

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL (OES/CRSPE/INPE)
ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE
DE SATÉLITES (ETRC/CRSPE/INPE)**

**LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO
ATMOSFÉRICO**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC – CNPq

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

Título do Projeto:

**CORRELAÇÃO ENTRE A COLUNA TOTAL DE OZÔNIO E
A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA DO TIPO B INCIDENTE NA
REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Bolsista:

Leandro von Mühlen

Orientador:

Lucia Schuch Boeira

Santa Maria, Julho de 2001.

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

→ NOME DO ACADÊMICO BOLSISTA

Leandro von Mühlen

Curso de Engenharia Química
Universidade Federal de Santa Maria

→ LOCAL DE TRABALHO

CRSPE/INPE – LACESM/CT/UFSM
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO

→ ORIENTAÇÃO

Dra. Lucia Schuch Boeira – Orientadora
Dr. Nelson Jorge Schuch – Colaborador Especial

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	OZÔNIO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	5
1.2	O LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA (LACESM/CT/UFSM), O PROJETO RA E A IMPLANTAÇÃO DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CRSPE/INPE)	6
1.3	O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO E O ACOMPANHAMENTO DO COMPORTAMENTO DA CAMADA DE OZÔNIO E DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA INCIDENTE	8
2	OBJETIVOS	9
2.1	OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO	10
3	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	10
3.1	RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	10
3.1.1	A Emissão de Radiação pelo Sol	10
3.1.2	A Radiação Ultravioleta Solar na Atmosfera Terrestre	12
3.1.3	A atenuação da Radiação UV Solar na Atmosfera Terrestre	14
3.1.4	Variação da Intensidade de Radiação UV	16
3.1.5	Radiação UV Difusa	17
3.1.6	Incidência Latitudinal, Sazonal e do Ângulo Zenital	18
3.1.7	Albedo e Cobertura de Nuvens	20
3.1.8	Poluição Urbana e Aerossóis	21
3.1.9	Sensibilidade Biológica da Radiação UV	21
3.2	O OZÔNIO ATMOSFÉRICO	23
3.2.1	Definição da Unidade Dobson	26
3.2.2	Distribuição De Ozônio Na Atmosfera Terrestre	27
3.2.3	O Buraco-De Ozônio Antártico	29
4	METODOLOGIA	41
4.1	SISTEMA METEOROLÓGICO W 9000	42
4.1.1	Descrição Técnica do Sistema	42
4.1.2	Microsonda MARK II	43
4.1.3	Ozônio-Sonda ECC	45
4.2	ESPECTROFOTÔMETRO BREWER	47
4.2.1	Dados Coletados pelo Brewer	51
4.3	BIÔMETRO	52
4.4	RADIÔMETRO UV-B MS-210W	52
4.5	SOFTWARE BREWER UV DATA FILES ANALYSIS PROGRAM	53
4.6	DADOS DE OZÔNIO OBTIDOS PELO EQUIPAMENTO TOMS	55
5	ATIVIDADES DO BOLSISTA	57
5.1	VISITAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL	57
5.2	PARTICIPAÇÃO NO PREPARO E LANÇAMENTO DE SONDAS	57
5.3	MANUTENÇÃO E COLETA DE DADOS DO BREWER	58

5.4	ELABORAÇÃO DE TABELA PARA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS	62
5.5	CALIBRAÇÃO DO MONITOR DE UV-B DO BREWER	62
5.6	ANÁLISE DE DADOS DE UV NO PROGRAMA UVBREWER	63
5.6.1	Criação dos Arquivos UVR.....	63
5.6.2	Reprocessamento dos Arquivos UV.....	64
5.6.3	Determinação do Máximo Índice-UV Diário.....	66
5.7	MANUTENÇÃO E COLETA DE DADOS DO RADIÔMETRO UV-B.....	67
5.8	DADOS E IMAGENS GERADOS PELO EQUIPAMENTO TOMS.....	67
5.9	CORRELAÇÕES, GRÁFICOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	68
6	RESULTADOS	69
6.1	MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO UV	69
6.2	COMPARAÇÃO DE DOIS EQUIPAMENTOS MEDIDORES DE UV - VERIFICAÇÃO DE PROBLEMAS NA CORRELAÇÃO DE DADOS.....	71
6.3	ACOMPANHAMENTO DOS ÍNDICES ULTRAVIOLETA	79
6.4	ESTIMATIVA DO MÁXIMO ÍNDICE ULTRAVIOLETA USANDO DADOS DO RADIÔMETRO.....	81
6.5	CORRELAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE OZÔNIO DO BREWER E DO TOMS	84
6.6	CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE OZÔNIO E RADIAÇÃO UV	86
6.7	ELABORAÇÃO DE TABELAS PARA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	89
6.8	CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE OZÔNIO COLETADOS COM O BREWER E COM ESTIMATIVAS DE DADOS DE SONDAGENS	90
6.9	MONITORAMENTO DA CAMADA DE OZÔNIO	90
7	CONCLUSÕES.....	91
8	AGRADECIMENTOS.....	93
9	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	94
10	ANEXOS	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 OZÔNIO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Um dos gases minoritários mais importantes da Atmosfera Terrestre é o ozônio (O_3), porque participa ativamente da química da Atmosfera, tanto na Troposfera quanto na Estratosfera. Denomina-se minoritário devido à sua abundância relativa, sendo sua concentração variável com a altura e a sua razão de mistura é da ordem de dezenas de partes por milhão na Atmosfera. Além disso, pode-se verificar, com base em conceitos físicos, que se quase todo ozônio contido numa coluna de Atmosfera fosse comprimido à temperatura e pressão padrão ocuparia uma altura com máximo de 3 mm. (em comparação a toda Atmosfera que teria altura de 8,4 Km).

