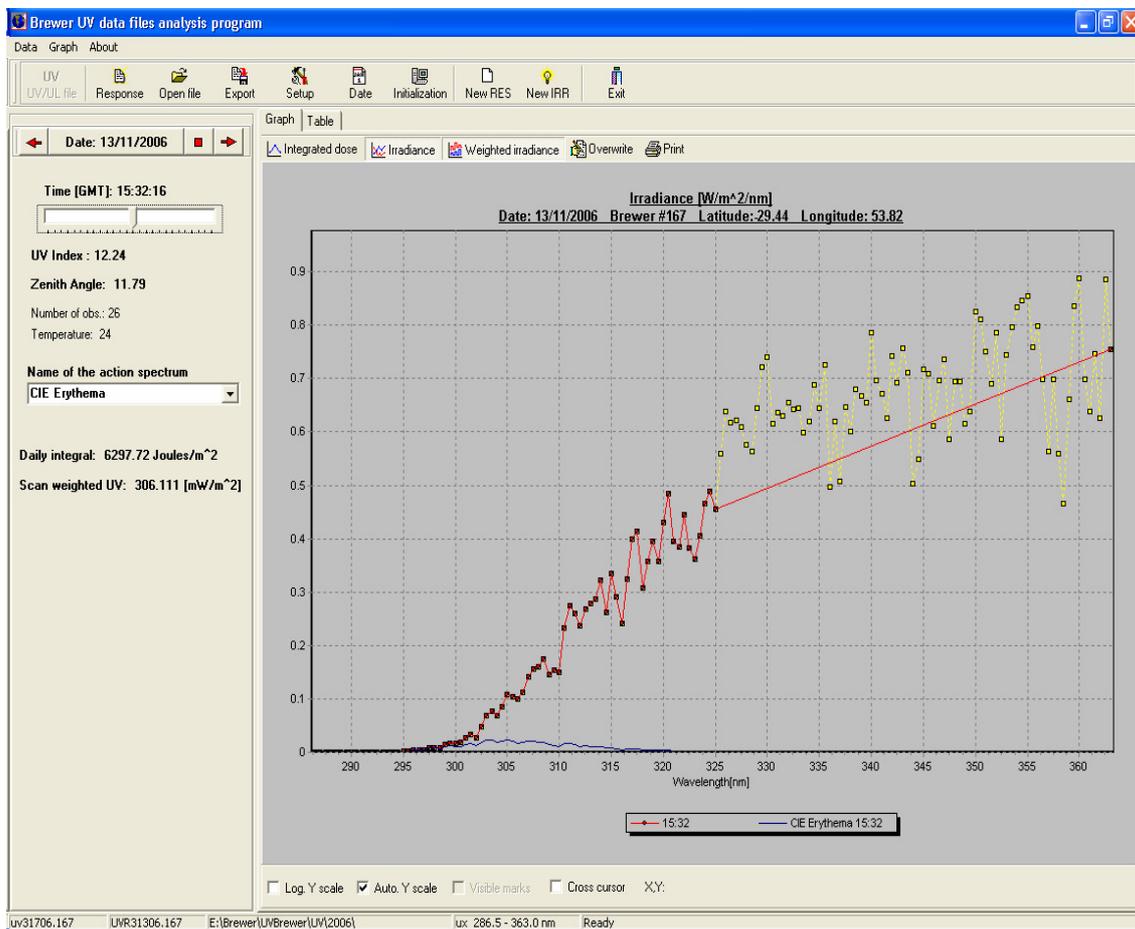


Fig. 4.8 – Interface do programa UV Brewer mostrando a irradiância medida em determinado horário.

## 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.

##### 5.1.2 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. Para realizar as calibrações, é utilizado um kit fornecido pelo fabricante do equipamento. O conjunto é formado por uma fonte ajustável de precisão, um multímetro, um suporte para as lâmpadas e as lâmpadas padrão.

Para a calibração, é seguida uma seqüência de comandos dados no programa de controle do Brewer. Primeiramente, deve-se apertar *Home* no teclado, para entrar na linha de comandos, e assim iniciar a calibração. Os testes de rotina efetuados no Brewer mensalmente estão resumidos na Tabela 5.1.

Cada lâmpada possui uma linha de comando para calibração de UVB. Na utilização da primeira lâmpada digita-se **pr hp hg w0 ql** (ENTER), onde será pedido o número da lâmpada e a distância entre a lâmpada e o coletor que é de 5cm. Para a 2ª lâmpada, usar os comandos: **pr hp hg w0 ql hp hg**. O tempo total estimado gera em torno de 1h e 30min.

A **Limpeza de Traker** é realizada quando a discrepância do teste **az** estiver acima de 10 unidades ou a cada 2 meses. Esta limpeza é feita da seguinte forma: Digitar **si** e **az**, limpar o Traker de acordo com a descrição a seguir e depois digitar o comando **azsr**. Para limpeza do Tracker efetuar as seguinte sequência de operações: desligar a energia (1º Brewer, depois o Traker), abrir o Traker, limpar o disco com papel macio (fazer movimentos “de uma vez”, rápidos, de forma a não girá-lo lentamente; a cada giro limpar o disco), fechar o Traker e ligar (1º Traker, depois o Brewer).

Sempre é preenchido um relatório de viagens após cada ida ao OES.

Tabela 5.1 - Manutenção Semanal dos Equipamentos instalados no OES

<b>CALIBRAÇÃO DO BREWER</b>			
<i>1ª Semana</i>	<i>2ª Semana</i>	<i>3ª Semana</i>	<i>4ª Semana</i>
<b>re</b>	<b>Re</b>	<b>Re</b>	<b>re</b>
<b>prsi</b> Ajustar a entrada do Sol <i>Ctrl+End (salva)</i>	<b>prsi</b> Ajustar a entrada do Sol <i>Ctrl+End (salva)</i>	<b>prsi</b> Ajustar a entrada do Sol <i>Ctrl+End (salva)</i>	<b>prsi</b> Ajustar a entrada do Sol <i>Ctrl+End (salva)</i>
<b>az</b>	<b>Az</b>	<b>Az</b>	<b>az</b>
Calibração de <b>UVB</b> com as Lâmpadas: 773 e 774 Colocar Equipamentos da maleta e lâmpada no Brewer.	Se discrepância do teste <b>az</b> estiver acima de 10 unidades, fazer limpeza de Tracker	Calibração de <b>UVB</b> com as Lâmpadas: 773 e 774 Colocar Equipamentos da maleta e lâmpada no Brewer.	Polimento externo se tiver Sol
Ligar a lâmpada e verificar a tensão <b>(12V)</b>		Ligar a lâmpada e verificar a tensão <b>(12V)</b>	Se discrepância do teste <b>az</b> estiver acima de 10 unidades, fazer limpeza de Tracker
Digitar a linha de comando p/ Calibração		Digitar a linha de comando p/ Calibração	
<b>azsi</b>		<b>Azsi</b>	
Entrar com o Schedule do dia, comando <b>skc</b> e após <b>smsnnn</b> (nnn=dia Juliano)			

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. 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. 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.

