

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTUDO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NO OBSERVATÓRIO
ESPACIAL DO SUL**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROCESSO Nº 107624/2003-6

Samara Carbone (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: samara@lacesm.ufsm.br

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE – MCT, Orientador)

E-mail: njcschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Maio de 2004

Dados de Identificação

Bolsista:

Samara Carbone

Acadêmica do Curso de Engenharia Química

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Processo Número:

107624/2003-6

Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch.

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT.

Colaboradores:

Dra. Damaris Kirsch Pinheiro (LACESM/CT – UFSM)

Dr. Marcelo Barcellos da Rosa (CRSPE/INPE – MCT)

Liana Franco Padilha (Curso de Engenharia Química – UFSM)

Robinson Luciano Manfro (Curso de Engenharia Química – UFSM)

Leonardo Artur Biazi (Curso de Engenharia Química – UFSM)

Ricardo André Guarnieri (Mestrado em Meteorologia – INPE)

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Atmosferas Planetárias e Terrestre – CRSPE/INPE – MCT

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

Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	3
INTRODUÇÃO	3
CAPÍTULO 2	4
OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO	4
CAPÍTULO 3	5
DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	5
3.1 A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	5
3.2 FONTE DE EMISSÃO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	7
3.3 INCIDÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	7
3.4 ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	8
3.4.1 <i>ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO</i>	9
3.4.1.1 OZÔNIO	10
3.4.1.2 DIÓXIDO DE ENXOFRE	12
3.4.1.3 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO	13
3.4.2 <i>ESPALHAMENTO DA RADIAÇÃO</i>	14
3.4.3 <i>ALBEDO E COBERTURA DE NUVENS</i>	16
3.4.4 <i>LATITUDE GEOGRÁFICA</i>	18
3.4.5 <i>ÂNGULO SOLAR ZENITAL</i>	19
3.4.6 <i>ALTITUDE</i>	20
3.4.7 <i>SAZONALIDADE</i>	21
3.5 RADIAÇÃO BIOLÓGICAMENTE ATIVA	22
3.5.1 <i>EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE HUMANA</i>	22
3.5.2 <i>ESPECTRO DE AÇÃO BIOLÓGICA</i>	22
3.5.3 <i>ÍNDICE ULTRAVIOLETA</i>	25
CAPÍTULO 4	27
METODOLOGIA	27
4.1 BIOMETER 501 A DA SOLAR LIGHT	27
4.2 RADIÔMETROS UV-B MS 210 W E MS - 212 W	29
4.3 RADIÔMETRO UV-A MS - 212 A.....	31



4.4 <i>GROUND – BASED ULTRAVIOLET RADIOMETER GUV 511C</i>	33
4.5 ESPECTRORADIÔMETRO MS-701.....	33
4.6 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MK II.....	34
4.7 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MK III.....	38
4.8 SOFTWARE BREWER SPECTROPHOTOMETER UV DATA FILES ANALYSIS PROGRAM.....	40
CAPÍTULO 5	43
ATIVIDADES DO BOLSISTA	43
5.1 VISITAS TÉCNICAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL	43
5.1.1 CALIBRAÇÃO DO ESPECTROFOTÔMETRO BREWER.....	43
5.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS.....	44
5.1.3 COLETA DE DADOS.....	45
5.2 REDUÇÃO DE DADOS	45
5.3 ANÁLISE DOS DADOS	46
CAPÍTULO 6	47
RESULTADOS	47
6.1 COMPARAÇÕES ENTRE EQUIPAMENTOS	64
CAPÍTULO 7	66
CONCLUSÕES	66
CAPÍTULO 8	68
PERSPECTIVAS DE ATIVIDADES FUTURAS	68
CAPÍTULO 9	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
CAPÍTULO 10	73
ATIVIDADES EXTRACURRICULARES	73



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, no Sul do Brasil, em Santa Maria, vem desenvolvendo com sucesso suas atividades desde 1992, quando da instalação do primeiro equipamento, o Espectrofotômetro Brewer #081. Neste período, diversos equipamentos foram instalados no Observatório Espacial do Sul, dentro da Parceria INPE – UFSM e da Cooperação Internacional Brasil – Japão, a qual é desenvolvida no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. O PMOA visa, principalmente, o monitoramento da camada de ozônio e radiação ultravioleta no extremo Sul do País.

O estudo da Radiação Ultravioleta é muito importante nos países tropicais, pois a camada de ozônio é mais delgada na região equatorial e a radiação solar mais intensa, o que faz com que países como o Brasil detenham os maiores Índices de Radiação UV do planeta. Uma redução no ozônio implicaria num aumento ainda maior deste Índice de UV. Além do problema do declínio global do ozônio atmosférico, há ainda o fenômeno conhecido como Buraco de Ozônio Antártico, uma grande redução na coluna total de ozônio sobre o Continente Antártico na primavera austral. Sabe-se que a Região Sul do país sofre, ocasionalmente, efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico (Kirchhoff et al., 1996), sendo assim, 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 o comportamento e nocividade da Radiação UV incidente no Observatório Espacial do Sul para o período de 2000 a 2003.



CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, desenvolvido dentro do Programa de Cooperação Técnico-Científica entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – 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 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, no âmbito dos Convênios MCT/INPE – UFSM e Agência Espacial Brasileira, Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – Convênio: AEB/PR – FATEC/UFSM, objetiva 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, NO₂ e SO₂, com dados físicos e meteorológicos obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlação com os fenômenos da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

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.
- Desenvolver comparações com os diferentes detectores instalados no OES.



CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A Radiação Ultravioleta é a Radiação mais conhecida depois da Radiação Solar Visível. Encontra-se no espectro solar entre os Raios X e a região do visível. Esta radiação pode subdividir-se em cinco 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 100nm;
- **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). Essa Radiação chega normalmente à superfície terrestre, não sendo absorvida eficientemente por nenhum dos constituintes atmosféricos (Kirchhoff livro);
- **UV-B** - região espectral de 320 a 280 nm fortemente absorvida pelo ozônio da Atmosfera terrestre, essa faixa contribui com cerca de 1,5% da irradiância solar total, enquanto que na superfície terrestre contribui com 0,5% (Blumthaler, 1993). Esta representativa atenuação é consequência da absorção dos gases traço. 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);



- **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).

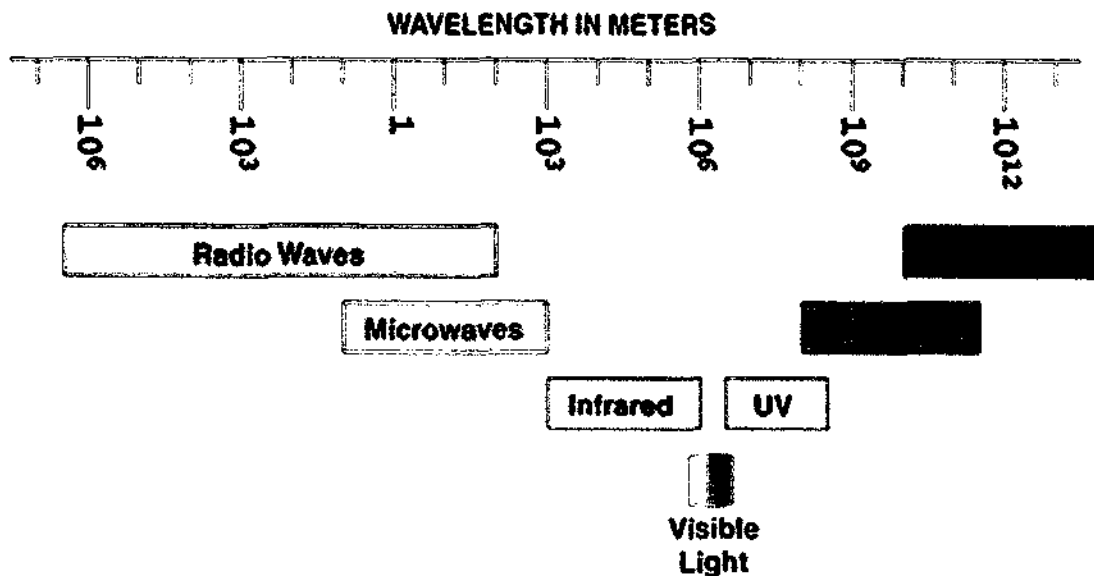


Fig. 3.1 - Espectro eletromagnético. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

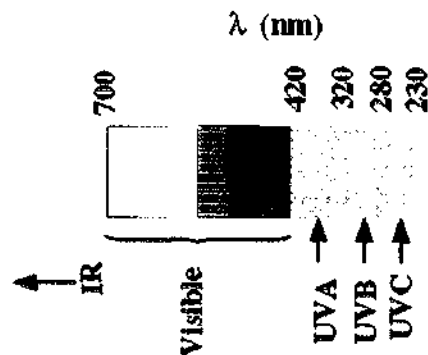


Fig. 3.2 - Espectro eletromagnético centrado na região do visível e apresentando as faixas do ultravioleta. Fonte: <http://stimpny.chem.selu.edu/nasa/spectrum.gif>.



3.2 FONTE DE EMISSÃO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A principal fonte emissora de Radiação Ultravioleta é o Sol. A radiação solar possui importância fundamental em processos térmicos, dinâmicos e químicos na nossa Atmosfera. 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 ~ 6000 K, seguindo aproximadamente a Lei de Plank para a emissão de radiação. O espectro solar emitido é constituído principalmente por um contínuo originário da fotosfera e cromosfera e também por emissões na corona. A Radiação Ultravioleta Solar é proveniente da fotosfera e cromosfera solares. A intensidade de UV solar que chega na Atmosfera da Terra seria provavelmente letal a maioria dos organismos que vivem na superfície deste planeta. A Radiação UV sofre ao atravessar a Atmosfera terrestre absorção pelo oxigênio molecular e ozônio além de espalhamento, minimizando seus efeitos nocivos. A figura 3.1 apresenta a curva de radiação de corpo negro a 5900 K, e as principais bandas de absorção atmosféricas.

3.3 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 a superfície da Atmosfera (Madronich, 1993). Dentre os inúmeros fatores responsáveis pela atenuação e distribuição da Radiação UV, pode – se citar: gases traço, espalhamento Rayleigh e por aerossóis, nebulosidade, albedo do solo, latitude geográfica, altitude, ângulo solar de zênite entre outros fatores (Robinson, 1966; Coulson, 1975; Lenoble, 1993).

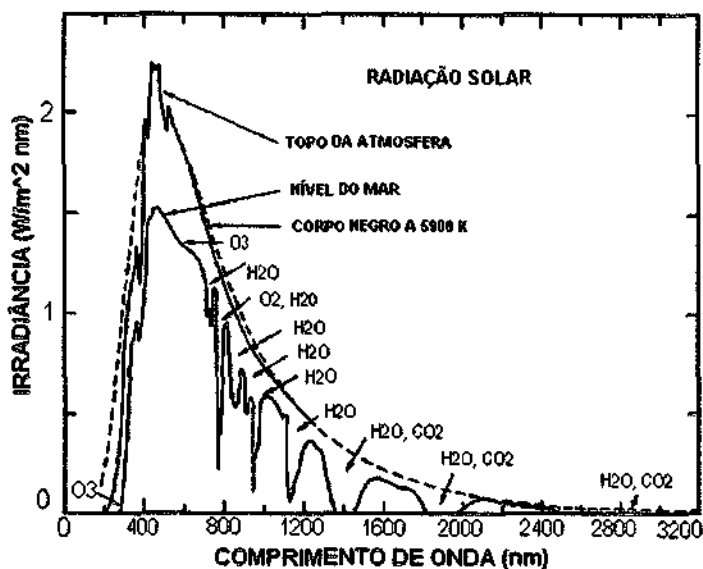


Fig. 3.3 - Espectro solar - Comparação com a curva de corpo negro a 5900 K, a irradiância ao nível do mar e no topo da Atmosfera, e principais bandas de absorção molecular na atmosfera. Fonte: Adaptado de Brasseur e Solomon (1986).

3.4 ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A Radiação UV-B pode ser atenuada pelo ozônio (Green, 1964; Molina e Molina, 1986), em menor quantidade pelo SO₂ (McGee e Burris Jr, 1987) e NO₂ (Davidson et al., 1988) e pelos aerossóis. A radiação pode ser espalhada pelos aerossóis e espalhamento Rayleigh e ainda auxiliam muito na atenuação da radiação o albedo, a cobertura de nuvens, a latitude, o ângulo zenital e a altitude.

3.4.1 ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO

GASES TRAÇO

Os gases majoritários da Atmosfera terrestre são o N_2 e o O_2 . Existem ainda aerossóis, vapor d'água e gases traço, (Walker, 1977). Os gases traço ozônio, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio, são os gases atmosféricos que mais absorvem a radiação UV-B. A Figura 3.2 mostra as seções de choque de absorção para esses gases em alguns comprimentos de onda na faixa do UV-B (Molina e Molina, 1986; McGee e Burris Jr, 1987; Davidson et al., 1988).

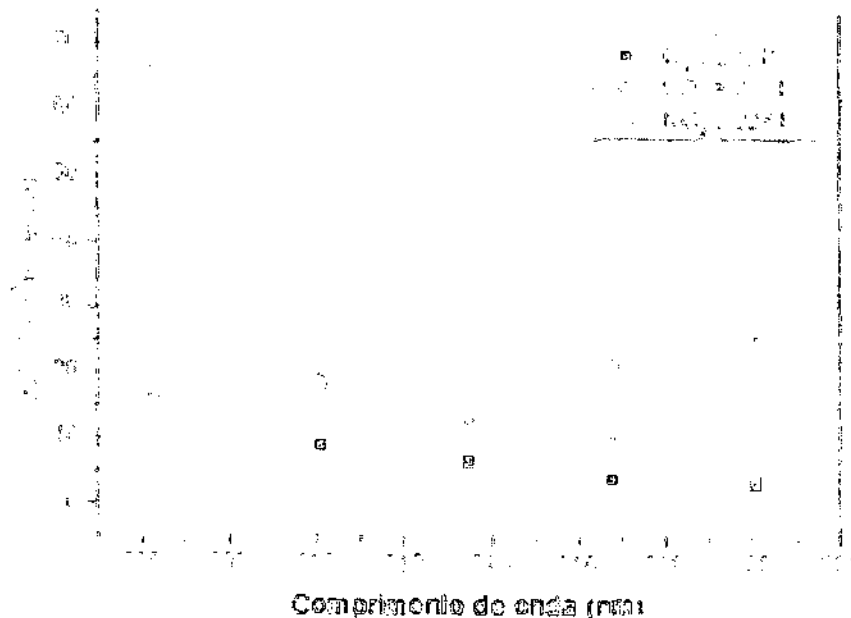


Fig. 3.4 – Seções de choque de absorção para os gases traço: O_2 , SO_2 e NO_2 para os comprimentos de onda ilustrados na Figura.

Fonte: Molina e Molina (1986), McGee e Burris Jr (1987), Davidson et al. (1988).



3.4.1.1 OZÔNIO

Este gás traço é sem dúvida alguma a atenuante de Radiação UV-B mais importante da Atmosfera. O ozônio é uma molécula constituída por três átomos de oxigênio, sua maior concentração ocorre na Estratosfera (16 – 50 Km). Cerca de 90% do ozônio total encontra-se entre 15 e 30 Km e a região entre 25 e 35 Km de altitude é conhecida como Camada de Ozônio devido a maior abundância desse gás, isto pode ser observado na Figura 3.5. O ozônio foi 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 provável que há 500 milhões de anos já houvesse ozônio em quantidade suficiente na Atmosfera para atenuar a Radiação UV de forma muito eficaz, permitindo que a vida pudesse se expandir na superfície terrestre.

A existência da camada de ozônio determina a inversão no perfil de temperatura na Tropopausa e o máximo secundário de temperatura na Estratopausa, sendo uma fonte de calor na estratosfera, alimentando diversos processos dinâmicos que contribuem para o sistema de circulação global atmosférico (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986).

O ozônio é produzido na estratosfera através de uma série de reações que iniciam com a fotodissociação do oxigênio molecular. O mecanismo básico de produção de ozônio pode ser representado pelas seguintes expressões:



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



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

A combinação desses mecanismos de perda e de produção resulta na formação da Camada de Ozônio. A altura de máxima concentração de ozônio na Atmosfera varia de acordo com a latitude geográfica, por influência da distribuição latitudinal de radiação solar que influi tanto na criação quanto na dissociação do ozônio (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986).