Na Estratosfera o ozônio atua como um elemento que absorve a radiação solar no ultravioleta, tendo seu máximo de absorção nos comprimentos de onda na faixa de Hartley, de 200 a 310 nm. Esta faixa contém parte da radiação ultravioleta B (UVB – de 280 a 320 nm), a qual tem efeitos danosos para os seres vivos. Acima de determinadas doses, a radiação UVB é letal para organismos unicelulares e para as células superficiais de plantas e animais superiores. Mudanças na concentração de ozônio também trariam conseqüências climatológicas, pois alterariam o perfil de temperatura da Atmosfera.

A Atmosfera Terrestre está sofrendo um processo de mudança, e a ação do homem é um importante elemento forçante. A injeção de gases de origem antropogênica na Atmosfera vem alterando sua composição química, e conseqüentemente a sua estrutura térmica e dinâmica. Por exemplo, a injeção de compostos de cloro desde meados do século XX na Atmosfera constitui uma fonte de elementos destruidores do ozônio atmosférico. A descoberta nas últimas duas décadas da redução do ozônio atmosférico global e o fenômeno do Buraco de Ozônio Antártico despertou uma preocupação na comunidade científica quanto à possibilidade de aumentar a intensidade de Radiação Ultravioleta (UV) Solar na superfície terrestre. Conseqüentemente o interesse por medidas de Radiação UV Solar vem crescendo.

A análise dos dados de satélites e de medidores de superfície mostra uma forte tendência de decréscimo do ozônio total a nível global. Bojkov et al. (1995) analisaram os dados de 46 estações utilizando o Espectrofotômetro Dobson, para o período de 1964 – 1994, encontraram tendências de declínio no ozônio em médias latitudes (35° – 60°) de $-4,3$ %/década e $-4,1$ %/década para os hemisférios Norte e Sul, respectivamente, desde janeiro de 1979. Dados do instrumento TOMS (*Total Ozone Spectrometer Mapping*) apresentam tendências de decréscimo na década de 1980 para a faixa latitudinal de 45° N e 45° S de -3 %/década para o hemisfério Norte e $-4,3$ %/década para o hemisfério Sul. Uma redução significativa no ozônio total pode acarretar um aumento apreciável no fluxo ultravioleta solar na superfície terrestre. Estima-se que uma redução de 1 % no ozônio total possa causar um aumento de 1,2 % na radiação UV biologicamente ativa.

A medida de Radiação UV Solar na superfície é extremamente difícil devido à sua pequena intensidade e à falta de radiômetros confiavelmente calibrados e sensíveis apenas ao UV Solar. Além disso, a incerteza na estabilidade dos detectores padrões e métodos de calibração tornaram difícil a manutenção da precisão a longo prazo. Devido a estes fatos, a detecção de uma tendência a longo período para a intensidade superficial terrestre da Radiação Ultravioleta é mais difícil do que a detecção da redução do ozônio atmosférico. Além das dificuldades instrumentais, também deve-se considerar o fato da radiação solar na superfície terrestre ser uma função de muitas variáveis, como por exemplo o ângulo solar de zênite, do inglês *solar zenith angle* – *sza*, a latitude geográfica, a altitude, o ozônio total, a coluna atmosférica de aerossóis, a nebulosidade, o albedo superficial, entre outros fatores. Portanto, para a detecção de uma tendência na radiação UV associada a redução no ozônio atmosférico são necessárias observações de longo período e um estudo comportamental da Radiação UV e suas variações em função das várias variáveis das quais ela é dependente.

O estudo da ação da Radiação UV é muito importante nos países tropicais levando-se em conta que naturalmente a Camada de Ozônio já é mais delgada na região equatorial, e a Radiação Solar mais intensa, o que faz com que países como o Brasil detenham maiores Índices de Radiação UV do Planeta. Uma redução no ozônio implicaria num aumento ainda maior deste Índice UV.