Os principais comandos e testes realizados pelo Brewer durante a calibração são citados abaixo:

- DS (Direto ao Sol) – Medida de Ozônio Total através da radiação direta
- ZS (Céu Zênite) – Medida de Ozônio Total através da radiação difusa
- UV (290-315nm), UX (286,5-363nm) – Medida de UV
- PR – Seta o sistema para imprimir somente no arquivo R do dia
- OP – Imprime em arquivo R as constantes do equipamento
- AP – Imprime em arquivo R as voltagens, amperagens e temperaturas internas
- 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, usado para cálculo das constantes ETCs
- DT – Teste do Tempo Morto, mede o 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 tracking
- TI – Ajusta o horário do relógio
- RE – Reset do programa e do Brewer
- SR – Teste para determinar o número de passos do motor que leva 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) – Teste de calibração de UV com as lâmpadas externas
- QL – Novo teste 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 1º teste realizado
- SKC – Chama a schedule de medidas do dia

Por sugestão da Organização Meteorológica Mundial (WMO, através de seu programa WOULD), mudou-se a programação de calibração do Brewer, sendo acrescentado o teste QL onde será usado um novo programa para gerar o UVR. O tempo de calibração reduziu-se à metade.

### **5.1.3 Manutenção Técnica do Espectrofotômetro Brewer**

No período de 22 a 27 de março de 2007 o técnico José Roberto Chagas, do Laboratório de Ozônio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, esteve no Observatório Espacial do Sul realizando manutenção física no Espectrofotômetro Brewer. Esta manutenção foi acompanhada pelos integrantes do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico visando maior conhecimento do equipamento, dos ajustes e visualização da ótica do espectrofotômetro. Entre os testes e ajustes realizados, a principal mudança foi a atualização do software do Brewer e mudança da rotina de calibração com a introdução do teste QL, onde a irradiância da lâmpada é medida a cada 3,5 nm e a varredura é feita do maior ao menor comprimento de onda depois do menor ao maior. As medidas das lâmpadas são gravadas em um arquivo de nome QLdddyy.167, onde ddd representa o dia Juliano e yy o ano, a partir do qual é gerado o arquivo de calibração UVR em um novo programa chamado LampsPro, disponível no site <http://www.io3.ca/Software>.

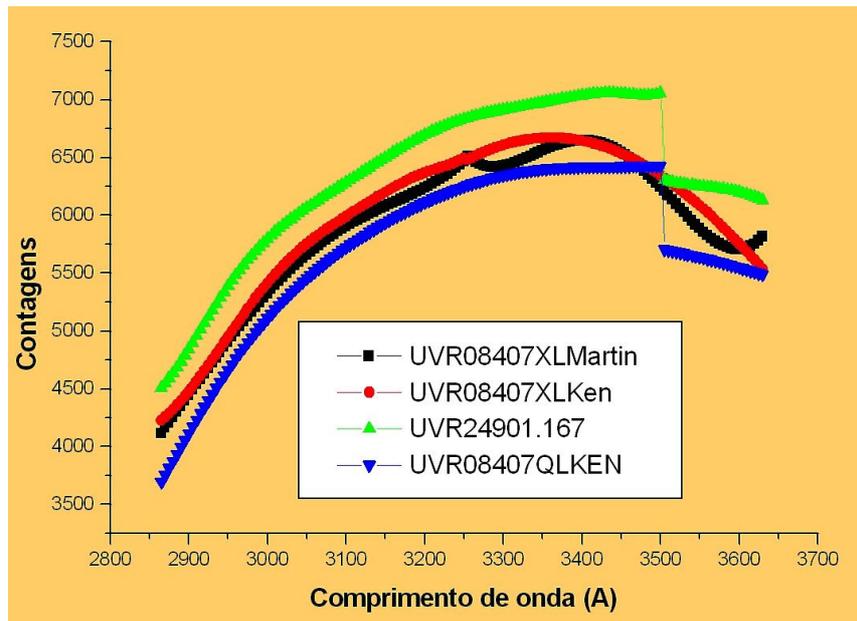


Fig. 5.1 – Comparação entre um mesmo arquivo de calibração resposta gerado por diferentes programas (Fonte: Chagas, 2007).

A Figura 5.1 mostra um gráfico gerado por Chagas, 2007 comparando arquivos de calibração obtidos por diferentes programas, onde se visualiza para o teste QL o comportamento mais próximo ao UVR 24901.167, que corresponde a primeira calibração feita durante a instalação do equipamento. Os dados a partir de 25 de março de 2007 são reduzidos segundo essa nova rotina.

#### 5.1.4 Manutenção Preventiva dos Equipamentos

##### 5.1.4.1 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 utilizados pelo 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.

#### **5.1.4.2 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.

#### **5.1.4.3 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 Espectrorradiômetro, 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.

#### **5.1.4.4 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.

No programa UVBrewer 2.1, é gerado o arquivo de calibração UVR através da opção *New Ress*, observada na Figura 4.15. Esse arquivo é gerado para cada calibração feita no Brewer. É aberta uma janela onde são selecionados os arquivos com os padrões das

lâmpadas utilizadas e o UL gerado durante a calibração do monitor de UV-B. Na Figura 5.2 é possível observar a janela de criação do arquivo UVRs, sendo que à esquerda são listados os arquivos de lâmpada e à direita o arquivo UL.

Após listados os arquivos necessários para a criação do UVR, clica-se na opção *Calculate*. O programa apresenta um *Report* dos cálculos realizados. Em seguida o UVR pode ser salvo na opção *Save res. File*. Gerou-se assim o arquivo de resposta UVR a partir do arquivo de calibração UL, que devem apresentar no nome a mesma data *dddy* do dia da calibração.

Após abrir o arquivo UVR na opção *Response*, que pode ser vista na interface do programa na Figura 4.15, abre-se o arquivo UV (que armazenam os dados de medições de radiação Ultravioleta efetuadas pelo Brewer num determinado dia) na opção *Open File*, para que os valores contidos nesse arquivo possam ser transformados em irradiância, potências e quantidades de energia de radiação ultravioleta.

Em seguida aparecerá na tela um gráfico da irradiância, na faixa de 290 a 325, mostrando as potências medidas pelo equipamento ( $W/m^2.nm$ ) em cada comprimento de onda na primeira observação de UV do dia. Pode-se então realizar diversas análises como correlações e comparações dependentes do tipo de variável em questão, tais como irradiância total, ponderada com espectros de ação específicos, eritema, índice de UV, etc. Comparações entre equipamentos são normalmente feitas para verificar o seu funcionamento. Demais análises visam o monitoramento da radiação UV na região central do Rio Grande do Sul.