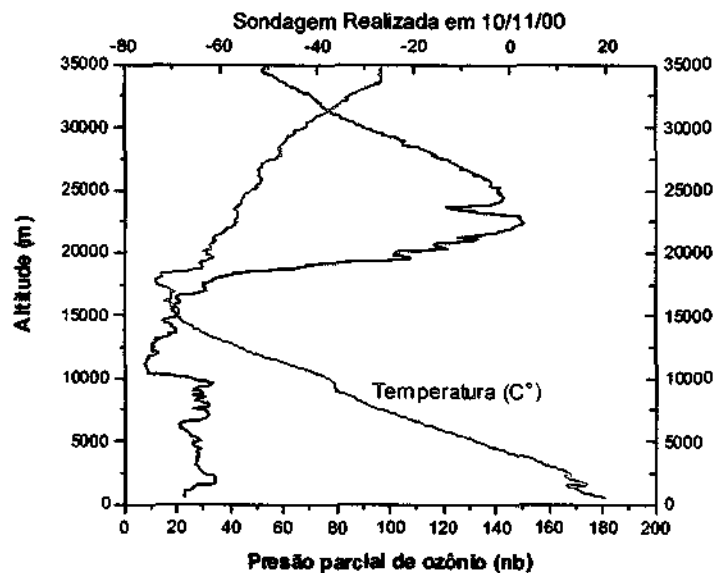


Fig. 3.5 – Perfil de ozônio obtido a partir de sondagem realizada em 10 de Novembro de 2000 no Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE – MCT.

O ozônio absorve fortemente em duas bandas na região do ultravioleta. A banda de Hartley ($\Delta\lambda_1$ na expressão 3.3) do ozônio é localizada entre 200 e 310 nm, com um máximo



próximo a 250 – 260 nm. Próximo de 300 nm a banda de Hartley sobrepõe-se a banda de Huggins ($\Delta\lambda_2$ na expressão 3.3), que se estende até 350 nm.

A Figura 3.6 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.

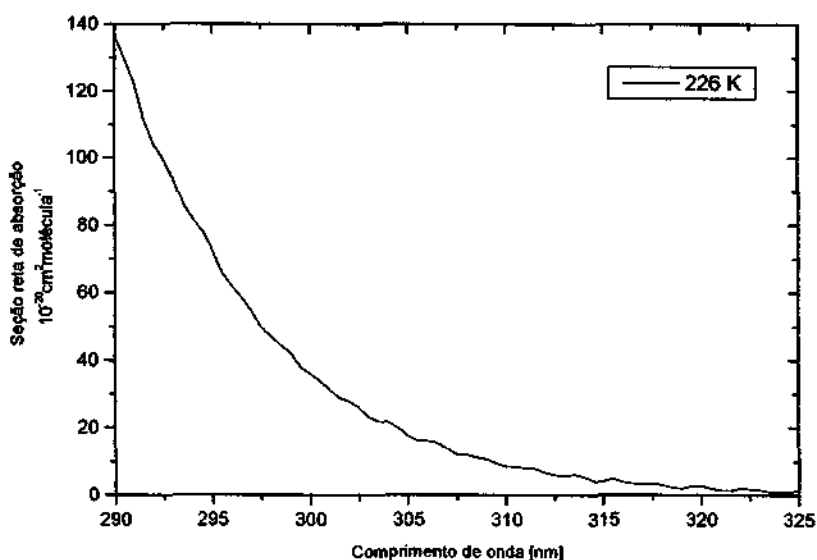


Fig 3.6 – Seção de absorção molecular de ozônio (290 – 325 nm) – temperatura de 226 K

Faixa medida pelo espectrofotômetro Brewer.

Fonte: Dados de Molina e Molina (1986).

3.4.1.2 DIÓXIDO DE ENXOFRE

O SO_2 é o gás traço que possui maior seção de choque depois do NO_2 , portanto ele é muito importante na atenuação da Radiação UV. Dentre as fontes emissoras de SO_2 para a



Atmosfera destacam-se: a emissão antropogênica proveniente da queima de combustível fóssil, a emissão natural resultante de erupções vulcânicas e a produção a partir de sulfetos orgânicos (Wameck, 1988; Fioletov et al., 1998).

Em regiões onde a poluição é pequena a concentração de SO_2 é menor que 2 UD (Unidades Dobson), enquanto que em regiões poluídas este valor é em torno de 4 a 6 UD, podendo em casos extremos chegar a 20 UD.

3.4.1.3 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO

A absorção da radiação solar pela molécula de dióxido de nitrogênio é um fenômeno extremamente importante na baixa e média Atmosfera terrestre. Isto deve-se ao fato de que o 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 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).

Esta molécula pode resultar da oxidação do 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 NO e o NO_2 são os principais produtos desses processos, o NO é posteriormente oxidado transformando-se em NO_2 .

3.4.2 ESPALHAMENTO DA RADIAÇÃO

3.4.2.1 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 tem uma dependência muito forte com o comprimento de onda; o comprimento de onda mais curto (na região visível, isto significa o mais azul), é aquele que se espalha com maior facilidade. Essa é a explicação do 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.

A seção de choque de espalhamento Rayleigh relativa está ilustrada na Figura 3.7 em função do comprimento de onda em nm para o UV-A, UV-B e região visível do espectro. Pode-se observar que quanto maior o comprimento de onda menor a seção de choque.

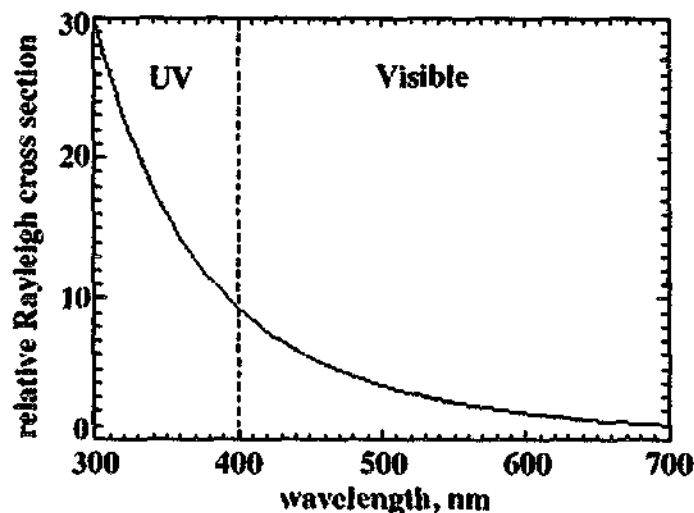


Fig. 3.7 – Seção transversal relativa do espalhamento Rayleigh em função do comprimento de onda para o espectro UV e visível. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>



3.4.2.2 ESPALHAMENTO POR AEROSSÓIS

Este tipo de espalhamento ocorre quando o diâmetro das partículas atmosféricas é essencialmente igual ao comprimento de onda da radiação. Aerossóis são partículas pequenas, mas bem maiores que moléculas, sólidas ou líquidas encontradas mesmo na Atmosfera mais limpa. Os aerossóis atmosféricos possuem tamanhos que, em geral, variam cerca de 0,01 a 10 μm de diâmetro. 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).

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 (efeito estufa) (Twitty e Weinman, 1971; McCartney, 1976; Michelangeli et al., 1992; Lorente et al., 1994).

O comportamento dos aerossóis para os cinco comprimentos de onda do Espectrofotômetro Brewer: 306,3; 310,1; 313,5; 310,8 e 320,1 nm, para o período de janeiro e fevereiro de 2003 para a região de Santa Maria, está ilustrado na Figura 3.8.

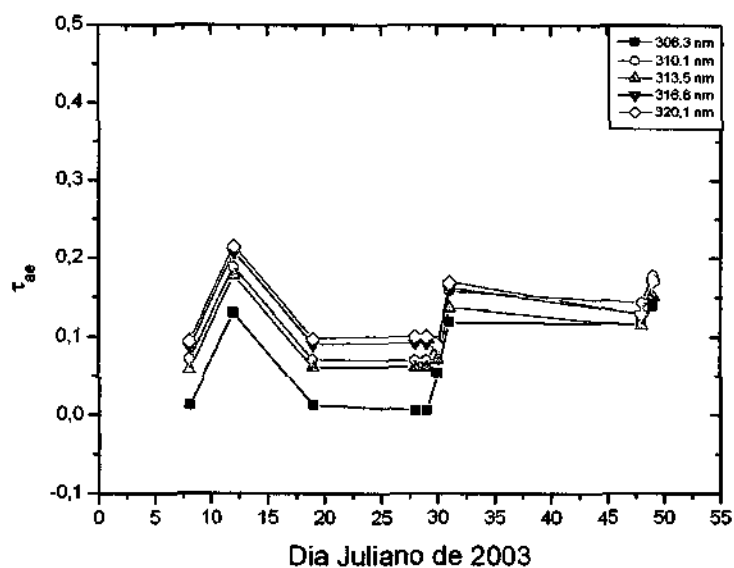


Fig. 3.8 – Comportamento das partículas de aerossóis para os dois primeiros meses do ano de 2003 para a região do Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE – MCT, no âmbito da parceria UFSM – INPE.

3.4.3 ALBEDO E COBERTURA DE NUVENS

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

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 Figura 3.9 ilustra o albedo do ano 1987 para a superfície terrestre.



Tabela 3.1 – Tipos de Albedo de algumas superfícies

<u>Tipo de Superfície</u>	<u>Albedo</u>	
	Visível	UV
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	-

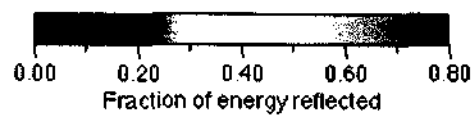
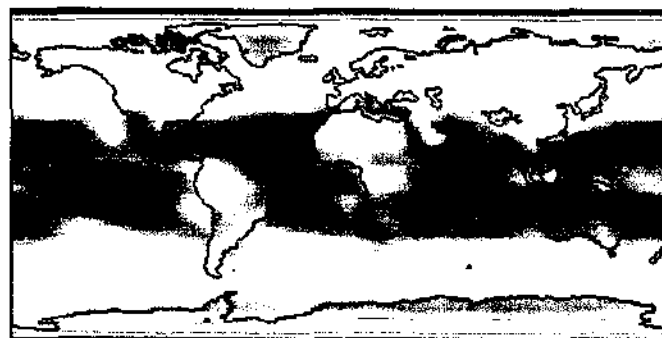


Fig. 3.9 – Albedo do ano de 1987 para a superfície terrestre.

Fonte: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html>



A ação das nuvens em reduzir a quantidade de radiação UV que atinge o rés do chão 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%. Em outras palavras, 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.

Alguns estudos relacionam a intensidade da radiação com a transmissão das nuvens. 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°.

3.4.4 LATITUDE GEOGRÁFICA

A Radiação UV diminui à medida que se afasta do Equador. Por exemplo, a média de exposição anual para uma pessoa vivendo no Havaí (20° N) é aproximadamente quatro vezes maior do que a de uma outra vivendo no norte europeu (50° N). Este aumento de exposição é causado pela diminuição da distância que a radiação UV percorre na Atmosfera terrestre nas latitudes menores.



Tabela 3.2 – Transmissão da Radiação X Nuvens

Tipo de Nuvem	% de Transmissão
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

3.4.5 ÂNGULO SOLAR ZENITAL

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 você deva

manter um nível mínimo de exposição entre 11h e 15h porque os níveis de radiações são persistentemente altos durante essa estação.

A curva diária de energia incidente na superfície em W/m^2 para o dia 15 de Julho do ano de 2002, está ilustrada na Figura 3.10. Esta curva foi obtida através do equipamento Espectrofotômetro Brewer e mostra o horário de pico de energia no horário GMT. A variação do ângulo zenital ao longo de um ano está representada na Figura 3.11.

3.4.6 ALTITUDE

Como regra geral, para cada 300 metros de aumento de altitude, o poder da radiação UV em causar queimaduras aumenta em cerca de 4%. Isto acontece porque a radiação atravessa uma menor distância de Atmosfera em regiões de altas altitudes, como nas montanhas, sendo menos absorvida e espalhada.

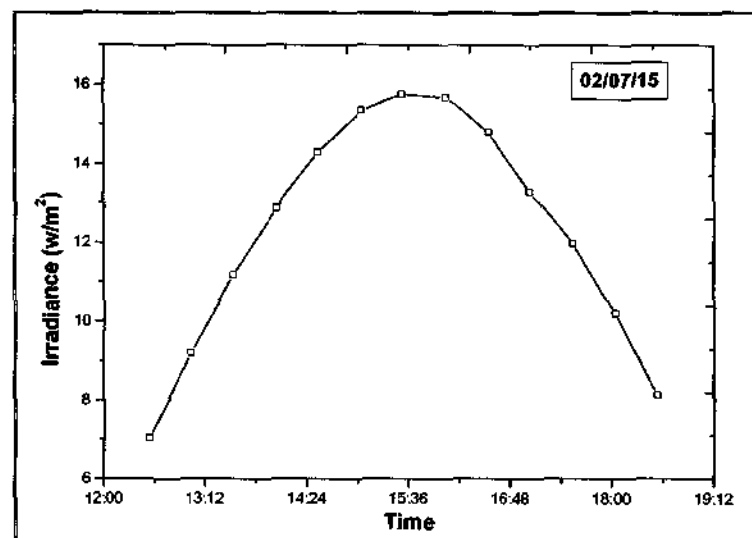


Fig. 3.10 – Variação da energia incidente diária na superfície terrestre com o ângulo solar zenital para o dia 15/07/2002 para a latitude do Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE – MCT, obtida a partir do programa UVBrewer v. 2.1.

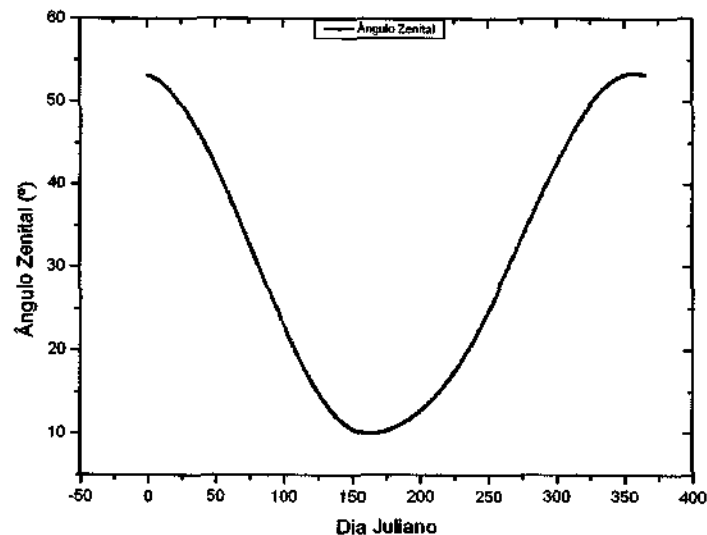


Fig. 3.11 – Variação do ângulo solar zenital ao longo de um ano, obtido a partir do programa ZANGLE, utilizado pelos alunos dentro do Programa de Cooperação Técnico – Científica entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM.

3.4.7 SAZONALIDADE

Variações sazonais na intensidade da radiação UV, particularmente a da UVB, são mais pronunciadas em climas temperados, como do norte da Europa. Nessas regiões, 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 os níveis variam muito menos, sendo altos durante o ano todo, porque o Sol está sempre relativamente alto no céu no meio do dia,



independentemente da estação do ano, ou seja, há pouca variação do ângulo solar zenital ao longo do ano em locais com baixas latitudes, tendo, portanto, pouca variação sazonal.

3.5 RADIAÇÃO BIOLOGICAMENTE ATIVA

3.5.1 EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE HUMANA

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.

A queimadura, ou eritema é a principal reação da pele à exposição excessiva aos raios solares. 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 e imunossupressão do sistema imunológico (ou seja, diminuição da resistência e portanto da defesa contra infecções locais e sistêmicas. O indivíduo fica mais sensível à infecções por agentes bacterianos virais e outros). As lesões crônicas têm aspectos clínicos muito variados, traduzidos pelo fotoenvelhecimento e, principalmente, pela ocorrência de cânceres cutâneos.

3.5.2 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:

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

A Radiação UV ponderada com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) está ilustrada na Figura 3.12.

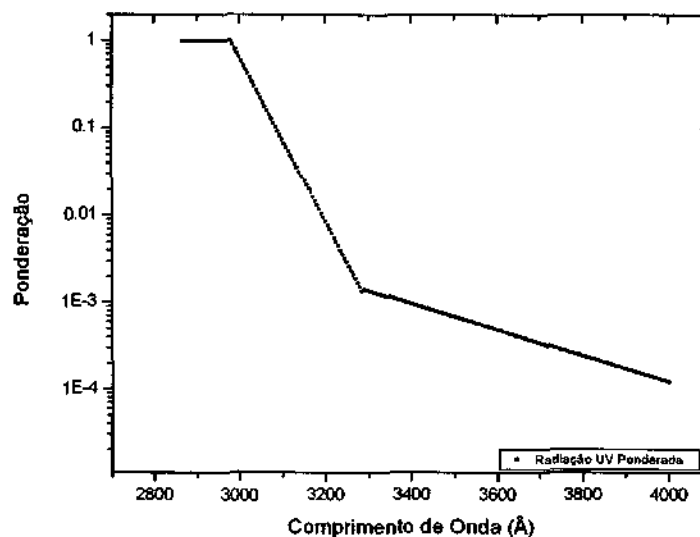


Fig. 3.12 – Espectro de Ação de Eritema (McKinlay-Diffey).