Além do problema do declínio global do ozônio atmosférico, há ainda o fenômeno conhecido como o Buraco de Ozônio Antártico, uma grande redução na coluna total de ozônio sobre o Continente Antártico na primavera austral. Embora a Antártica seja uma região despovoada, Efeitos Secundários deste fenômeno já se fizeram sentir sobre o Continente Sul-Americano, em regiões densamente povoadas, conforme o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em convênio com a UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, observaram em 1993, no Brasil, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul e em Punta Arenas no Chile por várias ocasiões. Em Punta Arenas, em especial, o INPE em convênio com a Universidade de Magalhães, observou durante a passagem do Buraco de Ozônio Antártico sobre a localidade, uma forte redução do ozônio. Em consequência deste fato os níveis da intensidade da radiação UV-B, em 296 nm – 297 nm, apresentaram um aumento de pelo menos dez vezes em relação a períodos de normalidade de ozônio. As observações mostram que uma redução, mesmo que temporária, na Coluna Total de Ozônio, provoca um aumento da Radiação UV na superfície terrestre significativo nos comprimentos de onda $\lambda < 320$ nm.

1.2 O LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA (LACESM/CT/UFSM), O PROJETO RA E A IMPLANTAÇÃO DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CRSPE/INPE)

Em 13 de outubro de 1973 foi criado o Núcleo de Estudos e Pesquisas Aeroespaciais – NEPAE, o qual teve sua designação alterada para Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM, em 1995. O LACESM é um órgão

setorial administrativamente vinculado a Direção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. O LACESM é o órgão executor do Projeto Radioastronomia – Projeto RA. No princípio, porém, quando da concepção do NEPAE, a idéia era capacitá-lo para operar uma pequena estação de rastreamento de satélites em convênio com o INPE. A estação foi equipada com o Sistema de Recepção de Fotografias de Satélites Meteorológicos APT/102; o sistema funcionou por pouco tempo sendo desativado e por consequência o convênio foi interrompido.

Em 1986, por ocasião do início da implantação do Projeto Radioastronomia (RA), a estrutura técnico-científica e administrativa do NEPAE foi totalmente remodelada. O NEPAE teve a sua estrutura adequada para atender novos objetivos do Núcleo, agora vinculados à execução do Projeto Radioastronomia. Foi assegurada a participação do INPE no Projeto RA via documento do Diretor de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE em 1985. Portanto, o INPE participa do Projeto RA desde o seu princípio.

Um termo de Convênio entre o INPE e a UFSM foi formalmente assinado em Santa Maria no dia 11/04/1988, com a participação do Ministro da Ciência e Tecnologia.

Em 1993, o Coordenador do Projeto Radioastronomia, Dr. Nelson Jorge Schuch, solicitou um financiamento via os convênios INPE-UFSM, FINEP-UFSM e CNPq/ON-UFSM, visando a construção de um Observatório e do Radiointerferômetro do Projeto. Na primeira fase, no Sítio de observações utilizado pelo LACESM, na região do Rincão dos Negrinhos, em São Martinho da Serra, distrito emancipado de Santa Maria, hoje Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – UFSM, seriam executados o levantamento topográfico/geológico e magnético visando a construção do Radiointerferômetro, construção do Radiointerferômetro piloto no OES/LACESM, transferência dos equipamentos instalados provisoriamente no campus da UFSM e construção de um mini-prédio de alvenaria, para abrigar os equipamentos de controle das antenas piloto (hoje Prédio 1 do OES).

O INPE vem colaborando de forma ininterrupta e sistematicamente com a UFSM promovendo e apoiando o desenvolvimento das Ciências Espaciais e Atmosféricas no Rio Grande do Sul, desde 1985, quando assegurou a sua participação no Projeto RA, tendo sido assinado o convênio INPE-UFSM em 1988.

Em 1992, no âmbito da Cooperação da UFSM com o INPE, foi instalado em Santa Maria um Espectrofotômetro Brewer MKIV para acompanhar o comportamento da Camada de Ozônio no sul do Brasil e paralelamente estudar a possibilidade de utilizar o Ozônio Atmosférico como traçador indireto de rádio-interferência para o Projeto RA. O Brewer MK IV mede as colunas totais de O₃, NO₂ e SO₂. Com o apoio da FAPERGS, em 1994, foi adquirido e instalado no Brewer um detector de Radiação Ultravioleta Solar para monitorar a intensidade da radiação solar na faixa do UVB 290-325 nm.