Para salvar o arquivo de dados reduzidos, seleciona-se a opção *Export*, que permite criar arquivos de saída para os dados já processados. Os arquivos armazenam todas as irradiâncias medidas pelo equipamento em um conjunto de dias pré-definidos, bem como as potências globais da faixa observada e as integrais diárias para conjuntos de dias e de observações. Na Figura 5.3, observa-se a janela *Data Export* que é aberta no instante em que é selecionada a função *Export*. Nela são selecionados o período de dias e os tipos de medida que se quer exportar. Os arquivos de saída possuem formato ASCII e podem ser importados por diversos programas, inclusive softwares matemáticos e de

plotagem de gráficos, onde se pode efetuar uma análise estatística e comportamental mais detalhada.

A partir dos arquivos exportados, são gerados gráficos e tabelas, contendo os principais tipos de medidas e resultados sobre a radiação ultravioleta incidente no aparelho.

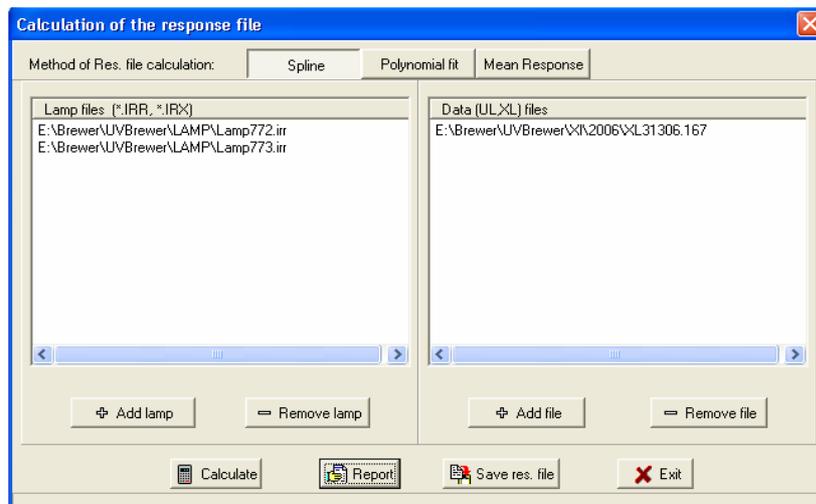


Fig. 5.2 – Janela de criação do arquivo resposta UVR.



Fig. 5.3 – Janela de exportação dos dados do UV Brewer 2.1

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS E ANÁLISES

Para a realização de um estudo mais detalhado do comportamento da radiação UV e de sua nocividade, objetivo desse relatório, trabalhou-se com dados de radiação para toda banda de UVB integrada (280 a 315 nm) no período de 26 de março de 1994 a 15 de março de 2007, na região do Observatório Espacial do Sul.

Os dados analisados foram gerados no equipamento Espectrofotômetro Brewer, que foi escolhido por ser o equipamento mais confiável e preciso que se tem até o momento no OES, já que ele possui um sistema óptico muito apurado, já descrito na Metodologia deste relatório.

Anterior à análise dos dados de UV do Brewer, determinou-se quais dos arquivos de resposta UVR eram confiáveis e logo utilizáveis, para reprocessar os arquivos de UV, pois pode-se obter arquivos de calibração por diversos problemas seja na geração do arquivo de calibração (problema mais frequente), seja de energia elétrica durante a calibração, problemas nas lâmpadas ou na resposta do Brewer durante as calibrações. Para isto, todas as calibrações são comparadas com a fornecida no arquivo UVR 24901.167 correspondente à primeira calibração feita durante a instalação do equipamento. Os UVR's que apresentaram uma grande variabilidade no comportamento foram descartados e refeitos.

A Figura 6.1 compara os UVR's do ano de 2003 com o UVR 24901.167, curva preta. Tendo em vista que os UVR's estavam muito diferentes do original, foram novamente gerados e reanalisados (Figura 6.2) onde as curvas se tornaram mais similares. Testes análogos a este foram realizados para os outros anos, utilizando o UVR de calibração de acordo com o modelo de Brewer instalado.

É importante observar que, apesar de se ter gerado novos UVR's, ainda há uma considerável variação nas curvas se relacionadas com o UVR original. Esta variação é consequência dos desajustes naturais do equipamento, já que o modelo MKIII #167 não

sofreu calibração com outro instrumento padrão desde sua instalação. No entanto, já está programada a calibração deste equipamento, estimada para novembro de 2007, com a visita do técnico enviado pela WMO Ken Lamb.

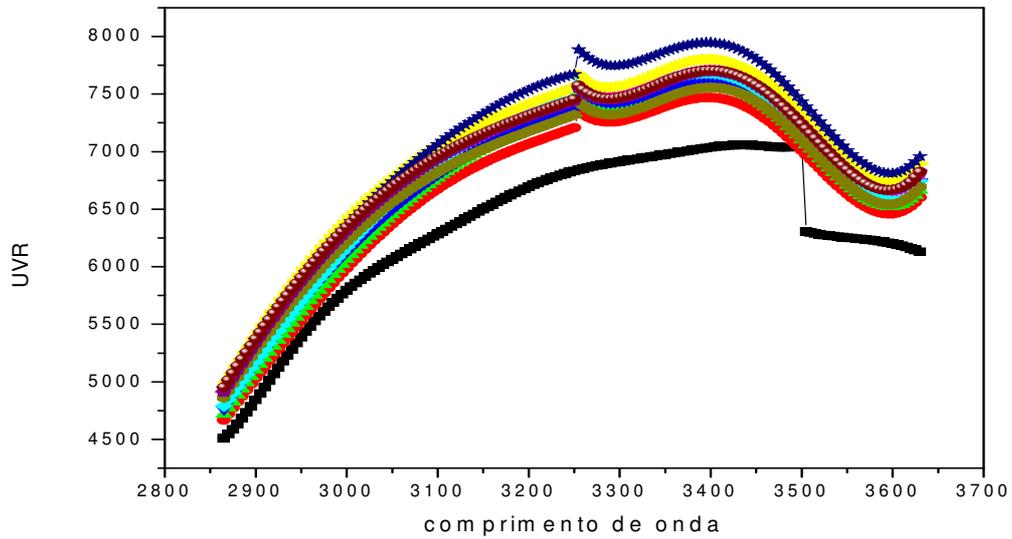


Fig. 6.1 – comparação de UVR's do ano de 2003 com o UVR de calibração 24901.167 (curva preta).