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 3.13 estão calculadas as doses eritematosas para cada tipo de pele.

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

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

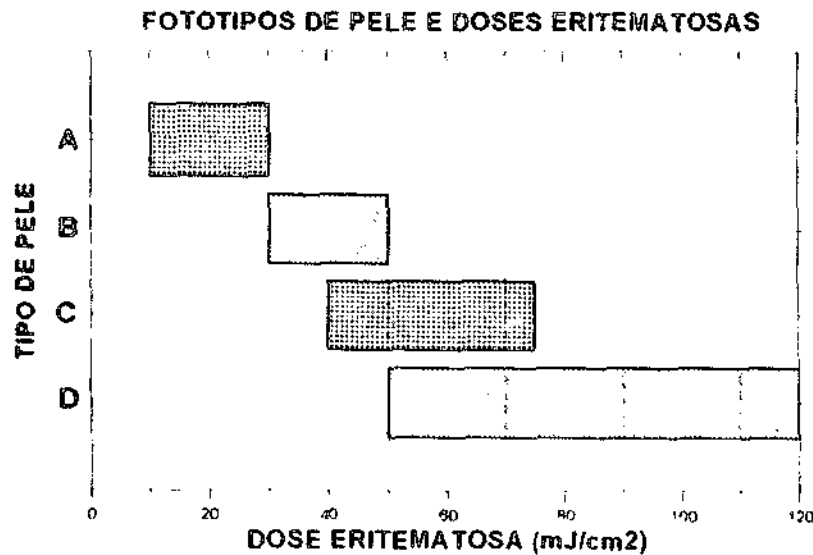


Fig. 3.13 – Os quatro tipos de pele humana e as faixas de doses eritematosas.

Fonte: Kirchhoff, 1995.

3.5.3 ÍNDICE ULTRAVIOLETA

O Índice Ultravioleta foi criado para alertar a população quanto à intensidade e quanto ao tempo que cada pessoa pode ficar exposta à radiação solar de acordo com cada tipo de pele. Quando a energia acumulada em uma hora de exposição é expressa em centijoules por centímetro quadrado (cJ/cm^2), obtém-se uma variação entre 0 e 15, esta é a definição de índice ultravioleta.

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 $23 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, 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 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 mJ/cm^2 , obtém-se $115 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, ou $11,5 \text{ cJ}/\text{cm}^2$, 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).



CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

Encontram-se instalados no 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, os quais são descritos a seguir.

4.1 BIOMETER 501 A DA SOLAR LIGHT

O princípio de medição deste aparelho baseia-se na detecção de luz por um elemento de fósforo com um diodo de GaAs (Arseneto de Gálio). A Radiação Solar que incide sobre um domo de quartzo do aparelho é parcialmente filtrada, de modo que apenas os comprimentos de onda na faixa de 280-340nm excitam o componente de fósforo. O sensor possui uma sensibilidade semelhante ao Espectro de Ação Eritema (Mckinlay-Diffey), simulando a sensibilidade da pele humana ao UV-B. O tempo de integração utilizado geralmente é de uma hora e os resultados obtidos são em MED/h (dose de energia necessária para queimar a pele em uma hora), sendo gravados em um *dataloger*. Periodicamente, as medidas são coletadas e armazenadas no banco de dados do LACESM/UFSM – Convênio: INPE/UFSM. A aproximação da resposta do equipamento com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) está representada na Figura 4.1.

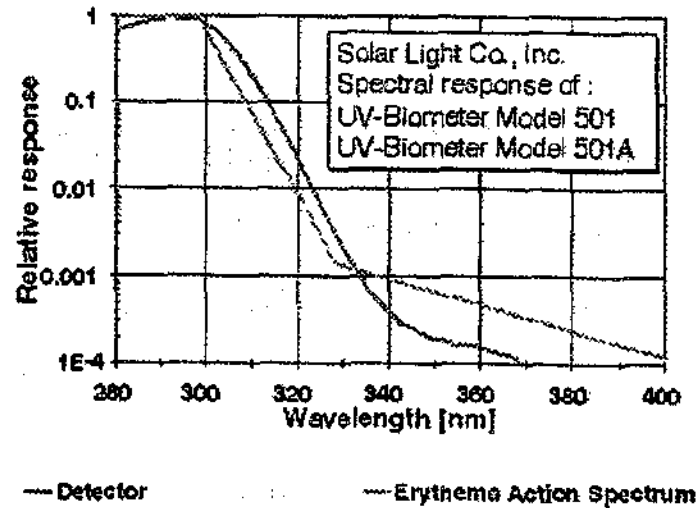


Fig. 4.1 – Resposta do detector Biômetro 501 A muito aproximada do Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey). Fonte: Manual do Biômetro 501 A da Solar Light.



Fig. 4.2 – Biômetro 501 A da Solar Light,
 instalado no
 OES/CRSPE/INPE – MCT

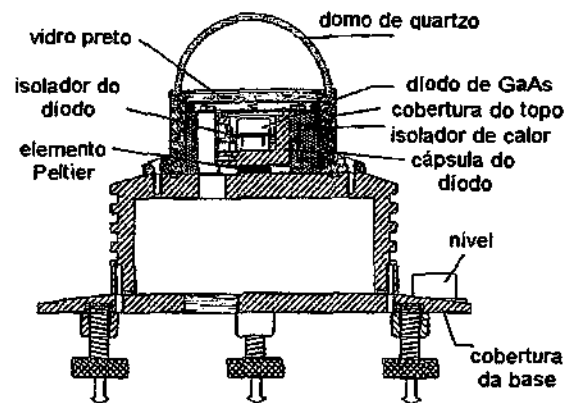


Fig. 4.3 – Diagrama esquemático
 de um Biômetro.



4.2 RADIÔMETROS UV-B MS 210 W E MS - 212 W

O Radiômetro UV-B instalado no OES efetua medidas de radiação ultravioleta incidente em uma faixa de 280 a 315 nm. Ao contrário do Brewer, que mede energias em comprimentos de onda particulares, o radiômetro mede a energia total naquela 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 longo 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 1V). 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.

Os dados desse instrumento são armazenados em um equipamento específico para este fim, instalado no Prédio 1. Esses dados são copiados periodicamente e gravados no Banco de Dados do LACESM, onde são convertidos para formato texto, podendo-se assim obter dados de radiação ultravioleta. A Figura 4.4 ilustra um diagrama esquemático do Radiômetro e a Figura 4.5 mostra este equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul.

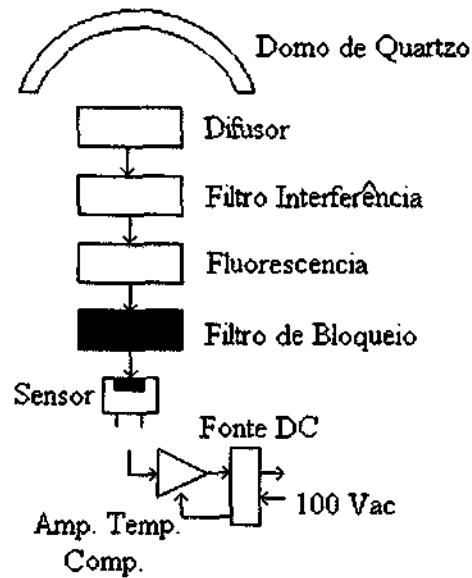


Fig. 4.4 - Diagrama mostrando os vários estágios que compõe o sistema de medição do UV – B Radiometer modelo MS - 210W. Fonte: Manual do UV – B Radiometer MS – 210W.

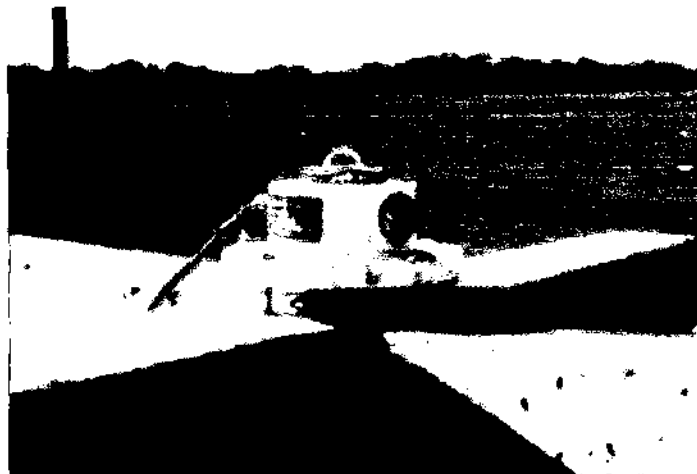


Fig. 4.5 – Radiômetro UV-B MS-210 W instalado no OES/CRSPE/INPE – MCT, obtido a partir da cooperação Brasil – Japão.

4.3 RADIÔMETRO UV-A MS - 212 A

O Radiômetro UV-A MS-212 A foi designado a medir a Radiação Ultravioleta na faixa espectral de 315 a 400 nm. Opera continuamente exposto às condições de tempo locais. O sistema óptico deste equipamento é semelhante aos Radiômetros medidores de UV-B, a radiação incide no domo de quartzo e é difusa por um difusor de Teflon e apenas Radiação UV-A é transmitida através do filtro UV especial. Após a radiação ser transmitida para o filtro, ela será convertida em voltagem DC de 0 à 10 mV ou 1V. O equipamento ainda contempla um circuito de compensação interna de temperatura. A Figura 4.6 mostra um diagrama esquemático do dedidor de UV-A com suas partes integrantes, pode-se observar que sua estrutura interna é muito semelhante aos medidores de UV-B. A Figura 4.7 mostra um exemplo de resposta espectral para o medidor de UV-A com um máximo centrado em torno do comprimento de onda 0,360 μm .

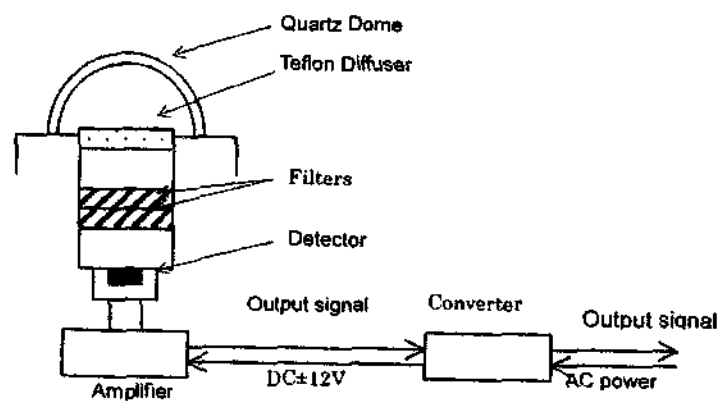


Fig. 4.6 – Diagrama esquemático representando todas as partes integrantes do Radiômetro UV –A MS – 212 A, equipamento obtido a partir da cooperação Brasil – Japão.
Fonte: Manual do Radiômetro UV – A MS – 212A.

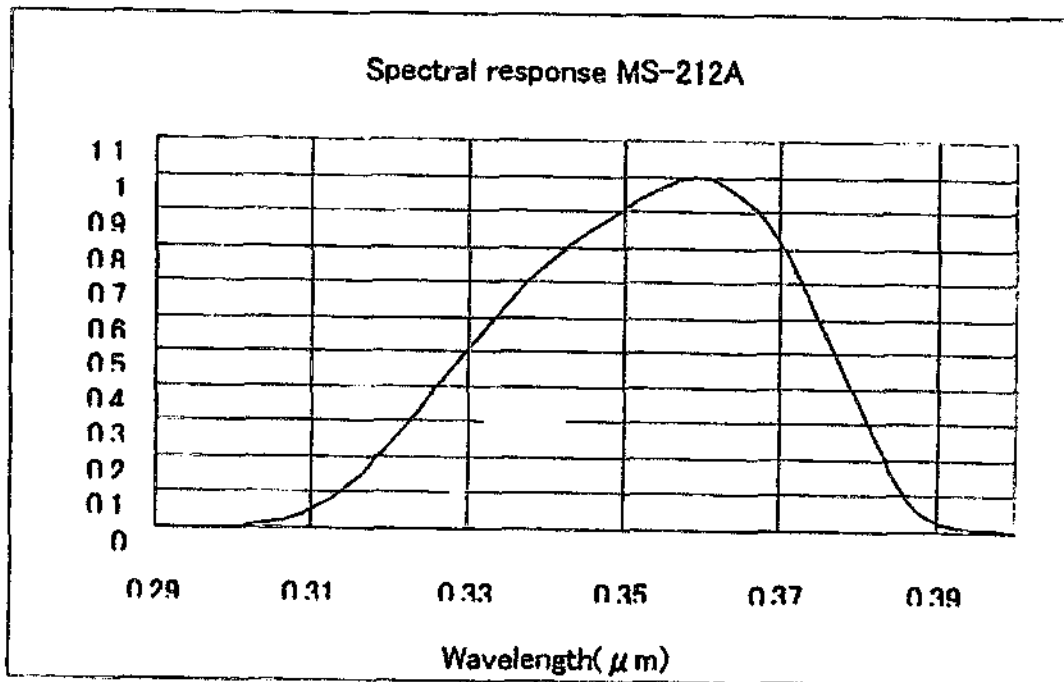


Fig. 4.7 – Resposta espectral ponderada do equipamento Radiômetro UV-A MS-212 A.

Fonte: Manual do Radiômetro UV – A MS – 212 A.



Fig. 4.8 – Foto do Radiômetro UV-A MS – 212. Equipamento obtido através da cooperação Brasil – Japão.



4.4 GROUND – BASED ULTRAVIOLET RADIOMETER GUV 511C

Este equipamento mede a radiação em comprimentos específicos que permitem inferir a Radiação Biologicamente Ativa, sendo eles: 305, 320, 340 e 380 nm. Mede também a Radiação Fotossinteticamente Ativa com um filtro na região espectral do visível.

Uma novidade que se apreça neste medidor de UV é um controlador de temperatura tipo PID, que mantém o interior a uma temperatura constante de 50° C, o que aumenta a precisão das medidas.

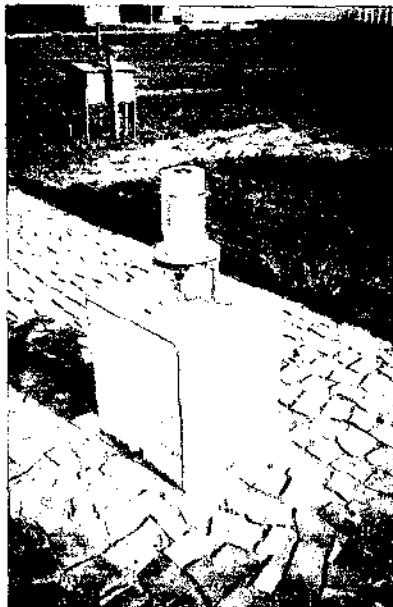


Fig. 4.9 – GUV instalado no Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE.

4.5 ESPECTRORADIÔMETRO MS-701

Mede Radiação Ultravioleta de 295 a 400 nm, a cada 1 nm, determinando a distribuição espectral da intensidade de radiação incidente. Efetua uma medida a cada 5 minutos. Diferencia-se dos detectores de UV anteriores por possuir uma grade de difração que permite a medida de radiação por comprimento de onda.

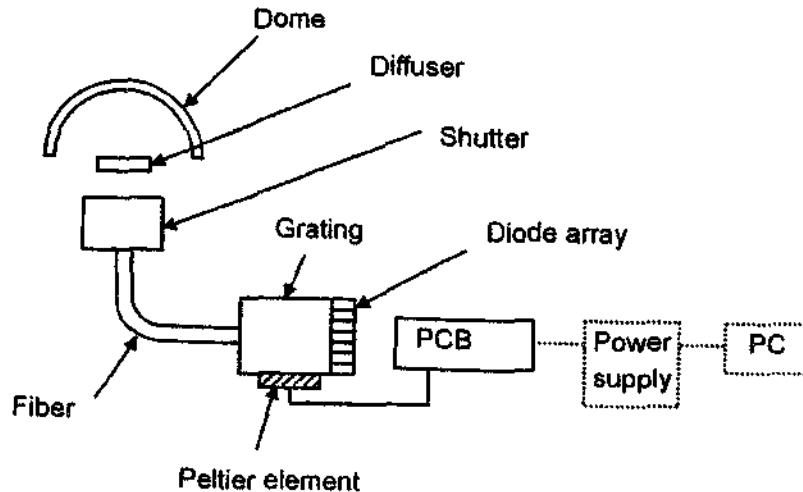


Fig. 4.10 – Diagrama esquemático do Espectroradiômetro MS – 700 ilustrando suas partes internas. Equipamento utilizado pelos alunos integrantes do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico a partir da cooperação Brasil – Japão. Fonte: Manual do Espectroradiômetro MS – 700.