A partir do comprovado sucesso do desenvolvimento e da sistemática superação de dificuldades imposta a consolidação do Projeto RA e do LACESM, a Direção do INPE demonstrou interesse em instalar no Sul do País um complexo de Pesquisas Espaciais, consolidando os objetivos da Política Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais – PNDAE. Diante deste interesse, em 1996 foi assinado o Convênio MCT/INPE – UFSM, para implantação do CENTRO REGIONAL SUL DE PEQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE, incluindo

subprojetos da ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE SATÉLITES – ETRCS/CRSPE/INPE, em Santa Maria, e do OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra, RS.

Santa Maria, com o LACESM e com o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE e sua sub-unidade, o Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra, apresentam as condições logísticas e antropogênicas ideais do Sul do País para dar suporte a uma Cooperação Científica Internacional de longo período, 12 anos (abrangendo no mínimo um período completo do ciclo solar de 11 anos), como a do Brasil/Japão em Ciências Espaciais Básicas, que tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos físico-químicos que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS (anomalia caracterizada por apresentar uma menor intensidade total do campo geomagnético favorecendo uma maior penetração de partículas carregadas na alta Atmosfera).

Em 1996, com apoio do CEA/INPE e da UFSM/LACESM foram aprovados os primeiros projetos por órgãos do Governo Japonês na Cooperação Internacional Brasil – Japão, em Ciências Espaciais Básicas, para estudo de fenômenos relacionados à Anomalia Magnética do Atlântico Sul, com coordenação pelo lado brasileiro do LACESM/CT/UFSM e do CEA/INPE, e coordenação pelo lado japonês do *National Institute of Polar Research*.

1.3 O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO E O ACOMPANHAMENTO DO COMPORTAMENTO DA CAMADA DE OZÔNIO E DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA INCIDENTE

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, no Sul do Brasil, em Santa Maria, foi, inicialmente, concebido com a agregação de equipamentos sofisticados, que foram emprestados temporariamente pelo INPE e outras instituições nacionais e estrangeiras. A Cooperação Nacional Interinstitucional, via Convênio INPE/MCT – UFSM, visa desenvolver as Ciências Espaciais Básicas, estudar a Física e a Química da média e baixa Atmosfera, com o monitoramento sistemático da concentração do conteúdo do Ozônio Atmosférico e da Camada de Ozônio Terrestre no extremo Sul do País, por métodos indiretos via análise da luz solar por rastreamento do Sol, com Espectrofotômetro do tipo Brewer e métodos diretos, por rádio sondagens via balões estratosféricos, determinando a concentração do Ozônio em função da altura na Troposfera e Estratosfera Terrestres.

Em outubro de 1992, a equipe do LACESM/UFSM e do CNPq/ON observou uma diminuição significativa da Camada de Ozônio em Santa Maria. O fato causou um certo espanto, uma vez que não se esperavam ocorrer fatos semelhantes ao "Buraco da Camada de Ozônio na Antártica", em latitudes tão baixas quanto às de Santa Maria (30°S). As equipes do LACESM/UFSM e do Laboratório de Ozônio/INPE decidiram que uma missão específica para novas observações intensivas seria efetuada na saída do inverno de 1993, com concentração das atividades em meados da primavera nos meses de outubro/novembro de 1993, com o objetivo de confirmar as observações de

diminuição da concentração de Ozônio em 1992 e, se possível, procurar correlacionar o fenômeno com as características e problemáticas da Antártica. Em 1993, foram instalados em locais distintos, em Santa Maria e em Itaara, dois Espectrofotômetros Brewer, medidores da Coluna Total de Ozônio. Foram efetuadas sondagens atmosféricas, com sondas de Ozônio, para medir a concentração de Ozônio em função da altura. Mais uma vez foi confirmado o fenômeno da diminuição da concentração do Ozônio Atmosférico, em Santa Maria. Em outubro de 1993, foram detectados dois picos de mínimo na concentração do Ozônio, nos dias 18 e 28. Sondagens feitas nos dias 26 e 28 confirmaram uma queda estatisticamente significativa da Coluna Total de Ozônio, mostrando uma diminuição na concentração em todas as alturas. A média da concentração de Ozônio de outubro de 1993 foi da ordem de 305 UD (Unidades Dobson). No dia 18, a concentração caiu para 240 UD e no dia 28 para 265 UD, que são valores muito baixos para essa época do ano, no Sul do Brasil. O Laboratório de Ozônio/INPE, consultando a NASA, constatou que realmente ocorreu uma injeção de massas de ar estratosféricas da Antártica, pobres em Ozônio, que alcançou as latitudes do Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai, confirmando as expectativas das equipes do LACESM/CT/UFSM e do LO/INPE e a inter-relação entre os fenômenos observados em Santa Maria com os observados em Punta Arenas, no Chile e na Antártica.