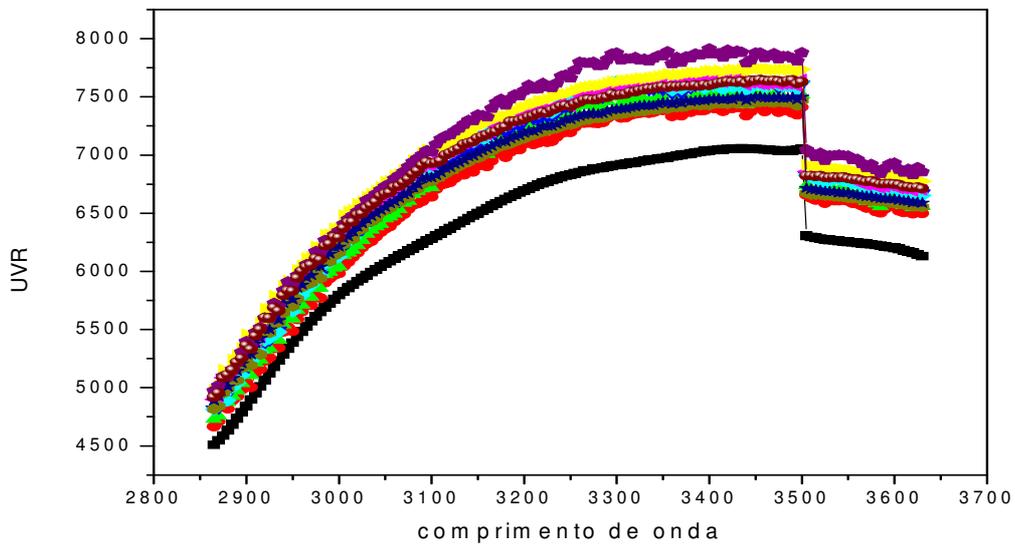


Fig 6.2 – comparação de UVR's novamente gerados com UVR 24901.167 (curva preta).

Uma vez observados os UVR's que apresentaram menores desvios padrões, construiu-se uma pasta contendo apenas os arquivos de resposta que seriam utilizados. Em seguida, foram determinados os intervalos de dias em que cada UVR seria utilizado. Assim, cada UVR seria utilizado para reprocessar arquivos UV, desde o dia da calibração até o dia da calibração seguinte.

Após a redução dos dados, utilizaram-se os programas de planilhas e gráficos para o cálculo das médias e confecção dos gráficos apresentados neste relatório.

Feita a análise da incidência diária de radiação UVB no período de 1994 a 2007 (Figura 6.3), constatou-se que a mesma apresenta um comportamento sazonal, com máximos no verão e mínimos no inverno, como esperado. Não houve evidência de tendências na radiação incidente durante o período analisado. Falhas de dados visíveis no gráfico são devido a trocas de equipamentos, uma em 1999 (modelo MKIV #081 pelo modelo MKII #056) e outra em 2002 (modelo MKII #056 pelo modelo MKIII #167), ou problemas de operação em alguns períodos.

As franjas visíveis na Figura 6.3 devem-se à influência de nuvens, que geralmente provocam atenuação no feixe de radiação UV-B, alterando os resultados das medidas que chegam à superfície. Por exemplo, o efeito de cobertura das nuvens para toda a radiação solar é apenas 33% maior do que o efeito somente sobre a radiação eritematosa (Alados-Arboledas *et al*, 2003).

Calculando as médias mensais do período analisado (Figura 6.4), constatou-se que o ano de 1997 apresentou a menor incidência de radiação UV-B, onde o valor mais alto do ano, em janeiro, alcançou  $31927,5 \text{ W/m}^2$ , enquanto que no ano de 2005 a média em janeiro chegou a  $44523,9 \text{ W/m}^2$ , ou seja, 39,45% maior.

As linhas verticais representam os desvios padrões da média, onde se verifica que nos meses de verão os desvios padrões são muito maiores, se comparados com os meses de inverno. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que durante o período de verão são constatados os maiores valores de incidência de radiação, logo quando há chuva, o efeito de cobertura de nuvens diminui grandemente esses valores, aumentando o desvio

padrão, enquanto que durante o inverno a incidência de radiação é muito menor, e nos dias de chuva, a influência das nuvens diminui a chegada de radiação, porém não há influência significativa devido a baixa incidência. Em alguns casos, o alto desvio padrão é devido a poucos dias disponíveis para serem analisados.

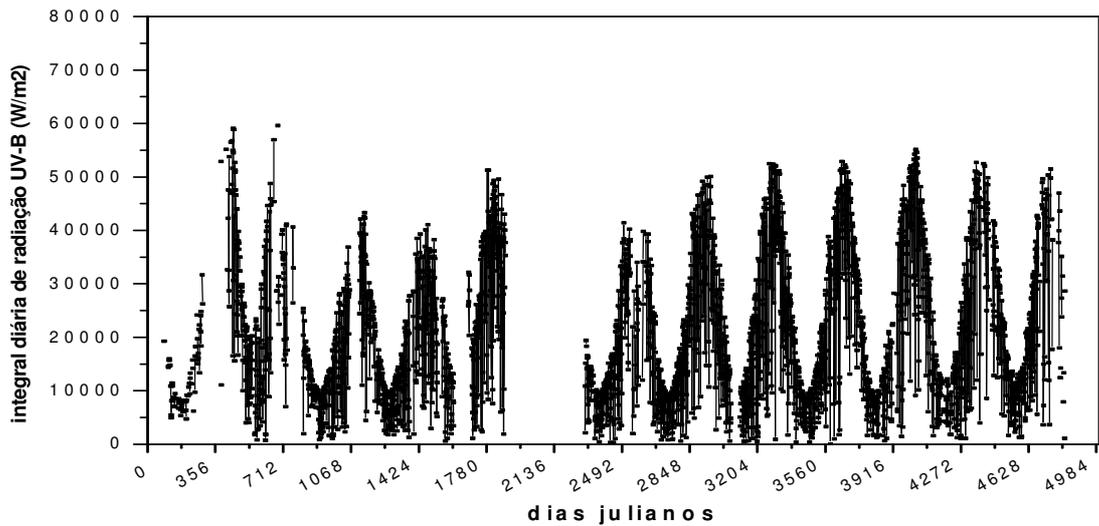


Fig. 6.3 – Integral diária da incidência de radiação UV-B no período de 1994 a 2007 na região do Observatório Espacial do Sul.

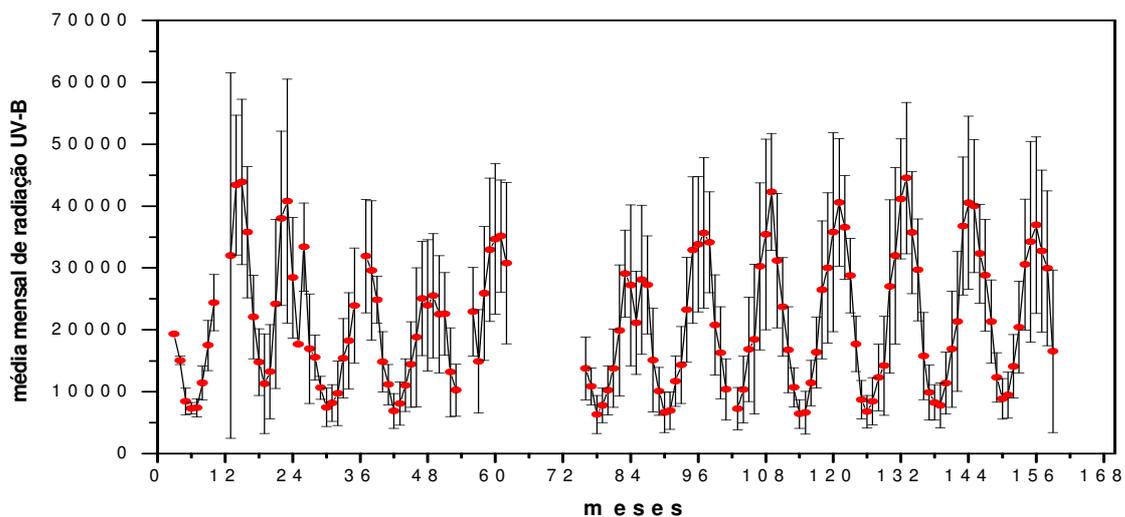


Fig. 6.4 - Médias mensais da integral de radiação UV- B incidente no período de 1994 a 2007 na região do Observatório Espacial do Sul.