4.6 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MK II

O Espectrofotômetro Brewer é o equipamento utilizado para a obtenção dos dados de medidas da Radiação Ultravioleta global, além das colunas totais dos gases O_3 e SO_2 . Este equipamento encontrou-se instalado em São Martinho da Serra no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE – MCT, a partir de um convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, durante o período de 2000 – 2002.

O Brewer é um equipamento totalmente automatizado, contendo seu próprio microprocessador que controla as operações internas do instrumento, como os prismas,

filtros, grade de difração, micrômetro e outras partes móveis dotadas de motores. O microprocessador está ligado a um microcomputador que contém os programas de operação do instrumento, bem como de redução e armazenamento de dados. O microcomputador encontra-se instalado no Prédio 1. O instrumento Brewer é composto por 3 partes que podem ser visualizadas na Figura 4.11: tripé, tracker e espectrofotômetro propriamente dito.

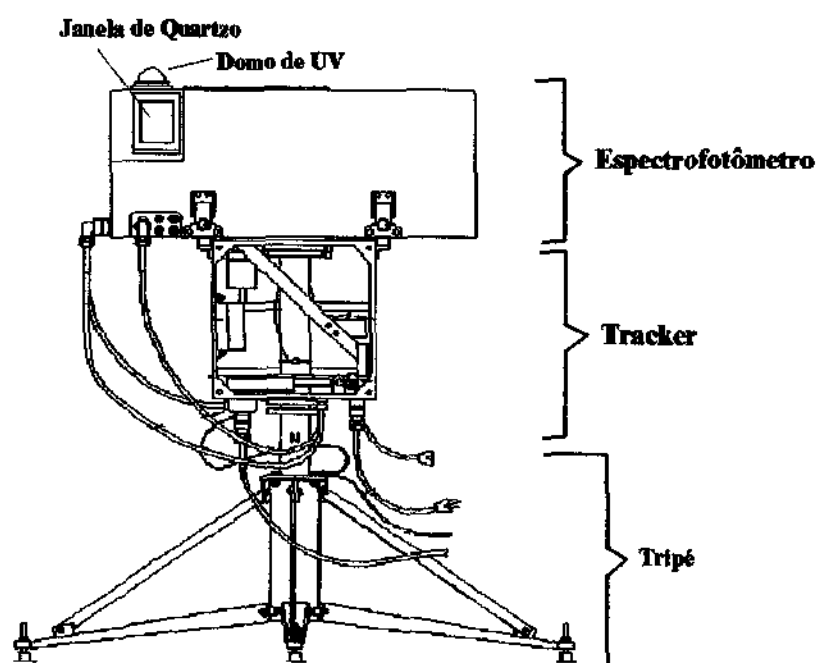


Fig. 4.11 – Espectrofotômetro Brewer composto por três partes principais: o tripé, o tracker e o espectrofotômetro. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.

A luz solar pode entrar pelo aparelho de duas formas diferentes, dependendo do tipo de medida a ser efetuada: pela janela de quartzo ou pelo domo de UV. A radiação ultravioleta é medida através de varreduras do espectro. O Brewer mede UV em uma faixa que vai de 290 nm a 325 nm, com uma resolução de 0,5 nm. Assim, para cada comprimento de onda, a cada 0,5 nm, é medida uma quantidade de energia particular.

Entre os diversos tipos de medidas realizadas pelo Brewer, existe a medida de radiação direta (técnica DS) (Sci-Tec, 1995). Para a realização das medidas ds o aparelho se posiciona com sua janela lateral diretamente para o Sol. Devido ao fato das medidas de ds objetivarem a obtenção da coluna de ozônio, são utilizados apenas cinco comprimentos de onda na faixa do UV, que são: 306,3, 310,1, 313,5, 316,8 e 320,1 nm. Quando o equipamento executa medidas de ozônio a luz é coletada pela janela de quartzo posicionada de forma inclinada na frente do aparelho. No interior dessa janela existe um prisma móvel também de quartzo, denominado *prisma de zênite*, que pode apontar diretamente para o Sol ou para o Céu Zênite. Existem, portanto dois tipos de medidas de ozônio, DS (Direct Sun) e ZS (Zenith Sky) dependendo do posicionamento do prisma. As diferentes posições do prisma e os percursos que a luz executa até atingi-lo, para depois entrar na íris, estão ilustradas na Figura 4.12.

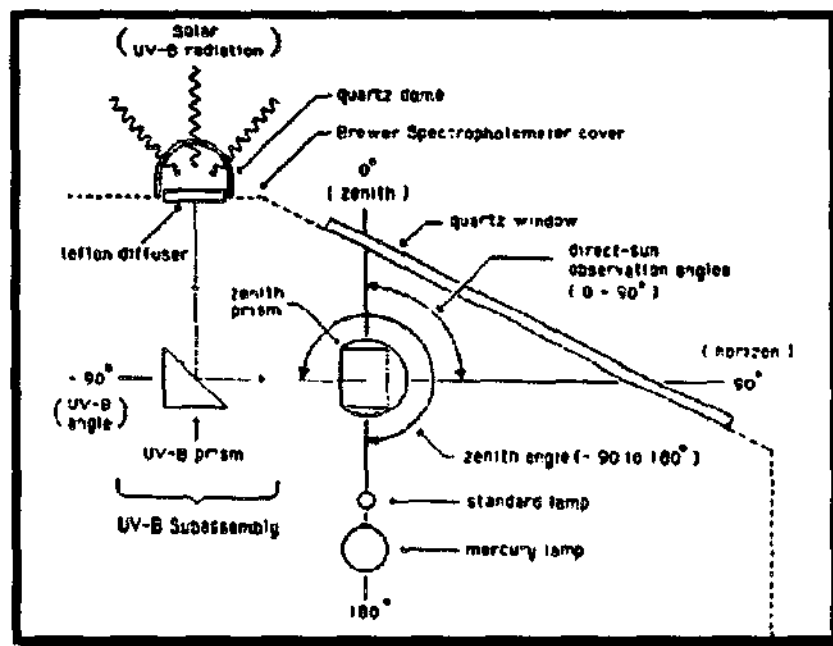


Fig. 4.12 – Possíveis posicionamentos do prisma e caminhos percorridos pela luz até chegar ao prisma. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.



Quando o equipamento executa medidas de radiação ultravioleta, o prisma de zênite é voltado para o interior do instrumento na direção da luz que entra pelo domo de UV. A radiação UV-B proveniente do Sol e do céu, isto é, a radiação direta e a difusa, atingem o domo e passam por um difusor de teflon. A radiação é direcionada ao prisma de UV-B e deste ao prisma de zênite. O prisma de zênite é controlado por um pequeno motor que o posiciona de 4 formas diferentes, de onde pode coletar luz: direto ao Sol, zênite do céu, domo de UV e para as lâmpadas de calibração. 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 num tubo fotomultiplicador que transforma o feixe de luz de comprimento de onda λ num sinal elétrico interpretado como pulso pela cadeia eletrônica Brewer.

O Brewer possui duas lâmpadas de autocalibração com funções específicas e que se localizam abaixo do prisma de zênite. Após atingir o prisma de zênite, a luz entra na íris e passa por dois filtros cuja função é eliminar alguns comprimentos de onda e ajustar a luz que entrará no sistema espectrométrico. Na parte espectrométrica, o feixe de luz incide sobre um espelho côncavo e é projetado sobre uma grade de difração, onde é separado em seus comprimentos de onda. O feixe difratado atinge novamente o espelho e em seguida penetra no tubo fotomultiplicador que executa a contagem dos fótons e determina a energia transportada por aquele comprimento de onda isolado.

Na medida de ozônio, o Brewer faz uso de uma máscara que seleciona cada um dos 5 comprimentos de onda operacionais, fazendo com que cada um seja medido individualmente, após a reflexão no espelho. Nas medidas de ultravioleta a grade de difração é movida pelo micrômetro de forma a ajustar o comprimento de onda que cada equipamento mede. Cada comprimento de onda, a cada 0,5 nm é medido individualmente pela fotomultiplicadora, o que denomina-se *scan*.

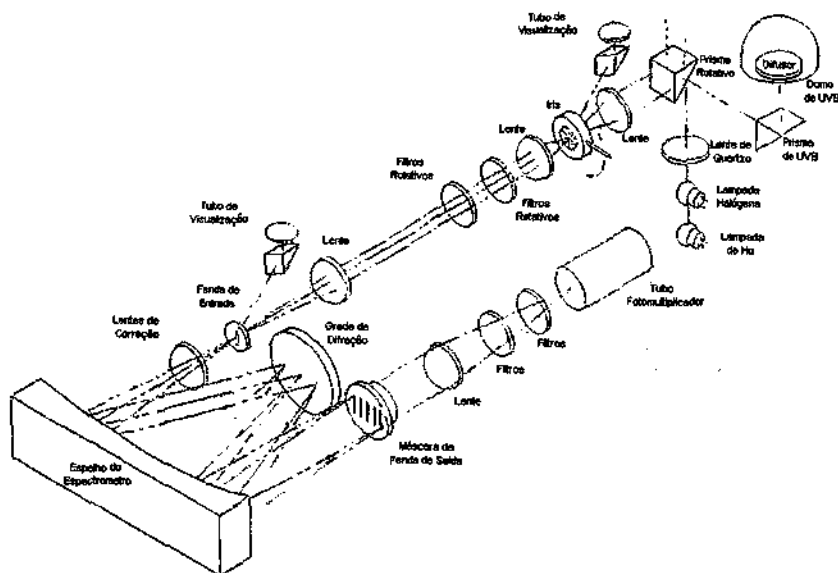


Fig. 4.13 - Vista esquemática dos componentes do sistema óptico do Brewer.

Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.

Este equipamento não se encontra mais instalado no Observatório Espacial do Sul, onde esteve operando entre os anos 2000 – 2002. Atualmente o espectrofotômetro que realiza medidas de radiação e ozônio é o Espectrofotômetro Brewer MK III.

4.7 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MK III

Este equipamento se diferencia do anterior descrito neste Relatório em três aspectos:

- **FAIXA ESPECTRAL** – O Espectrofotômetro Brewer MK III realiza medidas de radiação numa faixa mais ampla, que compreende: 286,5 nm à 363,0 nm também com resolução de 0,5 nm.

- **DUPLO SISTEMA ÓPTICO** – Este equipamento possui duplo sistema óptico, o que confere maior confiabilidade na separação dos comprimentos de onda, diminuindo assim a largura da banda do feixe de entrada. Na Figura 4.15 pode-se observar que 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.

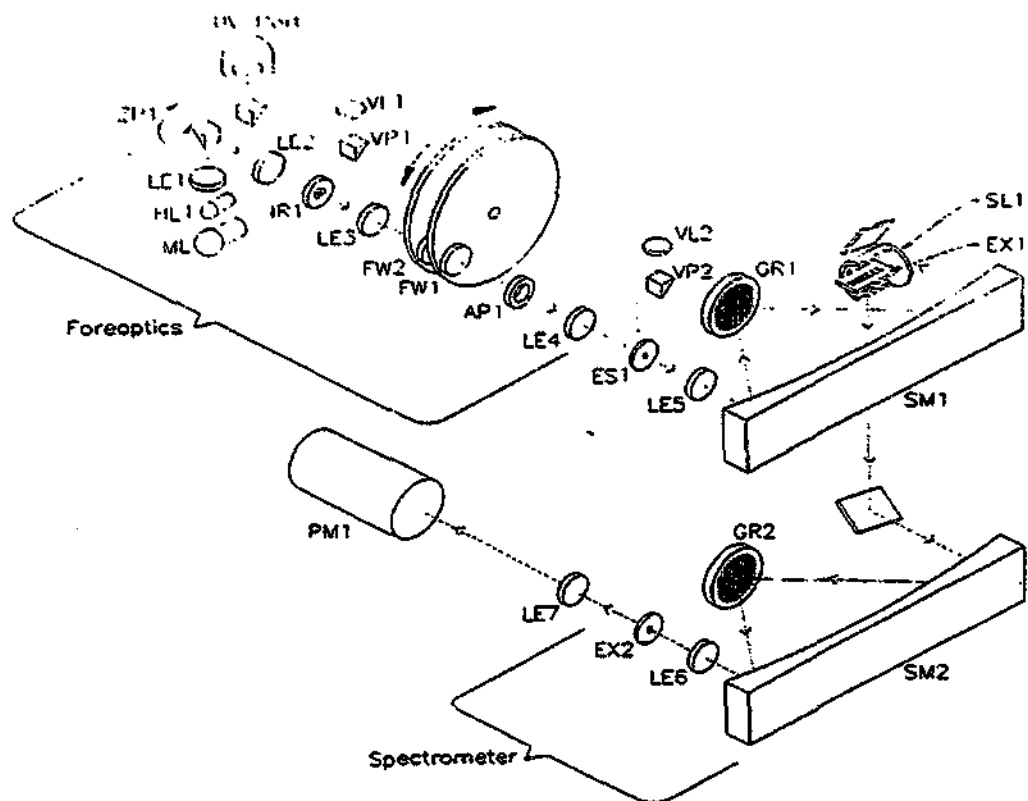


Fig. 4.14 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MK III. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK III.



4.8 SOFTWARE BREWER SPECTROPHOTOMETER UV DATA FILES ANALYSIS PROGRAM

Para que se possa analisar os dados de Radiação Ultravioleta fornecidos pelo Brewer, faz-se necessária a utilização do software desenvolvido pelo tcheco Martin Stanek Spectrophotometer Brewer UV Data Files Analysis Program. Este é um programa que permite a conversão dos dados em irradiância e integral diária. A versão utilizada para análise foi a UV Brewer 2.1.

O programa reprocessa os dados dos arquivos UV fazendo uso de um arquivo 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 zenital solar.

A interface do programa mostrando a análise de um arquivo UV do dia 18 de Fevereiro de 2003 é observada na Figura 4.16. 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.

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. Pode-se observar na Figura 4.17 duas



curvas: uma vermelha que representa a irradiância bruta e outra azul que representa a irradiância pesada no espectro de Eritema. 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 16h e 32 min (GMT).

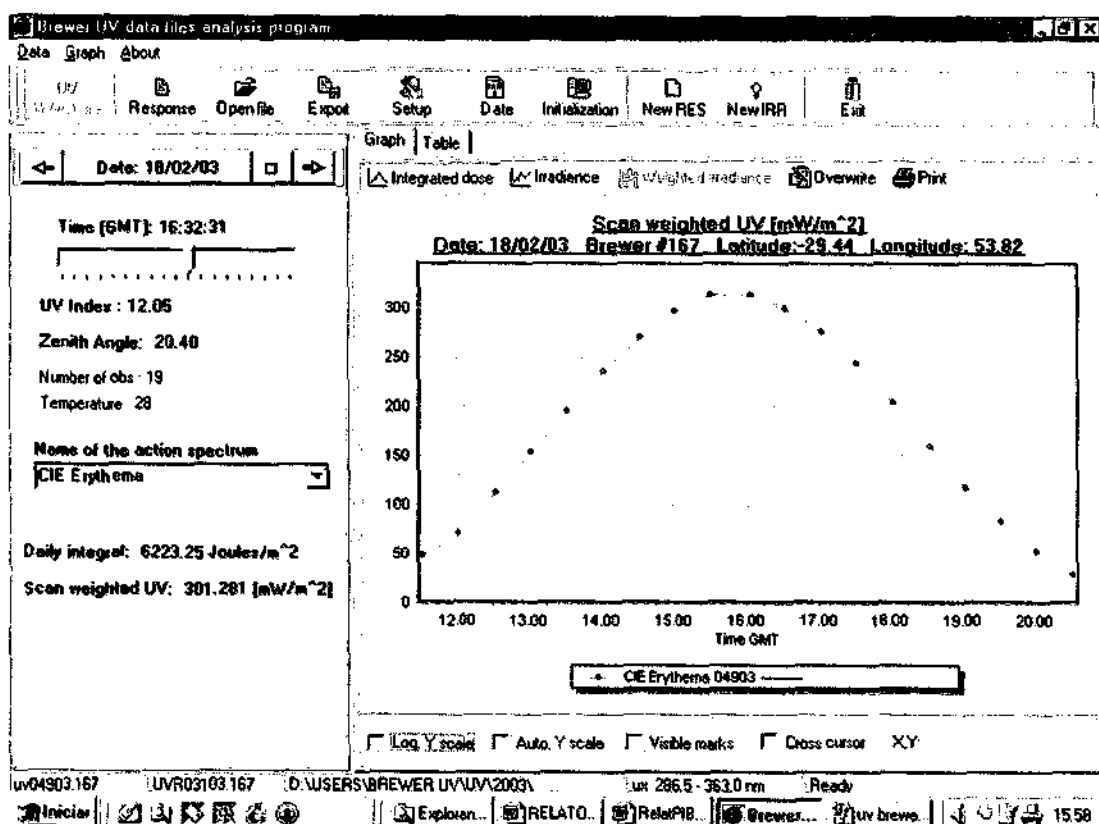


Fig. 4.15 - Interface do Software Brewer UV Data Analysis Program v.2.1, utilizado para redução dos dados no CRSPE/INPE – MCT, mostrando uma curva do comportamento diário da Radiação Ultravioleta efetiva para o dia 18/02/2003.