Tal efeito foi observado novamente em 1995, 1996 e 1997 em determinados dias dos meses de setembro a novembro. No ano de 2000 foram observados três períodos de aproximadamente 4 dias, um em setembro e os outros dois em outubro, de eventos do efeito secundário, com cerca de 10% de diminuição da coluna total de ozônio, quando comparada ao valor médio histórico do mês.

Portanto, desde a instalação em Santa Maria do Espectrofotômetro Brewer MKIV número 081, em 1992, e por meio de sondagens estratosféricas, vem-se acompanhando o comportamento da coluna total de Ozônio sobre a região. O monitoramento da radiação ultravioleta incidente é também feito pelo mesmo equipamento, por um radiômetro medidor de radiação UV-B e por um radiômetro Biômetro.

O Monitoramento da Camada de Ozônio é importante, devido ao fato de que reduções significativas desse gás na Atmosfera, no caminho que a luz do Sol percorre até atingir a superfície, podem causar uma maior incidência de radiação ultravioleta, em especial a radiação UV-B, por sua vez capaz provocar sérios danos a diversos sistemas biológicos e ocasionando nos seres humanos o surgimento de câncer de pele e de cataratas, quando a exposição for demasiadamente grande.

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 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 o fenômeno da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO

- Monitoramento da intensidade da Radiação Ultravioleta do tipo B incidente na região central do Rio Grande do Sul.
- Cálculo dos índices de Ultravioleta para a Região.
- Correlação entre coluna total de ozônio e Radiação UV-B.
- Correlação entre as intensidades de radiação UV-B medidas por instrumentos diferentes.
- Acompanhamento da ocorrência de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico na região de Santa Maria – RS.
- Correlação entre dados físico/meteorológicos obtidos com sondagens troposféricas e estratosféricas.

3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

3.1.1 A EMISSÃO DE RADIAÇÃO PELO SOL

O Sol é a fonte de praticamente toda energia que entra no planeta Terra, e do ponto de vista de Atmosferas planetárias a radiação solar constitui a força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos. O Sol emite um espectro contínuo de energia, com o máximo situado na região do visível 400 nm – 780 nm, com uma curva similar a da radiação de um corpo negro emitindo a ~600 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 e Cromosfera. A radiação solar no Ultravioleta (10nm – 400 nm) origina-se na Fotosfera e Cromosfera Solar, tanto em emissão de linhas como em *continuum*.

A radiação solar é atenuada na Atmosfera Terrestre por espalhamento e absorções devido a uma série de compostos químicos. A Figura 1 apresenta ilustrativamente o Espectro Solar fora da Atmosfera e na superfície terrestre, a curva de radiação de corpo negro a 5900 K e as principais bandas de absorção atmosféricas.

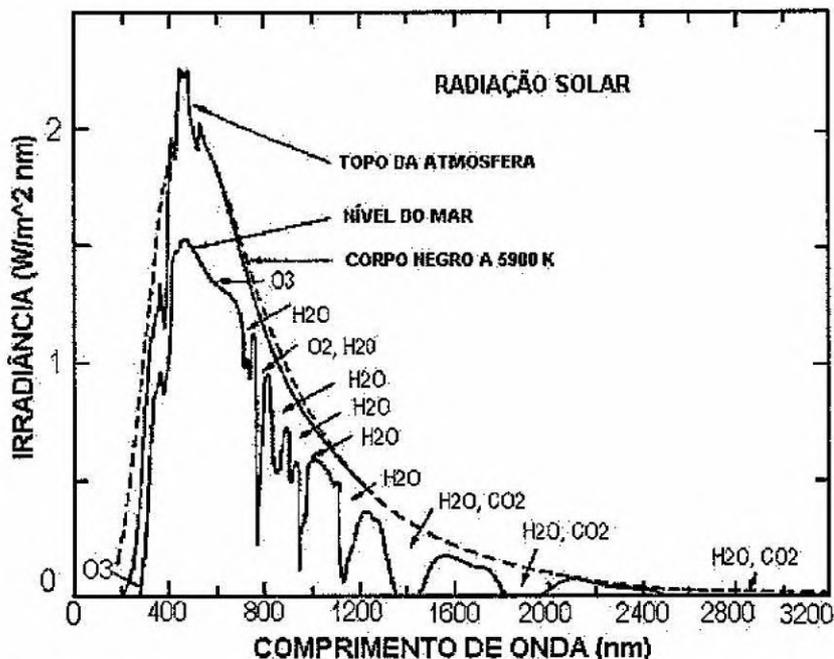


Figura 1 - Espectro solar - Comparação com a curva de corpo negro a 5900 K, a irradiância ao nível do mar e no topo da Atmosfera, e principais bandas de absorção molecular na atmosfera. Fonte: Adaptado de Brasseur e Solomon (1986).