Feito os cálculos dos máximos IUV (Figura 6.5), verificou-se uma homogeneidade de índice UV ao longo dos anos, sendo os índices máximos durante o verão em torno de 13 a 15, e mínimos de 3 a 6 durante o inverno. O período analisado foi de 1998 a 2007, utilizando o máximo IUV de cada dia. Não foi possível utilizar os IUV de 1994 a 1997 devido ao curto tempo disponível para redução dos dados.

Da análise da Figura 6.6, constata-se que, de acordo com as médias mensais, o mês de dezembro de 2002 foi o que apresentou a maior média do índice UV (13,87), enquanto que a menor média de índice UV ocorreu em julho de 2005 (1,97), com diferença de 604%. Considerando as médias mensais de todo o período analisado, observa-se que a variabilidade de índice UV entre as estações de verão e inverno é alta, em torno de 241%. Também são visíveis os grandes desvios padrões no período de verão em contraste com os menores desvios durante o inverno, os quais tem a mesma justificativa apresentada pelos desvios da radiação UV-B.

Realizou-se uma análise do comportamento médio do índice UV, representado pelas médias mensais totais, obtido no período de 1998 a 2007 (Tabela 6.1). Observa-se que os máximos valores de IUV ocorrem nos meses de dezembro e janeiro, enquanto que os mínimos ocorrem em junho e julho, conforme esperado para a latitude do Observatório. A média de incidência de radiação UV-B durante o mês de janeiro é 362% maior que a incidência durante o mês de junho.

Outra análise efetuada foi uma comparação das médias mensais dos índices UV, para o período de janeiro de 1998 a março de 2007, obtidos experimentalmente pelo Brewer, com os resultados teóricos fornecidos pelo modelo do Laboratório do Ozônio.

Observa-se através da Figura 6.7, onde a curva vermelha representa os dados do modelo teórico enquanto que a curva preta representa os dados experimentais, que há uma diferença considerável entre as médias de índice de UV obtidas experimentalmente e as médias obtidas do modelo teórico, com os valores do primeiro bem menores que o segundo.

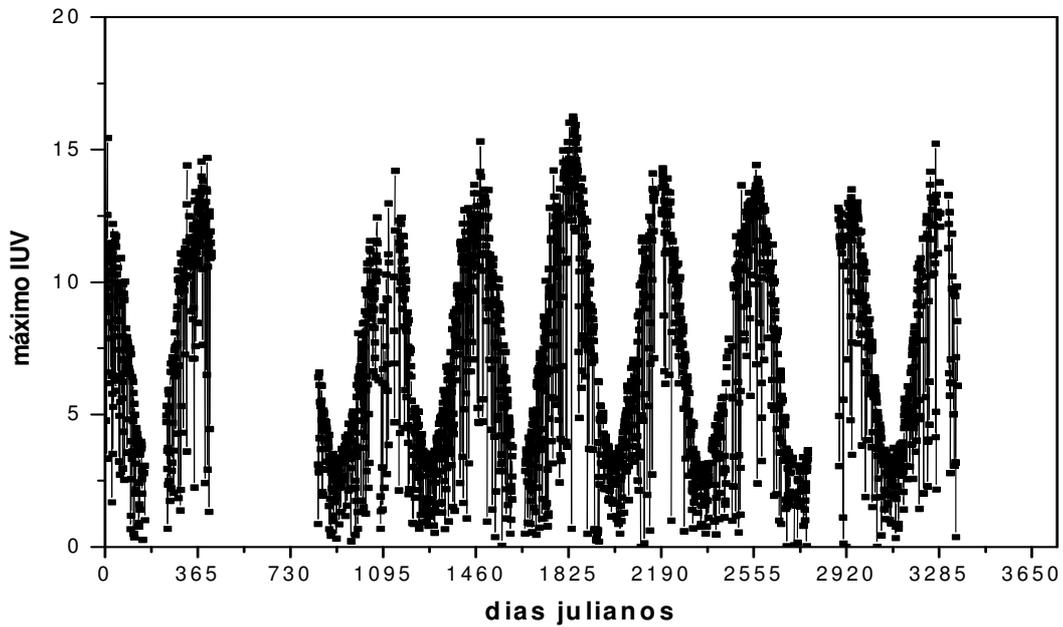


Fig. 6.5 - Máximo índice Ultra Violeta diário no período de 1998 a 2007 no Observatório Espacial do Sul.

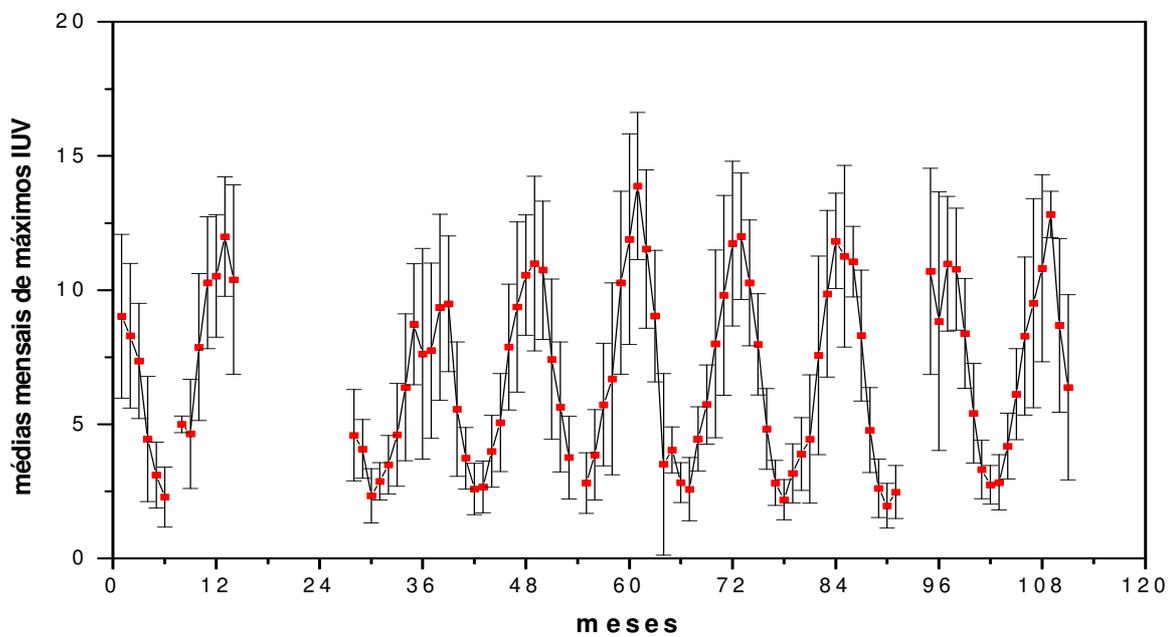


Fig. 6.6 - Médias mensais dos máximos índices UV no período de 1998 a 2007 no Observatório Espacial do Sul.