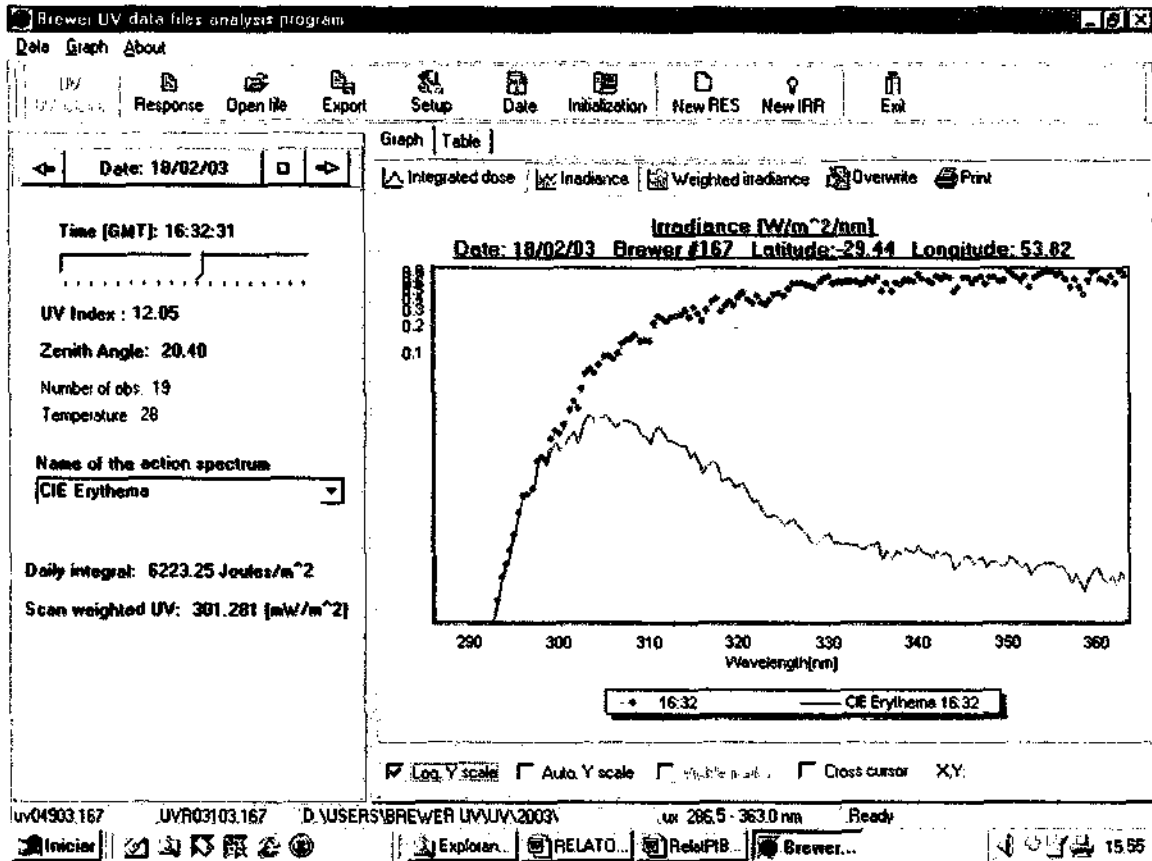


Fig. 4.16 – Interface do Programa UV Brewer v 2.1 utilizado para redução dos dados no CRSPE/INPE – MCT, mostrando a irradiância medida no horário indicado na figura.



CAPÍTULO 5

ATIVIDADES DO BOLSISTA

5.1 VISITAS TÉCNICAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Visitas técnicas ao Observatório Espacial do Sul foram necessárias para coleta de dados, limpeza, calibração e manutenção preventiva dos equipamentos lá instalados. Semanalmente, um grupo de integrantes do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico, desloca-se até o OES para a realização de atividades que serão citadas a seguir.

5.1.1 CALIBRAÇÃO DO ESPECTROFOTÔMETRO BREWER

O Brewer é o único equipamento instalado no Prédio do PMOA que é calibrado quinzenalmente. Esta calibração é necessária para atenuar o erro das suas medidas devido à desajustes naturais do equipamento.

O equipamento utilizado para calibração consiste em um kit de calibração 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.

As lâmpadas possuem um espectro de radiação conhecido e são testadas em laboratório pelo fabricante do equipamento. Estas lâmpadas são instaladas em um anteparo apropriado que é acoplado sobre o domo de UV-B. Através de uma seqüência de comandos dados no programa de controle do Brewer, este ajusta a rede de difração e faz a leitura da irradiância da lâmpada, medindo a potência em alguns comprimentos de onda, da mesma forma com se estivesse executando uma medida do tipo UV.



Podem ser utilizadas de uma a três lâmpadas sendo que para cada lâmpada acoplada entra-se com a linha de comandos de calibração no programa do Brewer. As medidas que o Brewer faz das lâmpadas são gravadas em um arquivo de nome *ULdddyy.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 *LAMPnnm.IRR* onde *nnn* representa o número da lâmpada. Pela comparação das medidas da luz das lâmpadas pelo Brewer e 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 UV Brewer 2.1.

A calibração serve para observar as perdas de luz no interior do aparelho, pela comparação da irradiância emitida pela lâmpada com aquela que é medida pelo equipamento. Os erros originários da trajetória da luz dentro do equipamento são guardados no arquivo *UVR*, que é o arquivo de resposta do espectrofotômetro. Assim, o erro que é cometido durante a calibração é o mesmo que o aparelho comete ao medir a luz solar. O arquivo *UVR* tem a função de “corrigir” as medidas de UV no reprocessamento dos dados. Vale lembrar que as medidas de UV do Brewer são gravadas em arquivos *Uvdddyy.167*.

5.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS

5.1.2.1 TROCA DA SÍLICA GEL

Todo equipamento eletrônico são bastante vulneráveis a ação da umidade. Dessa forma, faz – se necessário manter a umidade baixa no interior dos instrumentos. Por essa razão os detectores de UV e ozônio são dotados de compartimentos com sílica gel. Esta sílica deve ser trocada freqüentemente para que se tenha um controle da umidade no interior dos equipamentos e conseqüentemente medidas mais confiáveis.



5.1.2.2 LIMPEZA E POLIMENTO

A limpeza dos equipamentos se faz necessária não somente por questões estéticas mas principalmente para diminuir a absorção de energia. Todos os detectores, exceto o GUV são de cor branca, o que aumenta o albedo dos corpos. Sendo assim a energia incidente nos equipamentos é mínima exceto nos domos de quartzo onde a radiação é transmitida para o interior do equipamento. Essa refletividade da radiação evita o superaquecimento o que implicaria em alterações nas medidas.

No caso do Brewer, este é ainda polido com uma cera especial evitando ao máximo que a radiação seja absorvida por partes que não sejam o domo ou a janela de quartzo.

5.1.3 COLETA DE DADOS

Até início deste ano alguns detectores encontravam – se acoplados a um data logger, onde os dados eram armazenados. Sendo assim, antes que este ficasse totalmente preenchido era necessário ser descarregado para que as medidas não fossem sobrepostas. Ainda funciona com data logger apenas o equipamento Biômetro 501 A, os radiômetros e Espectroradiômetro foram acoplados a laptops. Sendo assim, suas memórias permitem um armazenamento por período maior. Mesmo assim, visitas frequentes ao OES/CRSPE/INPE – MCT são necessárias para que esses dados e do GUV e Brewer sejam copiados e trazidos ao LACESM para conseqüente redução e análise.

5.2 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, Origin versão 6.0 e Excel.



No caso dos dados do Brewer, estes são interpretados pelo programa UVBrewer, mas para se trabalhar com seus dados é necessário que sejam exportados em períodos de acordo com seus arquivos de calibração respectivos. Essa é a etapa mais demorada.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Uma vez reduzidos, os dados estão prontos para ser analisados. São efetuadas uma série de análises, tais 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.



CAPÍTULO 6

RESULTADOS

De acordo com os objetivos específicos deste Relatório, para um estudo mais detalhado do comportamento da Radiação UV e de sua nocividade, trabalhou-se com dados de radiação para comprimentos de onda específicos além de toda banda de UVB integrada (280 a 315 nm). Os comprimentos analisados foram: 300, 305 e 310 nm. Para o estudo da nocividade, adotou-se o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) para toda banda, sendo que este abrange UVB e UVA, e para os mesmos comprimentos de onda citados acima.

Os equipamentos Espectrofotômetro Brewer e Biômetro foram selecionados para o estudo do comportamento da Radiação UV no OES. O Espectrofotômetro Brewer foi escolhido por ser o equipamento mais confiável e preciso que se tem até o momento no OES, que ele possui um sistema óptico muito apurado, descrito na Metodologia deste Relatório, para medida e separação dos comprimentos de onda da Radiação UV. O Biômetro foi escolhido por apresentar uma resposta ponderada com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) o que permite uma comparação com o Brewer, que o programa utilizado para redução dos dados do Brewer permite uma resposta ponderada com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey).

A análise da Radiação UV incidente no OES/CRSPE/INPE – MCT, foi feita para o período de Abril/2000 a Novembro/2003, totalizando três anos e oito meses de dados. Este período foi definido pelos motivos:

- *Continuidade nos Dados:* Desde a instalação do primeiro Espectrofotômetro Brewer MK IV #081 em 1996 no Observatório Espacial do Sul houve interrupções nas medidas. Algumas devido à substituição de equipamento, outras devido à falhas



mecânicas. Dessa forma, observou-se para o período indicado uma maior continuidade nos dados de radiação.

- *Confiabilidade nas Medidas:* Sendo o Espectrofotômetro Brewer MK III portador de duplo sistema óptico, o que confere maior precisão às medidas, quis-se preferencialmente, que as medidas obtidas por este equipamento contemplassem a análise.
- *Falta de Tempo:* Devido ao enorme tempo despendido na redução dos dados, assim que o bolsista percebeu que não seria possível efetuar a análise para todo período de dados dispostos, um total de quase dez anos, iniciou-se o estudo de traz para frente, a partir do ano 2003, obtendo-se assim primeiro as medidas mais recentes de Radiação UV.

Após a redução dos dados, utilizaram-se os programas Origin v 6.0 e Excel, para o cálculo das médias e confecção dos gráficos que contemplam este Relatório.

Inicialmente deseja-se comparar o ângulo solar zenital ao longo do dia com a energia diária. Dessa forma, plotou-se os dados de energia ao longo de um dia sem interferência de nuvens com os seus respectivos ângulos solares zenitais, Figura 6.1. A partir da Figura 6.1, pode-se observar a energia máxima diária em torno das 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.

Como um dos principais objetivos deste Relatório é estudar o comportamento sazonal da Radiação UV, os primeiros dados a serem trabalhados são os de energia integrada diária de Radiação UVB e de Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) na unidade de “Joule por metro quadrado”, em escala logarítmica para melhor observar os seus comportamentos para todo o período analisado. Assim, obteve-se a Figura 6.2.

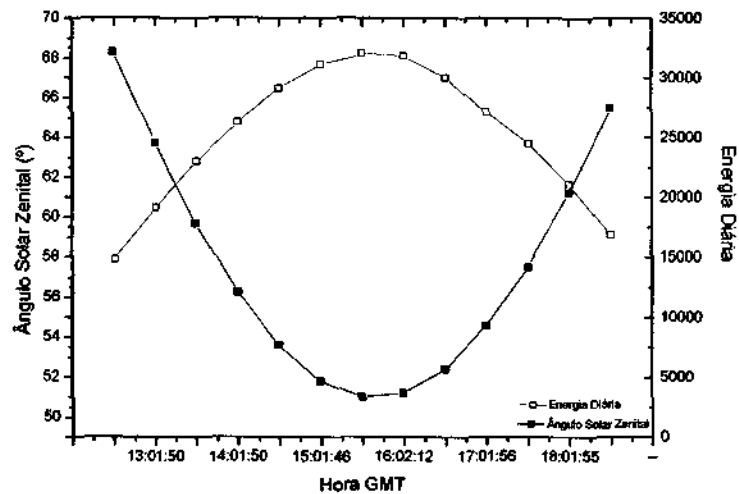


Fig. 6.1 – Curva de energia diária representada em vermelho e ângulo solar zenital variando ao longo de um dia representada em preto.

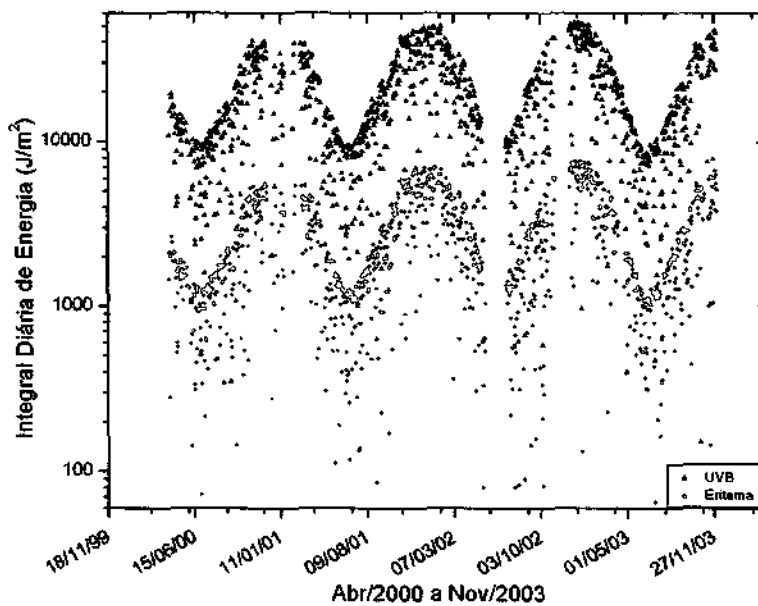


Fig. 6.2 – Dados brutos de Integral Diária de Energia de Radiação UVB e Eritematosas incidentes no OES/CRSPE/INPE, plotados em escala logarítmica para todo o período analisado.



A primeira observação a ser feita nesta Figura é o típico comportamento sazonal da Radiação UV, apresentando picos máximos nos meses representativos do verão, Janeiro e Fevereiro, e valores muito baixos nos meses representativos do inverno, Junho e Julho.

Podem-se observar na Figura 6.2 algumas interrupções. A primeira delas é em Janeiro e Fevereiro de 2001. Para estes meses estão faltando alguns dados, essa falta é responsável pela ausência do primeiro pico na Figura. A segunda interrupção é em Junho de 2002, onde nenhuma medida fora feita.

Outra questão que é de fácil observação é a grande variabilidade das medidas na Figura 6.2, essa, é provavelmente, consequência da nebulosidade ou de erro de medida pelo equipamento.

Quando se trata de radiação ultravioleta, os dados mais importantes são aqueles valores máximos, que, para esses o perigo a exposição é maior. Dessa forma, a fim de diminuir a variabilidade das medidas e, portanto, promover uma análise mais acurada do gráfico, eliminou-se dias com energia muito pequena. Dessa forma, estabeleceram-se valores mínimos aceitáveis para cada variável. Esses valores mínimos foram denominados limites mínimos. Adotou-se como limite mínimo para integral diária de energia de Radiação UVB o valor de 1100 J/m^2 . Medidas inferiores a esse valor são dias chuvosos ou muito nebulosos e, portanto, irrelevantes na análise, podendo ser eliminados. Para a energia eritematosa adotou-se 300 J/m^2 como limite mínimo. É o que mostra a Figura 6.3, onde estão traçadas linhas que representam os limites mínimos; pode-se observar que pouquíssimos pontos foram eliminados.

A energia eritematosa e a radiação UVB também foram plotadas para os comprimentos propostos nesta análise. A Figura. 6.4 mostra os dados de Radiação UVB por comprimento de onda para todo o período analisado em escala logarítmica. Em seguida o mesmo foi feito para a energia eritematosa na Figura 6.5.