A radiação solar apresenta variações temporais tanto de longo período, como a de 11 anos, associada ao Ciclo de Manchas Solares, e a 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 a rotação solar. A evolução dinâmica de regiões solares ativas e a ocorrência de explosões solares podem aumentar por durante um curto período, tipicamente de alguns minutos, 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 em comprimentos de onda maiores 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.

3.1.2 A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA SOLAR NA ATMOSFERA TERRESTRE

A radiação Ultravioleta é apenas uma pequena parte do Espectro Solar, seu valor sendo 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. Entretanto, a radiação UV é de grande importância na estruturação da Atmosfera Terrestre e também tem grande ação na Biosfera. A radiação de comprimentos de onda mais curtos é responsável na Atmosfera superior pela formação de uma camada ionizada importante para a rádio-propagação, a Ionosfera. A radiação com comprimentos de onda intermediários atua na Mesosfera e Estratosfera como mecanismo 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. O UV pode produzir alguns efeitos danosos à Biosfera tais como: redução no crescimento de plantas, efeitos nos sistemas aquáticos de algas, redução da pesca, e sobre os humanos, câncer de pele e cataratas.

A Radiação Ultravioleta Solar incidente no topo da Atmosfera depende basicamente da distância Terra-Sol e de variações da atividade solar. Já na Atmosfera Terrestre a radiação UV detectada é uma função de várias variáveis, dependendo de gases absorvedores, gases e partículas espalhadores, nebulosidade, albedo do solo, latitude geográfica, altitude, ângulo solar de zênite entre outros fatores.

A Radiação Ultravioleta é atenuada à medida que penetra na Atmosfera. A radiação de comprimentos de onda mais curtos é atenuada no topo da Atmosfera, principalmente por O e NO; na média Atmosfera, o O₂ e o O₃ absorvem a radiação em comprimentos de onda médios; e na superfície terrestre a radiação de comprimentos de onda mais longos penetra com pouca atenuação, por não haver forte absorção molecular na Atmosfera nesta região espectral. A Figura 2 representa 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 (e = Número de Euler = 2,718) da radiação.

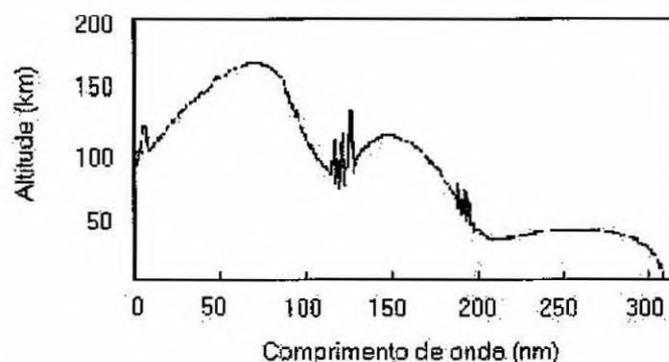


Figura 2 - Distribuição da atenuação da irradiância de UV solar em função da altitude. Fonte: Adaptado de Brasseur and Solomon.

A radiação UV pode ser classificada em faixas espectrais de acordo com critérios específicos. A classificação usualmente utilizada é a que separa a energia observada da Radiação UV em bandas de acordo com a proximidade aos comprimentos de onda da Região Visível. Assim, classifica-se a Radiação UV em Ultravioleta Próximo (NUV – *near ultraviolet*, 300 nm – 400 nm), Ultravioleta Médio (MUV – *middle ultraviolet*, 200 nm – 300 nm), Ultravioleta Distante (FUV – *far ultraviolet*, 10 nm – 100 nm). A Tabela 1 apresenta a classificação considerada.

Tabela 1: Classificação Espectral do UV Solar quanto à Proximidade com a Faixa do Visível

FAIXA	INTERVALO ESPECTRAL
Ultravioleta Próximo	300 - 400 nm
Ultravioleta Médio	200 - 300 nm
Ultravioleta Distante	100 - 200 nm
Ultravioleta Extremo	10 - 100 nm

Tabela 1 – Adaptado de Coulson (1975)

A classificação universalmente adotada baseia-se em critérios adotados de acordo com a integração biológica da Radiação UV. Esta classificação também utiliza-se de critérios baseados em termos da absorção pela Atmosfera. De acordo com este critério, a radiação é classificada em UV A, 320 nm – 400 nm; UV – B 280 nm – 320 nm e UV – C, < 280 nm. A Figura 3 apresenta o Espectro Eletromagnético com a localização das faixas UV – A, UV – B e UV – C em função de seus comprimentos de onda dados em “nm”.