Este resultado está de acordo com o esperado, visto que os dados experimentais são obtidos com condições reais da atmosfera, enquanto que os dados do modelo simulam uma atmosfera de céu claro, sem influência de nuvens ou aerossóis, sendo que em regiões poluídas os aerossóis podem representar uma redução de cerca de 30% (Piazana, 1996) na irradiância de UV-B. O cálculo do modelo é feito a partir da insolação que chega a cada lugar em função da localização geográfica e do dia do ano, e então obtida a porcentagem de UV que chega a superfície (Abel, 2002).

Tabela 6.1: Média do Índice UV para cada mês para o período de 1998 a 2007 no Observatório Espacial do Sul e modelo teórico.

<b>MÊS</b>	<b>MÉDIA DE IUV</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>MÉDIA DE IUV TEÓRICA*</b>
Janeiro	11.20	2.63	12.73
Fevereiro	10.12	2.71	11.67
Março	8.05	2.49	9.51
Abril	4.85	2.16	6.75
Mai	3.43	1.11	4.59
Junho	2.42	0.87	3.69
Julho	2.78	1.01	4.13
Agosto	4.13	1.17	5.92
Setembro	5.19	1.95	8.56
Outubro	7.53	3.07	11.04
Novembro	9.82	3.23	12.49
Dezembro	10.48	3.19	12.96

\*<http://www.dge.inpe.br/ozonio/calendaruvb.htm>

A diferença média observada entre modelo e experimental é de 2, chegando a 3,5 em outubro, quando os efeitos de nebulosidade tiveram sua maior influência nos dados de UV para o período analisado. Esta comparação pode tornar-se importante quando forem feitas futuras correções do modelo.

Durante o período inicial de bolsa, desenvolveu-se uma análise simples a fim de se conhecer o comportamento sazonal da radiação UV no Observatório, para tanto utilizou-se dados de incidência de radiação UV-B obtidos a partir do radiômetro UV-B MS 212 W, trabalhando com os programas Aim Viewer, origin 6.0 e Excel para a redução. Construiu-se um gráfico comparando as quatro estações do ano, sendo utilizados três dias sem influência de nuvens, céu claro, para cada estação do ano de 2005.

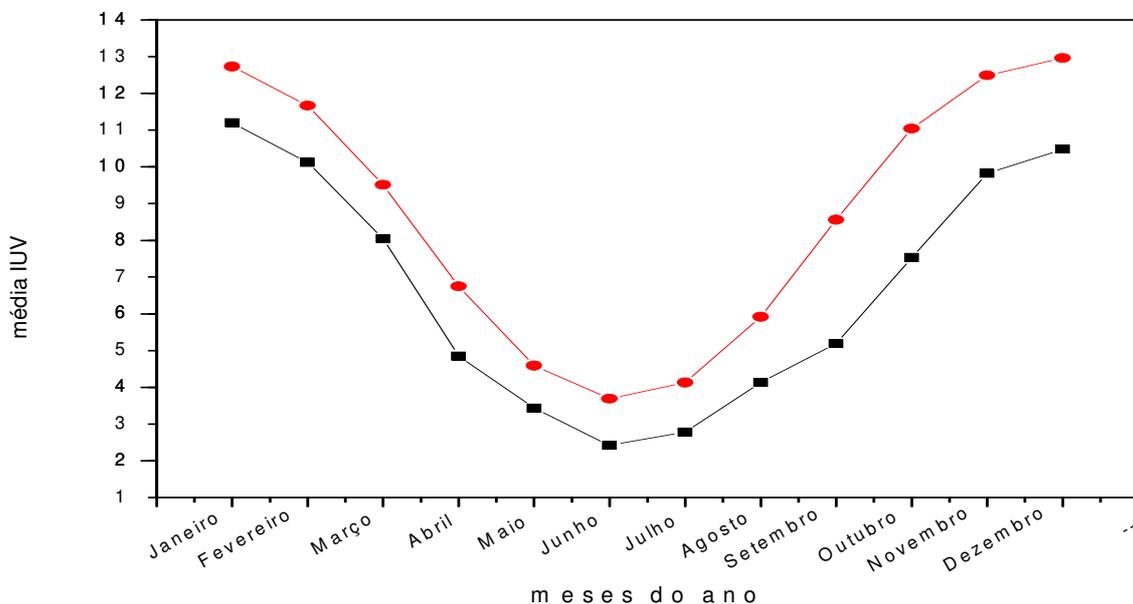


Fig. 6.7 – Comparação das médias de IUV experimental e teórica no Observatório.

A primeira observação a ser feita na Figura 6.8 é o típico comportamento sazonal da radiação UV, apresentando picos máximos durante o verão e valores baixos durante o inverno.

É importante observar também que a incidência de radiação no verão e primavera é muito semelhante, assim como para o inverno e outono. No primeiro caso, verificaram-se valores em torno de  $1.8 \text{ W/m}^2$ , enquanto no segundo caso, em torno de  $0.8 \text{ W/m}^2$ ,

constatando-se que a incidência de radiação é mais intensa no verão e primavera do que no outono e inverno, chegando a valores duas vezes maiores no verão.

A energia máxima diária incide durante as 15 h e 30 min (GMT), ou seja, em torno de 12 h e 30 min, horário local. Pode-se verificar, portanto, que o pico de energia diária ocorre com o mínimo ângulo zenital do dia.