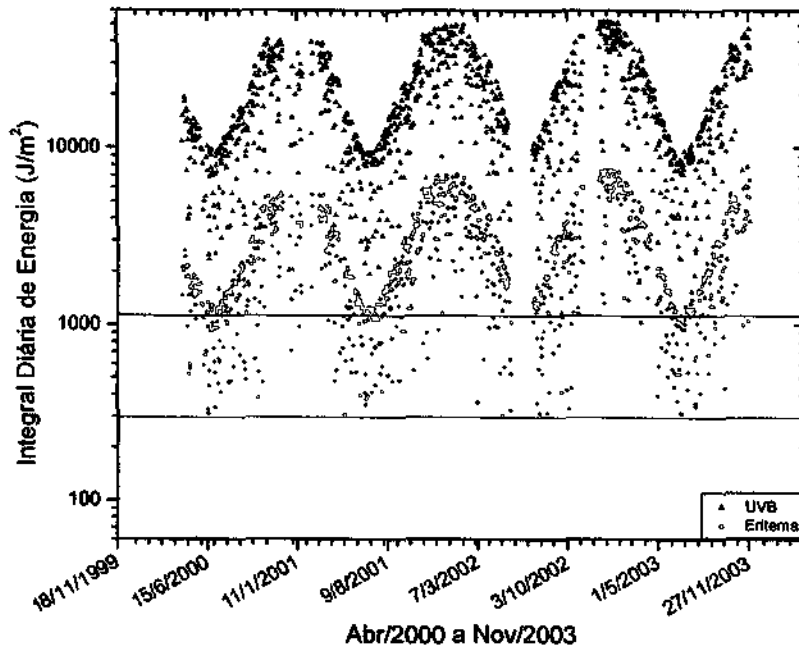


Fig. 6.3 – Dados de integral diária de energia para Radiação UVB e Eritema incidentes no OES/CRSPE/INPE – MCT com limites mínimos em escala logarítmica.

É importante observar na Figura 6.4 que a energia diária vai aumentando com o aumento do comprimento de onda. Se analisarmos o gráfico desta figura, o aumento de energia em J/m^2 do comprimento 300 nm para o comprimento 305 nm, é bem maior do que o aumento de 305 para 310 nm, isso ocorre porque o comprimento 300 nm é mais absorvido na Atmosfera, por gases traço e aerossóis do que os outros dois comprimentos.

Quando se pondera a Radiação UV com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey), obtém-se energia maior para os comprimentos mais nocivos, isso pode ser observado na Figura 6.6, onde a energia diária do comprimento 305 nm, mais nocivo, é maior do que a energia diária do comprimento 310 nm, menos nocivo. Isso ocorre porque o comprimento

310 nm está muito perto da Radiação UVA e de acordo com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) quanto mais se aproxima do UVA, menor é o fator de ponderação. A dúvida que poderia aparecer neste momento é: Por que a energia do 305 nm é maior que a do comprimento 300 nm se este último é mais nocivo? A resposta está intimamente ligada a absorção de cada comprimento na Atmosfera. Como já foi explicado, o comprimento 300 nm é muito mais absorvido na Atmosfera do que o 305 nm. Em virtude dessa absorção maior do 300 nm, a sua parcela de energia que chega à superfície é menor quando comparada a parcela de energia do 305 nm. O fator de ponderação do comprimento 300 nm não é suficiente para compensar a energia que chega à superfície. Dessa forma, o 305 nm se torna mais energético quando ponderado. A ponderação para cada comprimento de onda específico está representada na Figura. 3.13.

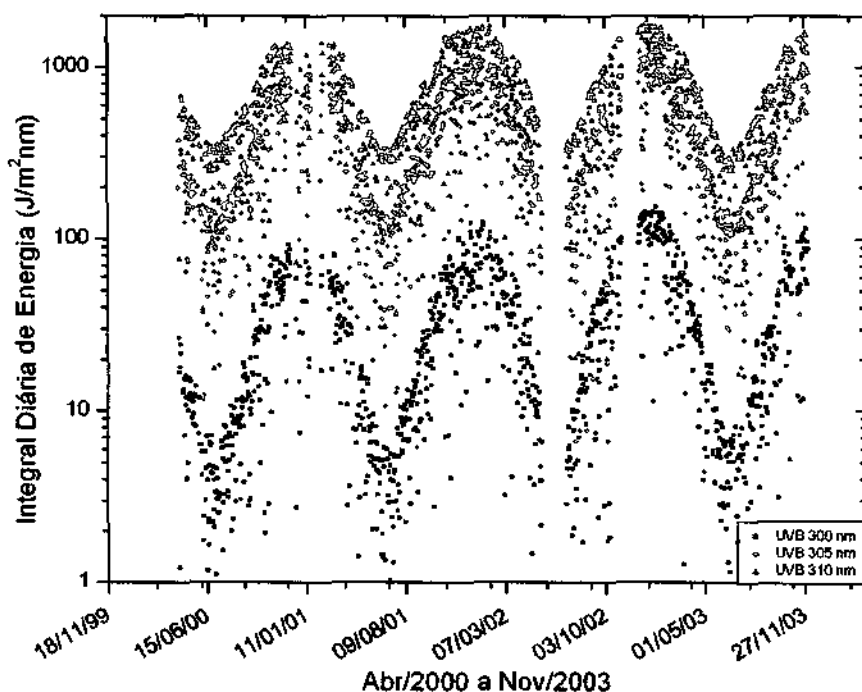


Fig. 6.4 – Dados brutos de energia integrada diária de Radiação UVB incidentes no OES/CRSPE/INPE – MCT para os comprimentos indicados na figura para todo o período analisado, representados em escala logarítmica.

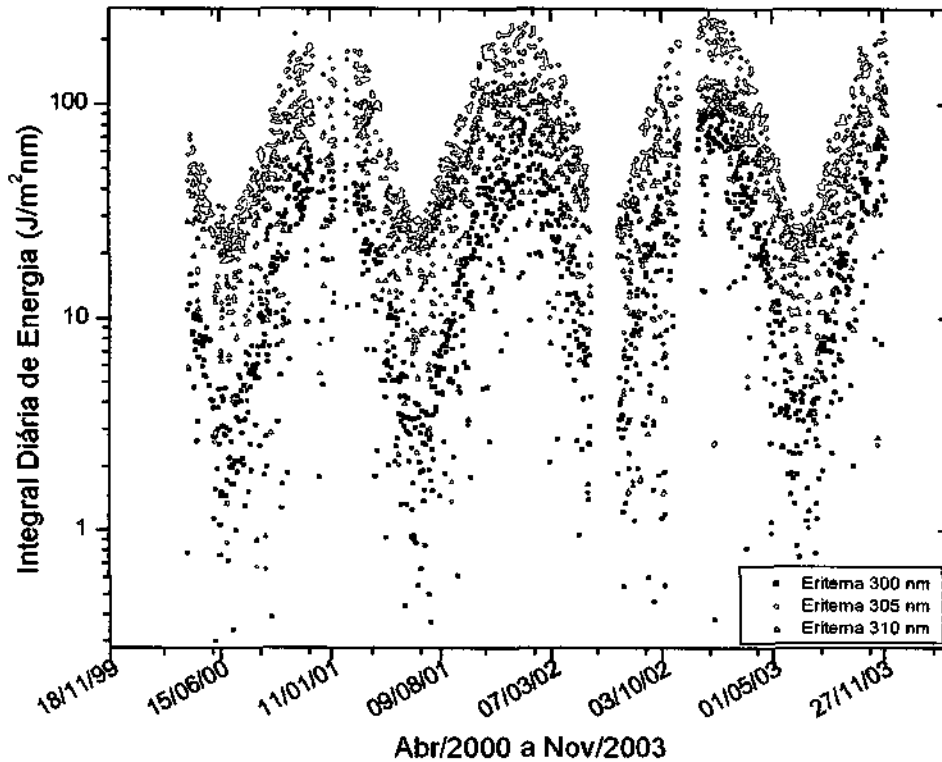


Fig. 6.5 – Dados brutos de integral diária de energia eritematosa incidente no OES/CRSPE/INPE – MCT para os comprimentos de onda indicados na figura para todo o período, representado em escala logarítmica.

Devido a grande variabilidade dos dados de energia por comprimento de onda, procedeu-se da mesma forma que as Figura 6.2, estabeleceu-se limites mínimos de energia e eliminaram-se as medidas abaixo destes limites. Para a Figura 6.3 considerou-se valores muito pequenos e quase insignificantes de energia para o comprimento de onda 300 nm de 2 J/m^2 , para 305 nm de 30 J/m^2 e para 310 nm de 100 J/m^2 , Figura 6.5. O mesmo foi feito para a Figura 6.4, onde os limites mínimos para a energia eritematosa foram de 1 J/m^2 para 300 nm, 10 J/m^2 para 305 nm e 8 J/m^2 para 310 nm, Figura 6.6 .

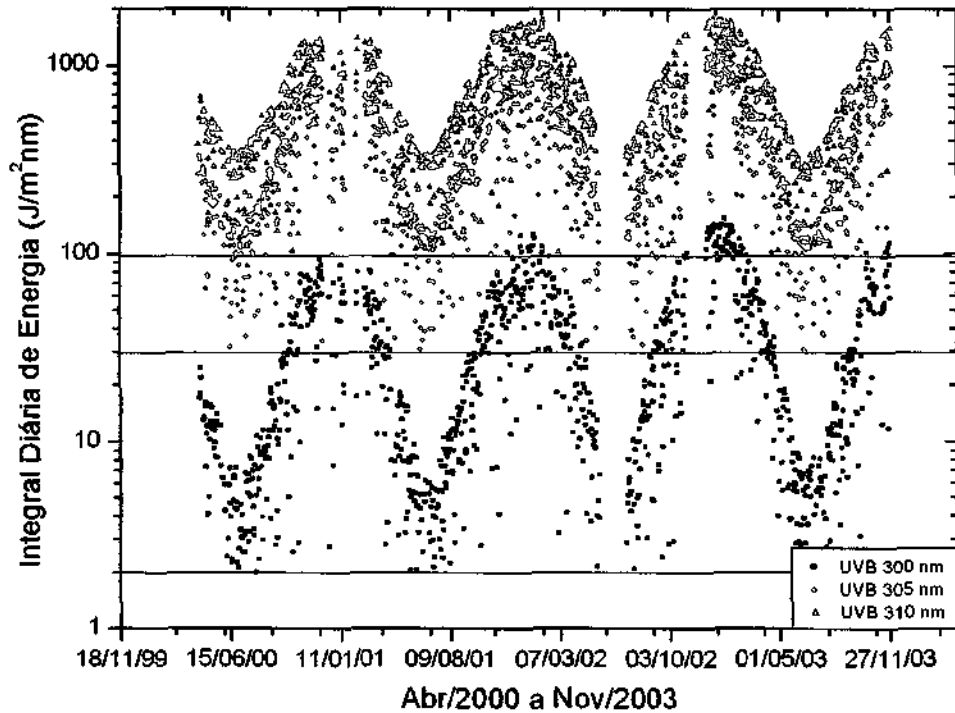


Fig. 6.6 – Dados de Radiação UVB em J/m^2 incidente no OES/CRSPE/INPE – MCT com valores inferiores aos dos limites mínimos eliminados, representado em escala logarítmica.

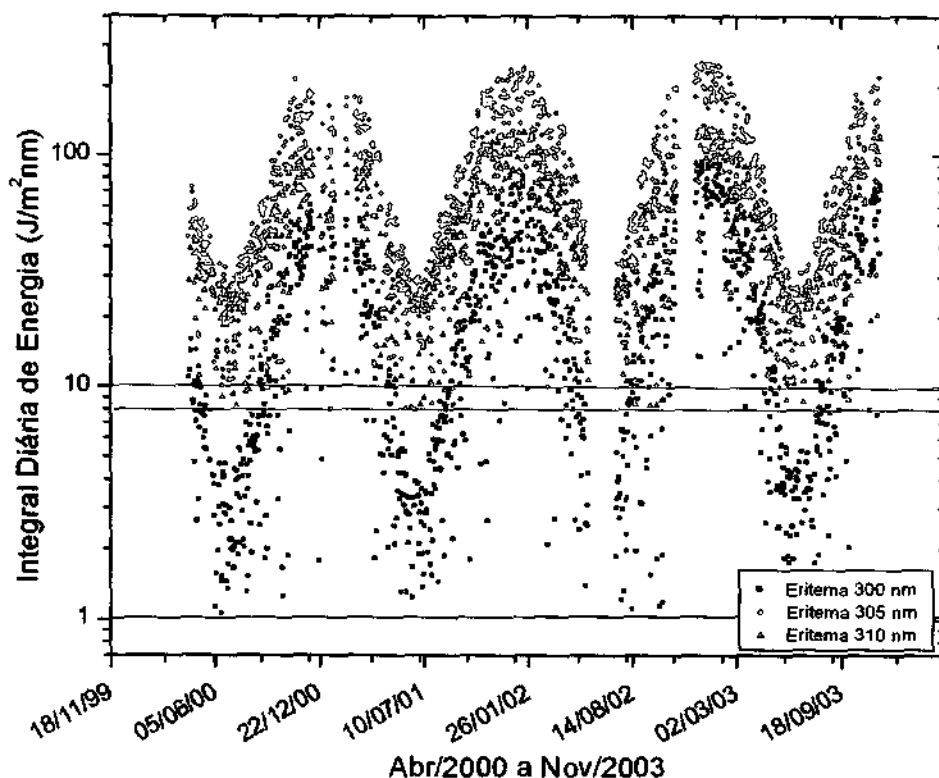


Fig. 6.7 – Dados de energia eritematosa por comprimento de onda incidente no OES/CRSPE/INPE – MCT com os limites mínimos, representados em escala logarítmicos para todo o período analisado.

Uma vez eliminadas as medidas muito baixas, fez-se médias mensais para a Radiação UVB e para o Eritema. Procedeu-se da seguinte forma: calculou-se a média de Radiação UVB e Eritema de cada mês do período e respectivos desvios padrões, obtendo-se assim as médias mensais de cada ano da análise. Após, fez-se uma média mensal para todos os anos.

Nas Figuras 6.8 e 6.9 estão representadas as médias mensais da integral diária de energia para os anos de 2000, 2001, 2002 e 2003 para a Radiação UVB e Eritema e respectivos desvios padrões. Essas curvas foram plotadas juntamente com a curva média do período, linha em vermelho.

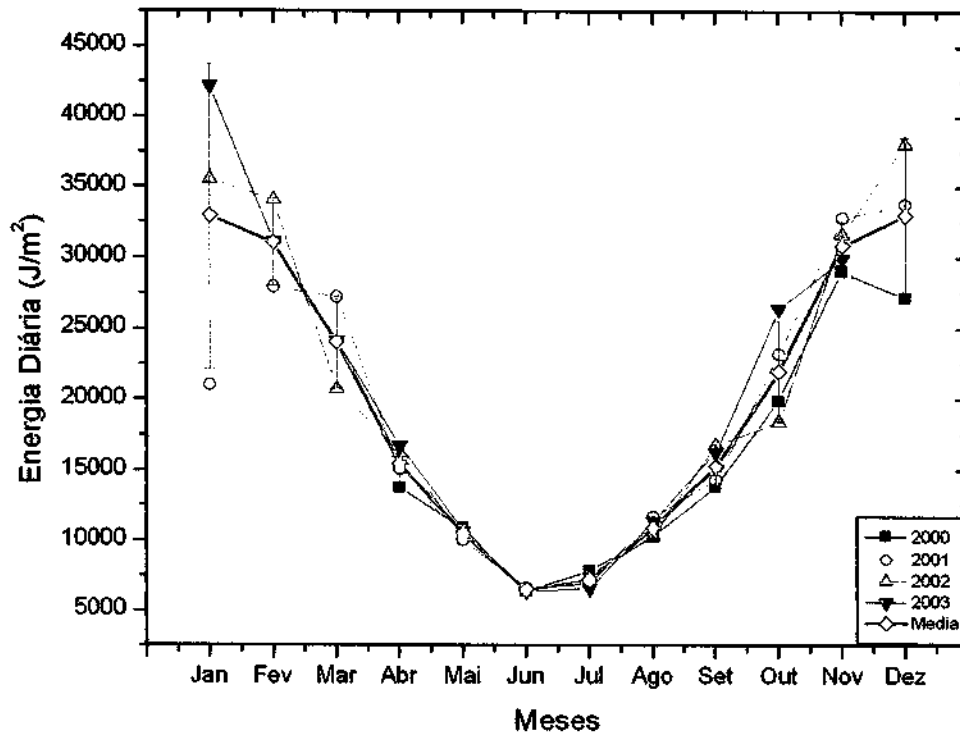


Fig. 6.8 – Médias mensais para cada ano da análise representadas juntamente com a média de todos os anos.