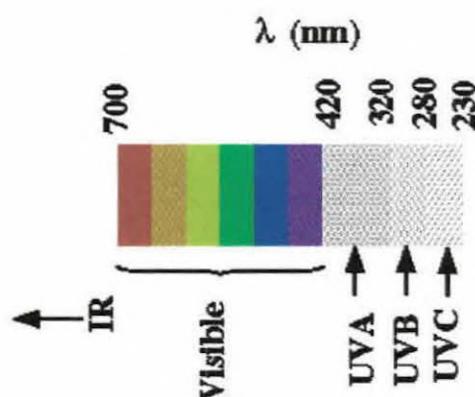


Figura 3 - Espectro eletromagnético centrado na região do visível e apresentando as faixas do ultravioleta. Fonte: <http://stimpny.chem.selu.edu/nasa/spectrum.gif>

A radiação na faixa do UV – A compreende aproximadamente 6,3% da emissão da energia total do Sol. A absorção pela Atmosfera é muito fraca e em consequência a maior parte da radiação UV – A atinge o solo. O retro –

espalhamento por nuvens é a principal fonte de opacidade atmosférica nesta faixa.

A radiação na faixa UV – B é mais energética, correspondendo a 1,5% da energia total do Sol, tendo o maior efeito biológico na superfície terrestre. Esta faixa é fortemente absorvida pelo ozônio, mas uma parcela significativa ainda atinge a superfície terrestre.

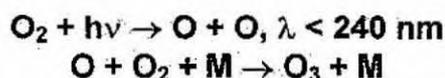
A radiação na faixa UV – C corresponde a cerca de 1% da emissão solar e não atinge a superfície terrestre devido a forte absorção na Atmosfera pelo ozônio e oxigênio molecular. Sua importância reside em dirigir a Química da Estratosfera e a formação da Camada de Ozônio.

3.1.3 A ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO UV SOLAR NA ATMOSFERA TERRESTRE

3.1.3.1 Absorção da Radiação UV Solar pelo Ozônio Atmosférico

A existência de ozônio na Atmosfera Terrestre e o fato do ozônio ser um forte absorvedor no ultravioleta influi decisivamente na estrutura da Atmosfera. 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 atmosférica.

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 expressões:



Este mecanismo de produção de ozônio é contrabalanceado por vários mecanismos de perda, sendo os principais, a recombinação do ozônio com o oxigênio e ciclos catalíticos envolvendo H, NO_x e Cl. O balanço entre estes mecanismos de perda e o mecanismo de produção resulta na chamada Camada de Ozônio, que é a região na Atmosfera em que a concentração de ozônio atinge seu máximo, em torno de 20 km – 25 km. 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.

O ozônio absorve fortemente em duas bandas na região do Ultravioleta. A banda de Hartley do ozônio, é localizada entre 200 nm e 310 nm, com um grande máximo próximo a 250 nm – 260 nm. Próximo a 300 nm a banda de Hartley sobrepõe-se com a banda de Huggins, que estende-se até 350 nm. A absorção pelo ozônio é responsável pelo limite Ultravioleta do Espectro Solar na superfície terrestre. As bandas de Hartley e Huggins não apresentam estruturas de linhas, mas pequenas oscilações superpostas ao Contínuo.

A Figura 4 apresenta a seção reta de absorção molecular para o ozônio na temperatura de 226 K para a faixa 290 nm – 325 nm, obtidos por Molina e Molina

Molina (1986). Observa-se pela Figura 4 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.

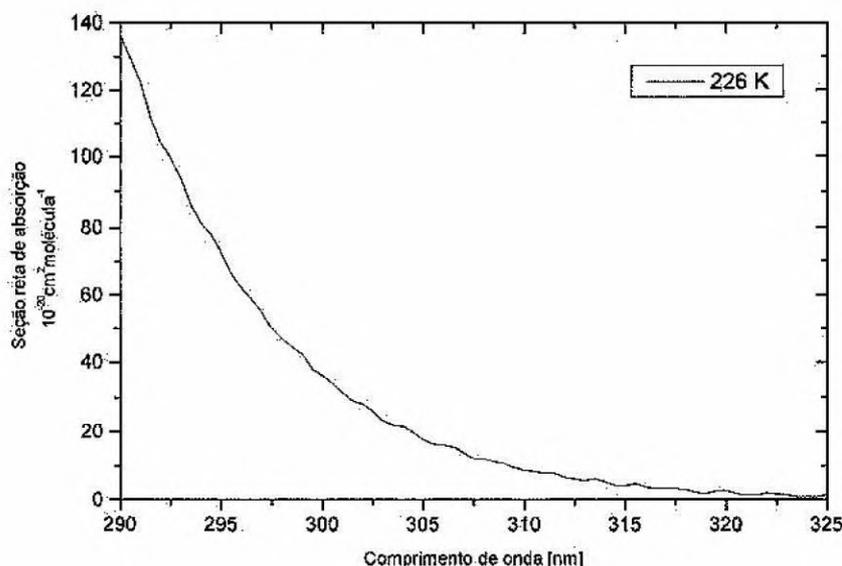


Figura 4 – Seção de absorção molecular de ozônio (290 – 325 nm) – temperatura de 226 K. FONTE: Dados de Molina and Molina (1986)