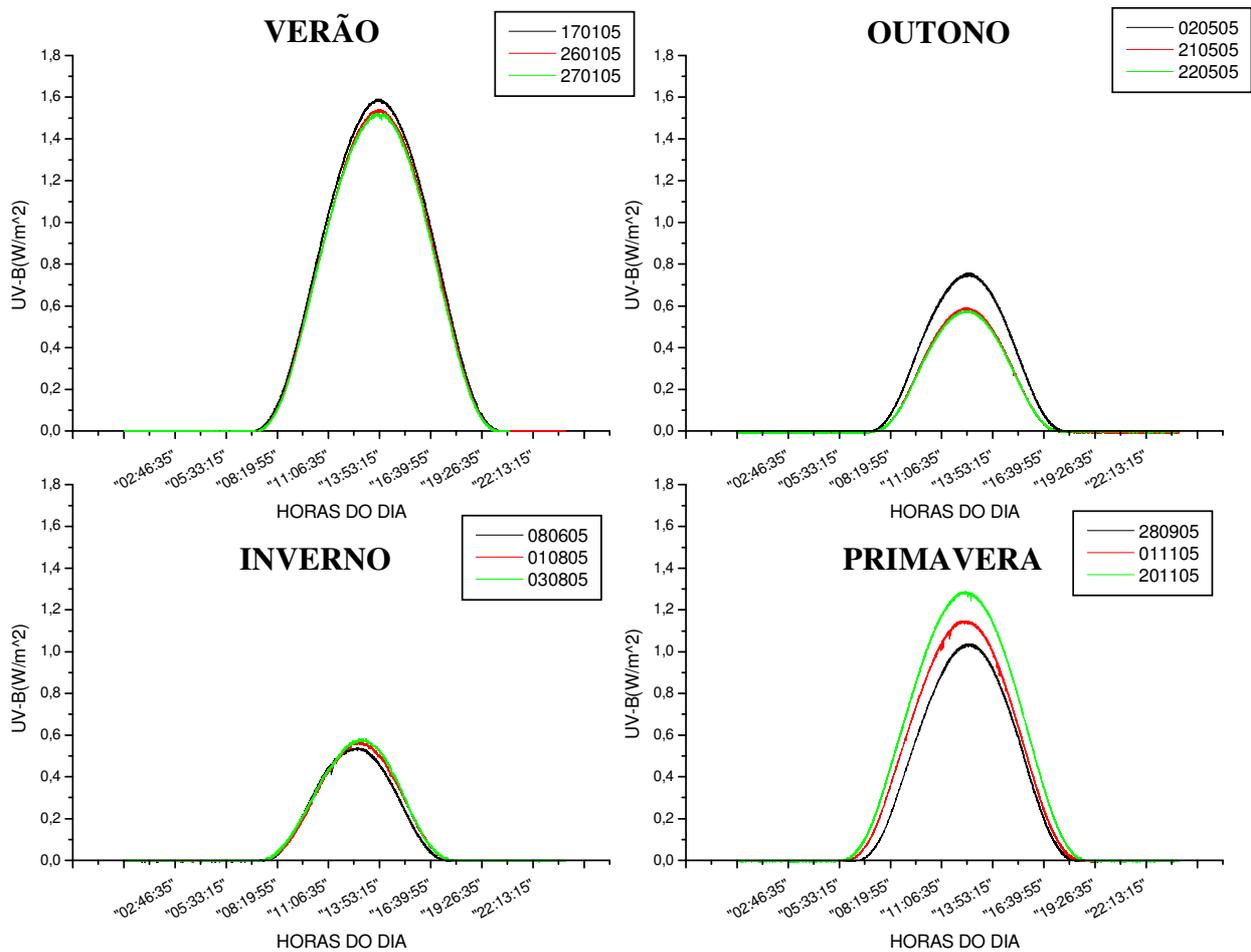


Fig. 6.8 – Comparação da incidência de radiação UV-B entre as quatro estações do ano de 2005 incidentes no Observatório Espacial do Sul, analisando três dias perfeitos para cada estação do ano.

Comparações entre cada estação e a estação de menor incidência, o inverno, são feitas relacionando a média diária de incidência de radiação de cada estação do ano. São comparadas as médias de incidência de radiação do período entre 10 e 16h, horário que apresenta os maiores valores de radiação, e ainda a média dos picos, ou seja, o horário de maior incidência.

Os dados analisados, resumidos na Tabela 6.2, mostram que a incidência diária de radiação durante o verão é 26% maior que no inverno, 19% maior na primavera e 5% menor no outono. Durante o período crítico diário (entre 10 h e 16 h), a relação da incidência de radiação com relação ao dia todo é 16% menor no verão, 12,34% menor na primavera e 0,04% menor no outono. A percentagem de incidência entre as 10 h e 16 h em relação ao dia todo é maior no inverno, apesar de a intensidade de incidência diária ser menor nesta estação, devido a que cerca de 90% da radiação se concentra neste horário para o inverno, enquanto que no verão a média é de 75%. Em relação ao horário de maior incidência, horário de pico, a percentagem é 166% maior no verão, 105% maior na primavera e 13% maior no outono. O horário de pico se encontra entre 12 h e 13 h.

Tabela 6.2 – Percentagem de incidência da radiação UV-B das quatro estações do ano de 2005, considerando o período de inverno em 100%.

	<b>MÉDIA DE HORAS DE RADIAÇÃO POR DIA</b>	<b>INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO ENTRE 10 E 16h EM RELAÇÃO À INCIDÊNCIA DIÁRIA</b>	<b>MÉDIA DOS PICOS</b>
<b>INVERNO</b>	100%	100%	100%
<b>OUTONO</b>	95%	99,96%	113%
<b>PRIMAVERA</b>	119%	87,66%	205%
<b>VERÃO</b>	126%	84%	266%

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS

O monitoramento da radiação ultravioleta, em especial da faixa UV-B, é de fundamental importância devido à grande nocividade biológica da mesma. O mesmo acompanhamento deve ser feito sobre os Índices Ultravioleta e sobre a energia biologicamente ativa, de maneira a manter a população informada dos danos que a exposição excessiva ao Sol pode causar.

As análises do comportamento da incidência da radiação UV-B sobre a superfície no período de 1994 a 2007 apresentam uma homogeneidade na incidência de radiação UV-B ao longo dos anos, não havendo evidência de tendência. Deve-se levar sempre em conta que fatores como ângulo solar zenital, nuvens, aerossóis, entre outros, possuem uma grande influência na chegada da radiação à superfície.

O comportamento diário da radiação UV acompanha o ângulo solar zenital, com os máximos de radiação ocorrendo em torno de 12:30 (horário local), coincidindo com o menor ângulo solar zenital do dia. O comportamento sazonal da radiação UV apresenta médias mais elevadas para os meses de janeiro e dezembro, verão, e médias menos elevadas para os meses de junho e julho, inverno. Essa sazonalidade é decorrente da variação do ângulo solar zenital ao longo do ano.

Nesta primeira etapa de realização do projeto a base de dados de 1994 a julho de 2006 foi trabalhada e organizada. Além de revisão bibliográfica e estudo do método de medida dos diferentes equipamentos empregados para medida da radiação ultravioleta no Observatório Espacial do Sul.

Devido ao curto tempo de existência do projeto, iniciado em dezembro de 2006, não foi possível realizar todas as atividades programadas no projeto. Para dar continuidade ao projeto, pretende-se concluir o banco de dados do Índice UV, desenvolver uma comparação com os diferentes detectores instalados no OES e analisar a radiação ponderada por diferentes espectros de ação como a radiação eritematosa.

## CAPÍTULO 8

### TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS

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

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

SERAFINI, Luana; PELLISER, Michel Andre, BERTAGNOLLI, Caroline; POSSANI, Germano; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge. 21ª Jornada Acadêmica Integrada, Santa Maria, RS, 28 a 30 de Novembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.

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

PELLISER, Michel Andre, SERAFINI, Luana; BERTAGNOLLI, Caroline; POSSANI, Germano; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge. 21ª Jornada Acadêmica Integrada, Santa Maria, RS, 28 a 30 de Novembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.