É possível observar a semelhança das curvas, todas apresentando um comportamento sazonal esperado, com valores muito altos nos meses de Dezembro e Janeiro e valores muito baixos nos meses de Junho e Julho. Pode – se observar também que nos meses representativos do verão, Dezembro e Janeiro, ocorrem os maiores desvios padrões, isso ocorre devido àquela variabilidade das medidas apresentada na Figura 6.2 e corrigida na Figura 6.3. Essas correções feitas com limites mínimos não conseguiram eliminar a interferência das nuvens, serviram apenas para diminuir o erro. Para que o efeito da nuvens fosse desconsiderado seria necessária uma análise que contemplasse apenas dias de céu aberto, sem nuvens. Esse tipo de análise será discutida mais adiante neste Relatório.

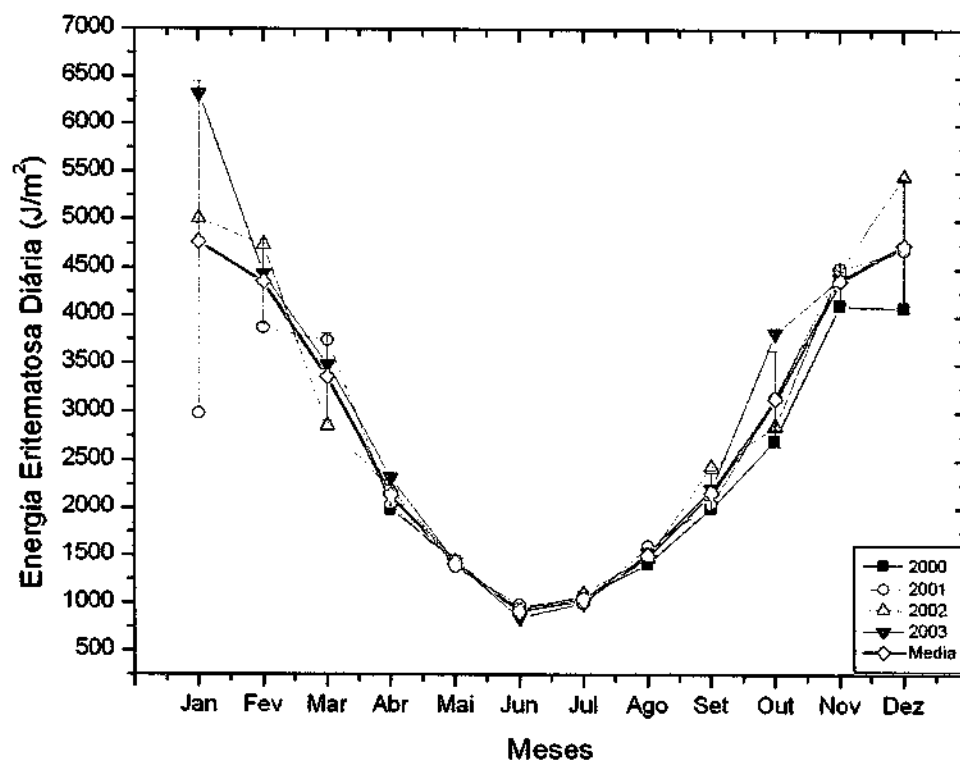


Fig. 6.9 – Médias mensais para os anos indicados de Integral diária de energia eritematosa representados com a média de todo o período.

Médias mensais de energia foram calculadas por comprimento de onda. A fim de ilustrar essas curvas de maneira clara, estão representadas apenas as curvas médias de todo o período analisado, Figura 6.10 (a) e (b), em escala logarítmica.

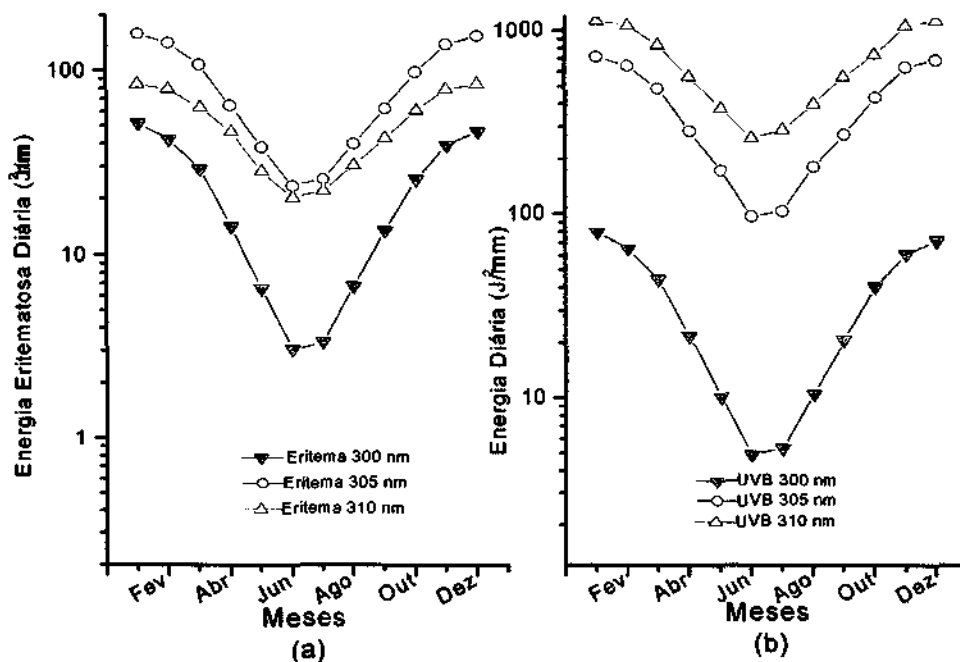


Fig. 6.10 – Médias mensais de energia diária para os comprimentos indicados na Figura (a) energia eritematos e (b) Radiação UVB; representados em escala logarítmica.

A Figura 6.11 ilustra novamente as médias mensais para todo o período para a Radiação UVB e Eritema em escala logarítmica, representadas nas Figuras 6.8 e 6.9, mas dessa vez plotadas com o ângulo solar zenital do ano de 2003 no eixo do lado direito. Foram calculadas médias de energia de Radiação UVB e Eritema para se estimar a razão de energia entre elas, estas estão representadas como linhas horizontais pontilhadas. A razão de energia entre Radiação UVB e Eritema foi estimado em 14 %.

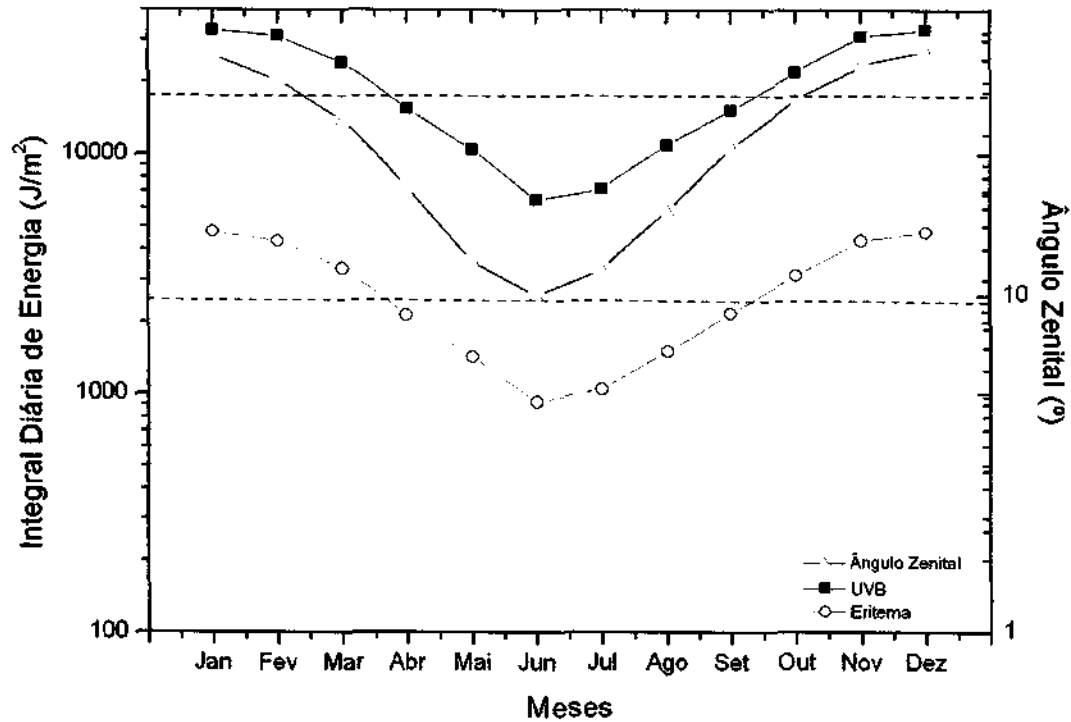


Fig. 6.11 – Médias mensais de Radiação UVB e Eritema plotadas com o ângulo solar zenital de um ano.

Foram plotados os ângulos solares zenitais do ano de 2003 apenas para visualização e comparação das curvas de energia anual com a do ângulo zenital. Em geral este ângulo varia pouco de um ano para outro.

Para comparar as energias de Radiação UVB e Eritema mensalmente, o mesmo gráfico da Figura 6.11 foi plotado em forma de colunas, assim a visualização de diferenças de energias é ainda mais fácil, Figura 6.12

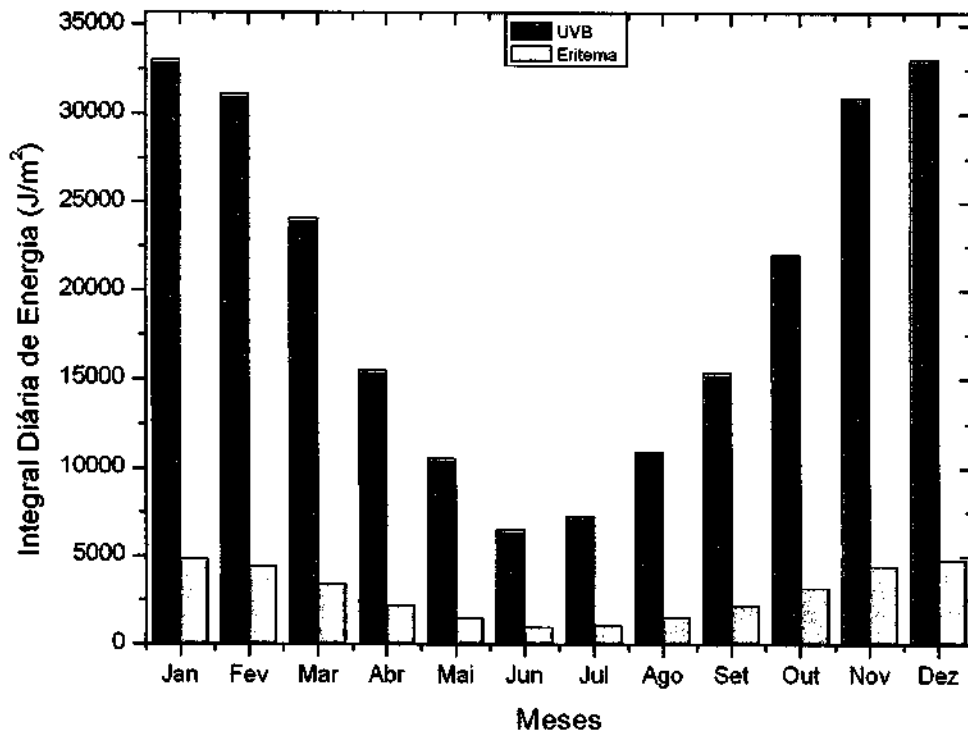


Fig. 6.12 – Médias mensais de energia eritematosa e radiação UVB incidentes no OES/CRSPE/INPE – MCT representadas sob a forma de colunas, em azul está representado a radiação UVB e em vermelho a eritematosa.

Todas essas análises mostradas acima partiram das Figuras 6.3 , 6.4 e 6.5, nas quais foram determinados limites mínimos de energia e as medidas abaixo desses limites eliminadas.



Como foi explicado, esse tipo de correção foi feita considerando que esses valores muito baixos seriam dias muito nebulosos ou até erros de medida do equipamento.

Uma outra análise poderia ser feita trabalhando-se apenas com dias de céu limpo, sem nenhuma interferência de nuvens. Essa análise foi feita e está representada nas Figuras 6.13 e 6.14.

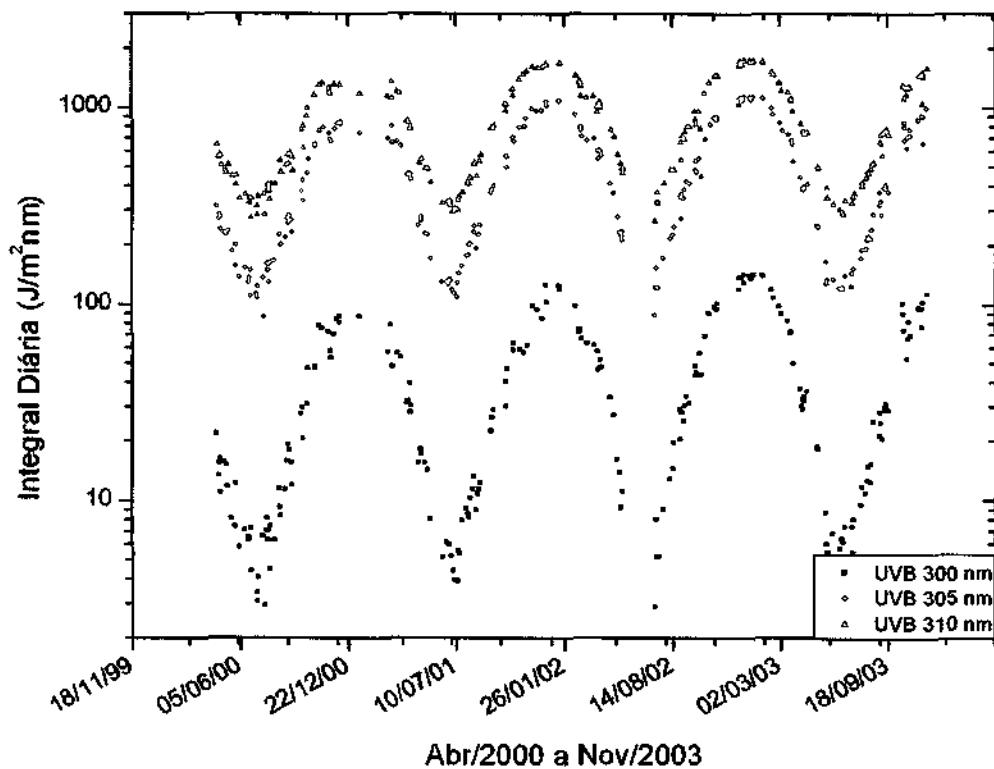


Fig. 6.13 – Integral diária de energia para a Radiação UVB incidente no OES/CRSPE/INPE – MCT para dias de céu limpo, para os comprimentos de onda indicados, representados em escala logarítmica.

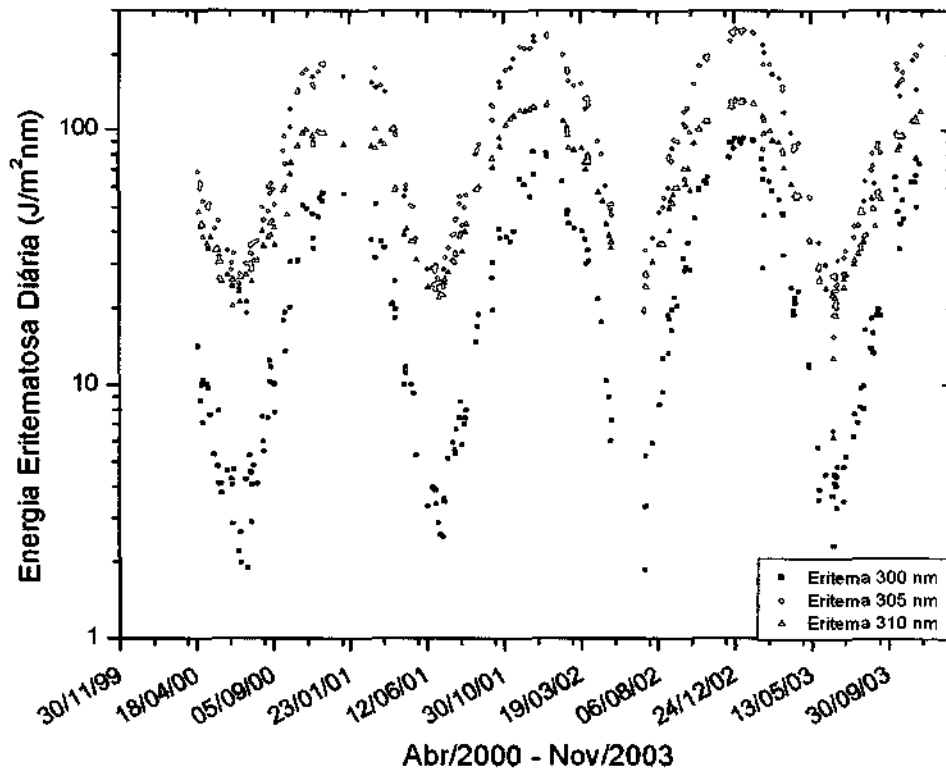


Fig. 6.14 – Integral diária de energia eritematosa incidente no OES/CRSPE/INPE – MCT por comprimento de onda para dias de céu aberto, representado em escala logarítmica.

Não serão feitas médias de energia para essas figuras porque como pode-se observar, são pouquíssimos os dias que contemplam essas figuras se comparadas com as Figuras 6.6 e 6.7. Verificou-se que alguns meses, apresentaram poucos dias de céu aberto, sem interferência de nuvens, dessa forma, as médias mensais não seriam representativas. Apesar disto, é claramente visível o comportamento sazonal com máximos no verão e mínimos no inverno, como observado na análise anterior.



Sabe-se da literatura que o comprimento de onda 300 nm é bastante sensível a variações atmosféricas. A fim de se comprovar isso, fez-se o gráfico da Figuras 6.15, para mostrar apenas qualitativamente o comportamento da radiação UV ao longo do comprimento de onda. Esta análise foi feita para quatro dias do ano de 2003, cada um representa aqui uma estação do ano.

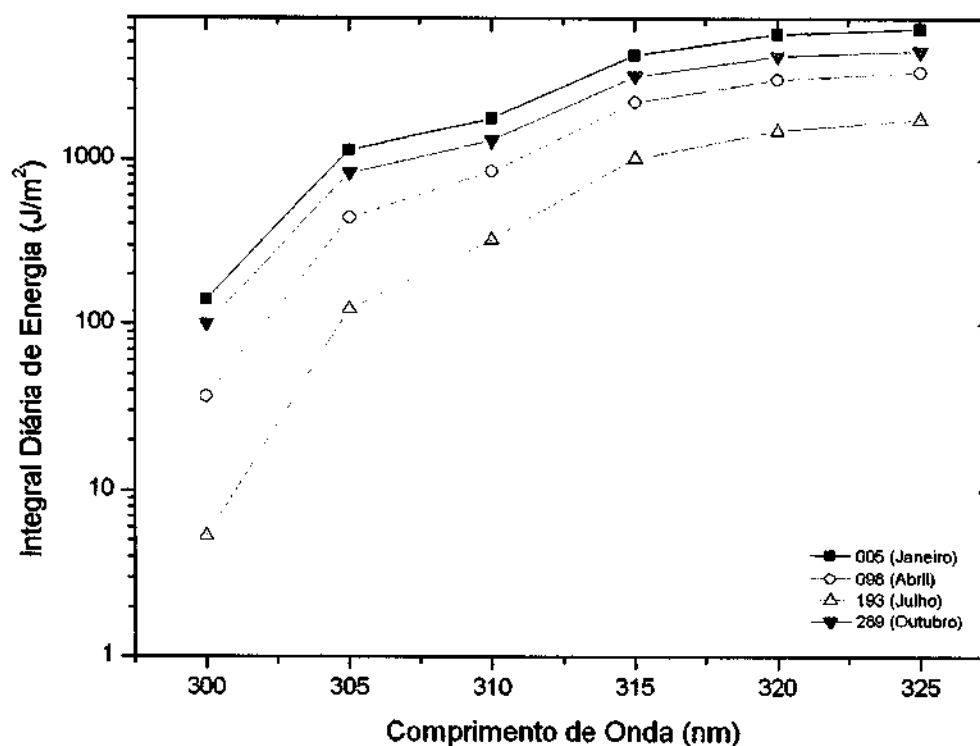


Fig. 6.15 – Energia diária integrada ao longo da faixa de comprimento de onda das Radiações UVA e UVB para quatro dias do ano de 2003, cada um representando uma estação do ano. Representação em escala logarítmica.

A maior inclinação das curvas para a faixa 300 – 305 nm representa a sua maior sensibilidade frente à absorção atmosférica, O₃, SO₂, aerossóis, etc...



6.1 COMPARAÇÕES ENTRE EQUIPAMENTOS

A única comparação entre equipamentos feita foi entre o Espectrofotômetro Brewer e o Biômetro. O Biômetro é o único detector de UV instalado no OES que dá a resposta ponderada com o Espectro de Ação de Eritema (McKinlay-Diffey). Assim, seus dados puderam ser comparados com os dados de energia eritematosa diária do Brewer.

O Biômetro começou a operar em Novembro de 2000, portanto a comparação entre os equipamentos inicia desta data e finaliza em Novembro de 2003 como nas demais análises.

Quis-se aqui, apenas fazer uma comparação qualitativa entre equipamentos diferentes, portanto não foram calculadas médias de energia para os detectores, Figura 6.16. Porém, pode-se observar que os dois equipamentos medem o mesmo comportamento da radiação eritematosa, apresentando uma diferença entre as médias para todo o período de $132,364 \text{ J/m}^2$, sendo que a média de energia medida pelo Biômetro 5% maior que a do Brewer.

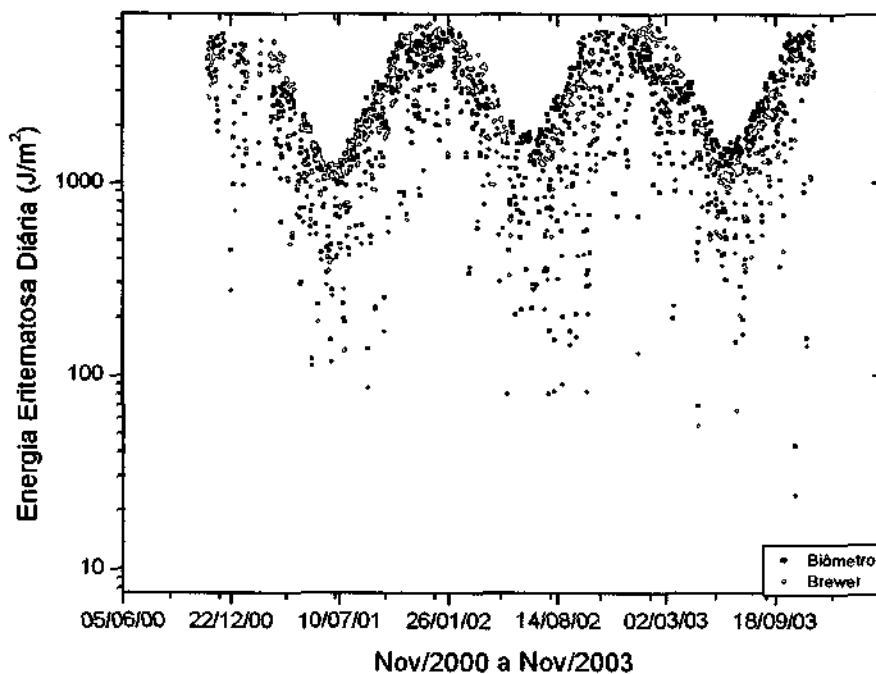


Fig. 6.16 – Energia eritematosa diária para os equipamentos Brewer e Biômetro para o período de Novembro de 2000 a Novembro de 2003, representados em escala logarítmica.



CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Com base nas inúmeras análises desenvolvidas neste trabalho e apresentadas neste Relatório, muitas são as conclusões.

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 com 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 devida principalmente à variação do ângulo solar zenital.

Para os meses do verão foram encontrados erros muito maiores que os meses do inverno, isso é devido à maior incidência de dias nebulosos no verão.

Da análise por comprimento de onda, pode-se concluir que a Radiação UVB apresenta aumento de energia com o aumento do comprimento de onda e que o comprimento de onda 300 nm é muito mais vulnerável à variações atmosféricas.

Quando a Radiação UV é ponderada com o Espectro de Ação (Mckinlay-Diffey), o comprimento 305 nm se torna o de maior energia, por ser bastante nocivo e por ser menos absorvido na Atmosfera.

Da comparação de Radiação UVB e Eritema conclui-se que em média, 14% da radiação incidente no OES é eritematosa.

Os equipamentos Brewer e Biômetro apresentaram uma boa comparação, seus comportamentos se mostraram bastante semelhantes e com uma diferença de energia muito pequena.



Durante este trabalho, analisou-se o comportamento da radiação UV apenas no período de 2000 a 2003. Porém, para uma análise mais significativa seria necessária a redução de um período maior de dados.



CAPÍTULO 8

PERSPECTIVAS DE ATIVIDADES FUTURAS

O estudo proposto para a Radiação UV foi realizado para o período 2000 a 2003. Tem-se como perspectiva futura estender essa análise para todo o período de dados disponível, ou seja, de 1994 a 2004, totalizando onze anos.

Como foi apresentado neste trabalho, existem muitos outros detectores de UV instalados no OES. Uma comparação das medidas desses equipamentos viria a complementar essa análise, mesmo que o período de dados disposto para os demais equipamentos não seja tão extenso quanto o do Brewer.

Outra perspectiva de atividade futura é ponderar a Radiação UV incidente no Observatório Espacial do Sul com outros espectros de ação, tais como: DNA, Esporos, entre outros.



CAPÍTULO 9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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 NO₂ as a function of temperature. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. D6, p. 7105 – 7112, June 1988.
- Guarnieri, F. L. **Radiação Ultravioleta** (Trabalho de Geofísica Espacial I – Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio de 1999.
- Guarnieri, R. A. **Correlação entre a Coluna Total de Ozônio e a Radiação Ultravioleta do tipo B incidente na Região Central do Rio Grande do Sul**. (Relatório de Atividades PIBIC) – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, Santa Maria, Janeiro de 2001.
- Green, A. E. S. Attenuation by ozone and earth's albedo in the middle ultraviolet. **Applied Optics**, v. 3, n. 2, p. 203 – 209, Feb. 1964.
- 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.



- Kirchhoff, V. W. J. H. **Ozônio e Radiação UV – B.** São José dos Campos: Transtec Editorial, 1995. 73p.
- 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.
- Krzýscin, J. – 1996 - UV controlling factors and trends derived from the ground-based measurements taken at Belks, Poland, 1976 – 1994. **Geophys Res.**, **101 (D11)**: 16797 – 16805.
- 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.
- McGee, T. J.; Burris Jr, J. SO₂ absorption cross sections in the near uv. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 37, n.2, p. 165 - 182, 1987
- Mézáros, E. **Global and regional changes in atmospheric composition.** Boca Raton: Lewis, 1993, 185 p.
- McCartiney, E. J. **Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles,** New York; John Willey & Sons, 1976, 408 p.
- Michelangeli, D. V.; Allen, M.; Yung, Y. L.; Shia, R. L.; Crisp, D.; Eluszkiewics, J. Enhancement of atmospheric radiation by an aerosol layer. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D1, p. 865 – 874, Jan. 1992.



- 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.
- 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 atmosphere**. Tokyo: Terra Scientific, 1985. 443p.
- Summers, M. E. 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, 1971.
- World Meteorological Organization (WMO). **Scientific Assessment of ozone Depletion: 1998**. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 44, Geneva, 1999.
- Roy, C.R.; Gies, H. P.; Tomlinson, D. W. Effects of ozone depletion on the ultraviolet radiation environment at the Australian stations in Antarctica, **Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and biological effects**, **Antarctic Research Series**, v. 62, p. 1-15, 1994.
- Whitten, R. C.; Prasad, S. S. **Ozone in Free Atmosphere**, New York, Van Nostrand, 1985. 298p.
- Walker, J. C. G. **Evolution of the atmosphere**. New York: Macmillan, 1977, 329p.
- Wameck, P. **Chemistry of the natural atmosphere**. Boston: Academic, 1988, 770 p.
- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, Página da internet, http://satellite.cptec.inpe.br/uv/R-UV_e_pele.html, consulta realizada no dia 15 de Abril de 2004.



Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
http://www.labgis.uerj.br/gis_atualizada/sensoriamento/onda.html#ray, Página da internet,
consulta realizada no dia 10 de Fevereiro de 2004.

National Aeronautics and Space Administration, <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>, Página da
Internet, consulta realizada no dia 23 de Abril de 2004.

National Aeronautics and Space Administration,
<http://stimpv.chem.selu.edu/nasa/spectrum.gif>, Página da Internet, consulta realizada no dia
23 de Abril de 2004.

Physical Geographic, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html>, Página da
Internet, consulta realizada dia 08 de Abril de 2004.



CAPÍTULO 10

ATIVIDADES EXTRACURRICULARES

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS, COM TRABALHOS PUBLICADOS:

Ao longo do período da bolsa, o bolsista participou de inúmeros eventos de iniciação científica:

1. PRIMEIROS RESULTADOS DA ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS OBTIDOS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL –

Samara Carbone, Ricardo A. Guarnieri, Liana F. Padilha, Leonardo A. Biazzi, Robinson L. Manfro, Diovani L. Rossatto, Natanael Hermes, Ederson Gratieri, Augusta M. P. Schuch, Nelson J. Schuch, Damaris K. Pinheiro.

XVIII CRICTE – CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA; evento realizado em Itajaí – SC nos dias 9, 10 e 11 de Outubro de 2003.

2. ANÁLISE DE FOCOS DE QUEIMADAS SOBRE O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 1996 A 2000.

Robinson L. Manfro, Leonardo A., Biazzi, Ricardo A. Guarnieri, **Samara Carbone**, Natanael Hermes, Liana F. Padilha, Diovani Rossato, Ederson Gratieri, Augusta M. P. Schuch, Nelson J. Schuch, Damaris K. Pinheiro.

XVIII CRICTE – CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA; evento realizado em Itajaí – SC nos dias 9, 10 e 11 de Outubro de 2003.



3. CORRELAÇÃO DE PICOS DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO EM FOCOS DE QUEIMADAS

Leonardo A. Biazi, Robinson L. Manfro, Ricardo A. Guarnieri, **Samara Carbone**, Natanael Hermes, Liana F. Padilha, Diovani Rossato, Ederson Gratieri, Ugusta M. P. Schuch, Nelson J. Schuch, Damaris K. Pinheiro.

XVIII CRICTE – CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA; evento realizado em Itajaí – SC nos dias 9, 10 e 11 de Outubro de 2003.

4. DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA ÓPTICA ATMOSFÉRICA A PARTIR DO MÉTODO DE LANGLEY

Samara Carbone, Damaris K. Pinheiro, Diovani L. Rossatto, Éderson Gratieri, Augusta M. P. Schuch, Nelson Jorge Schuch.

XVII JAI – JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA; evento realizado em Santa Maria nos dias 14, 15 e 16 de Outubro de 2003

5. COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE OZÔNIO NAS REGIÕES DE SANTA MARIA E PUNTA ARENAS NO PERÍODO DE 2000 A 2002.

Diovani L. Rossato, Damaris K. Pinheiro, Liana F. Padilha, **Samara Carbone**, Augusta M. P. Schuch, Nelson J. Schuch.

XVII JAI – JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA; evento realizado em Santa Maria nos dias 14, 15 e 16 de Outubro de 2003.



6. ANÁLISE DAS MEDIDAS DE RADIAÇÃO UV-B OBTIDAS EM SÃO MARTINHO DA SERRA E PUNTA ARENAS NO PERÍODO 2001-2002 E OBSERVAÇÃO DE EFEITO DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO

Guarnieri, Ricardo A.; Padilha, Liana F.; Rossato, Diovani; **Carbone, Samara**; Manfro, Robinson; Makita, Kazuo; Macmahon, Ricardo M; Pinheiro, Damaris Kirsch; Schuch, Augusta Maria Passaglia; Boeira, Lucia Schuch; Schuch, Nelson Jorge.

VIII SBGF - CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA; evento realizado no Rio de Janeiro – RJ, nos dias 14, 15, 16, 17 e 18 de Setembro de 2003.

7. UV-B RADIATION BEHAVIOR AT SOUTHERN SPACE OBSERVATORY (29.4°S, 53.8°W): 2000 – 2003 BREWER DATA – COLAGE 2004

Carbone, S., Padilha, L. F., Guarnieri, R. A., Rossatto, D. L., Manfro, R. L., Hermes, N. A., Biazi, L. A., Schuch A. M. P., Pinheiro, D. K., Boeira, L. S., Schuch, N. J.

VII COLAGE - CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE GEOFÍSICA ESPACIAL, evento realizado em Atibaia – SP, nos dias 29, 30, 31, 1 e 2 de Março e Abril de 2004.

8. UV-INDEX MEASUREMENTS IN SOUTHERN BRAZIL FROM 2000 TO 2003
Padilha, L. F., **Carbone, S.**, Guarnieri, R. A., Rossatto, D. L., Manfro, R. L., Biazi, L. A., Schuch A. M. P., Pinheiro, D. K., Boeira, L. S., Schuch, N. J.

VII COLAGE - CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE GEOFÍSICA ESPACIAL, evento realizado em Atibaia – SP, nos dias 29, 30, 31, 1 e 2 de Março e Abril de 2004.