**3. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA INCIDÊNCIA DA RADIAÇÃO UV-B NO PERÍODO DE 1994 A 2007 NA REGIÃO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

SERAFINI, Luana; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge; BERTAGNOLLI, Caroline; POSSANI, Germano; SPIAZZI, Simone. 10º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, 19 a 23 de Novembro de 2007. Trabalho enviado.

## CAPÍTULO 9

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abel A. da Silva, **A espessura óptica dos aerossóis na banda do UV-B**. Tese de doutorado em Geografia Espacial, São José dos Campos, INPE, 2002.

Alados-Arboledas I., Alados, I., Foyo-Moreno, Olmo, J. F. e Alcântara, A. The influence of clouds on surface UV erythemal irradiance. **Atmospheric Research**, 2003

Blumthaler, M., Solar UV Measurement. In: Tevini, M., ed. **UV – B radiation and ozone depletion**, New York: Lewis Publisher, 1993, p. 71 – 94.

Brasseur, G.; Solomon, S. **Aeronomy of the middle atmosphere**. Dordrecht, Holanda: D. Reidel Publishing, 1986. 452 p.

Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual, **MKIV #081, 1999**.

Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual, **MKIII #167, 1999**.

Chagas, J. R. **Apresentação dos resultados da manutenção técnica efetuada no Brewer #167 em março de 2007**. São José dos Campos, 2007.

Coulson, K. L. **Solar and Terrestrial Radiation: Methods and Measurements**. New York: Academia Press, 1975. 322p.

Davidson J. A., Cantrell, C. A.; McDaniel, A. H.; Shetter, R. E.; Madronich, S.; Calvert, J. G. Visible-ultraviolet absorption cross sections for NO<sub>2</sub> as a function of temperature. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n D6, p. 7105-7112, June 1988

Finlayson-Pitts, B. J., and Pitts, J. N. **Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques**, John Willey & Sons, 1986.

Fioletov, V. E.; Griffioen, E.; Kerr, J. B.; Wardle, D. I. **Influence of volcanic Sulfur dioxide on spectral uv irradiance as measured by Brewer Spectrophotometers.** *Geophysical Research Letters*, v. 25, n. 10, p. 1665-1668, May 1998.

Frederick, J. E.; and Lubin, D. Solar Ultraviolet Radiance at Palmer Station, Antarctica, Ultraviolet Radiation in Antarctica: **Measurements and Biological Effects, Antarctic Research Series**, 62, 43-52, 1994.

Green, A. E. S. Attenuation by ozone and the earth's albedo in the middle ultraviolet. **Applied Optics**, v. 3, n. 2, p. 203-209, Feb. 1964.

Kirchhoff, V. W. J. H.; Schuch, N. J.; Pinheiro, D. K.; Harris, J. Evidence for an ozone hole perturbation at 30° South. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 9, p. 1481 - 1488, May 1996.

Kirchhoff, V. W. J. H. **Introdução à Geofísica Espacial**, São Paulo, EDUSP, 1991. 149P.

Kirchhoff, V. W. J. H. **Ozônio e Radiação UV – B.** São José dos Campos: Transtec Editorial, 1995. 73p.

Kinzig, A. P.; Socolow, R. H.; **human impacts on the nitrogen cycle.** *Physics Today*, p. 24-31, Nov. 1994

Krzyścin, J., **UV controlling factors and trends derived from the ground-based measurements taken at Belks**, Poland 1996.

Kivelson, M. G.; and Russel, C. T., **Introduction to Space Physics**, Cambridge University Press, 1995, reprinted 1997.

Lenoble, J. **Atmospheric Radiative Transfer.** Hampton: A DEEPAK Publishing, 1993, 532 p.

Lorente, J. Redano, A.; De Cabo, X. Influence of urban aerosol on spectral solar irradiance. **Journal of Applied Meteorology**, v. 33, p. 406-415, 1994.

Lovelock, J. P. **The ages of Gaia. A biography of our living Earth.** Oxford: **The Commonwealth Fund Book Program**, 1988. 341p.

Madronich, S. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere. In : Tevini, M. ed., **UV – B Radiation and ozone depletion.** New York: Lewis Publisher, 1993, p. 17 – 70.

Martyn M. Caldwell, Carlos L. Ballaré, Janet F. Bornman, Stephan D. Flint, Lars Olof Björn, Alan H. Teramura, G. Kulandaivelu and Manfred Tevini, **Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic change factors**, 2003

McCortney, E. J. **Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles**, New York; John Wiley & Sons, 1976, 408 p.

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.

Michelangeli, D. V.; Allen, M.; Yung, Y. L.; Crisp, D.; Eluszkiewicz, J. Enhancement of atmospheric radiation by an aerosol layer. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D1, p. 865-874, Jan. 1992.

Mézáros, E. **Global and regional changes in atmospheric composition.** Boca Raton: Lewis, 1993, 185p.

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.

Piazena, H. **The effect of altitude upon the solar uv-b and uv-a irradiance in the tropical Chilean andes.** Solar Energy, v. 57, n. 2, p. 133-140, 1996.

Robinson, N. **Solar Radiation.** Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1966, 347 p.

Seinfeld, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution.** New York: John Wiley and Sons, 1985. 760p.

Shimazaki, T. **Minor constituents in the middle atmospheric**. Tokyo: Terra Scientific, 1985. 443p.

Summers, M. V. Vertical couplings. **Science**, v. 284, p. 1783 – 1784, June 1999

Twitty, J. T.; Weinman, J. A. Radiative properties of carbonaceous aerosols, **Journal of Applied Meteorology**, v. 10, p. 725-731, Aug. 1971.

Zamorano, F. C. B. **Observações da radiação UV-B em Punta Arenas – Chile e efeitos do buraco na camada de ozônio**, (Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE–6383-TDI/602, 1997.

World Meteorological Organization (WMO). **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998**. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 44, Geneva, 1999.

Woods, T. N.; Prinz, D. K.; Rottman, G. J.; London, J.; Crane, P. C.; Cebula, R. P.; Hilsenrath, E.; Brueckner, G. E.; Andrews, M. D.; White, O. R.; VanHoosier, M. E.; Floyd, L. E.; Herring, L. C.; Knapp, B. G.; Pankratz, C. K.; Reiser, P. A. Validation of the UARS solar ultraviolet irradiances: **Comparison with the ATLAS 1 and 2 measurements**, J. Geophys. Res., v. 101, n. D6, 9541-9569, Abr. 1996.

Walker, J. C. G. **Evolution of the atmosphere**. New York: Macmillan, 1977, p. 329.

Warneck, P. **Chemistry of the natural atmosphere**. Boston: Academic, 1988, 770p.

Whitten, R. C.; Prasad, S. S. Ozone in the free atmosphere. New York: **Van Nostrand Reinhold**, 1985. 298p.

Centro de pesquisa e tecnologia. Página da internet, <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/R-UV.html>, consulta realizada no dia 17 de maio de 2007

National Aeronautics and Space Administration. Página da internet, <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>, consulta realizada no dia 17 de maio de 2007

Climate Prediction Center, página da internet, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere>, consulta realizada no dia 23 de Abril de 2007.