3.1.3.2 Espalhamento de Radiação

Nas camadas mais densas da Atmosfera, a radiação solar sofre espalhamento múltiplo devido à presença de grandes concentrações de moléculas do ar e partículas de aerossóis. O espalhamento é um processo físico pelo qual uma partícula no caminho de uma onda eletromagnética absorve energia da onda incidente e re-irradia a energia em todas as direções. A intensidade relativa da luz espalhada depende fortemente da razão do tamanho da partícula "D" ao comprimento de onda " λ " da radiação incidente.

Para D/λ pequeno – a luz espalhada é distribuída igualmente nas direções frontal e reversa – Espalhamento Rayleigh.

Para D/λ grande – partículas grandes – a luz é concentrada na direção frontal – Espalhamento Mie por aerossóis.

3.1.3.3 Espalhamento Molecular Rayleigh

A Teoria de Rayleigh para o espalhamento de radiação considera que os elementos espalhadores sejam partículas esféricas, isotrópicas, bem menores que o comprimento de onda da luz e mais densas que o meio vizinho. O espalhamento varia inversamente com a quarta potência do comprimento de onda da radiação. A explicação Física para o espalhamento é que uma molécula sujeita

a um campo elétrico terá um momento de dipolo induzido. A molécula está polarizada sobre a influência do campo; esta polarizabilidade é a base de todo o espalhamento e refração. Quando o campo varia periodicamente, como em uma onda eletromagnética, o valor do momento de dipolo oscila sincronicamente com o campo. Como a molécula é isotrópica, o eixo do momento de dipolo sempre se alinha com o vetor elétrico da onda passante. E como a molécula é muito pequena comparada aos comprimentos de onda típicos da radiação, a fase instantânea da onda é uniforme sobre a molécula. E o dipolo induzido da molécula irá emitir radiação de mesma frequência da onda incidente e em todas direções. O espalhamento Rayleigh por moléculas representa o mínimo irreduzível de espalhamento ao longo de um caminho atmosférico.

3.1.3.4 Espalhamento Mie por Aerossóis

Aerossóis são partículas pequenas, sólidas ou líquidas encontradas mesmo na Atmosfera mais limpa. Os aerossóis muito pequenos, entre 0,01 micrón e 0,1 micrón, desempenham também um importante papel na formação de nuvens, permitindo a condensação de vapor de água em gotas líquidas ou cristais; eles são chamados núcleos de condensação de nuvens. Do ponto de vista da radiação, os aerossóis importantes estão principalmente no intervalo de tamanhos entre 0,1 micrón e 1,0 micrón.

As principais fontes de aerossóis são o sal do mar, a poeira dos desertos, detritos vulcânicos, conversão gás – partículas (sulfatos, orgânicos, nitratos), poeira extraterrestre, fontes biológicas e antropogênicas. A remoção da Atmosfera ocorre principalmente por deposição seca, evaporação e precipitação.

Como a maior parte das fontes de aerossóis está na superfície terrestre, os aerossóis estão mais concentrados nas camadas inferiores da Troposfera, onde seu tempo de residência é da ordem de um dia a alguns dias. Esses aerossóis troposféricos tem uma profundidade óptica no Espectro do Visível que pode variar entre 0,05 para Atmosferas limpas a 4 para Atmosferas túrbidas. Eles são muito variáveis com o tempo e a localização, e estão relacionados com as condições de produção e transporte.

O espalhamento por partículas de qualquer tamanho e forma pode em princípio ser resolvido com a teoria de Mie, que baseia-se em equações eletromagnéticas clássicas com condições de continuidade na fronteira entre as partículas e seus arredores.

3.1.4 VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DE RADIAÇÃO UV

A faixa de radiação mais importante para os processos fotoquímicos da alta Atmosfera são de comprimento de onda menor que 290 nm. Na Troposfera, os processos fotoquímicos mais relevantes podem ser iniciados pelos comprimentos de onda menores que 400 nm, resultando na absorção da radiação pelos poluentes como NO_2 e SO_2 .

A radiação solar ao atravessar a Atmosfera Terrestre é atenuada devido à sua interação com a matéria, sendo a intensidade da radiação (de comprimento

de onda λ) que ingressa I_{λ} , k_{λ} a seção transversal do meio e w o comprimento do caminho, temos a atenuação da intensidade da radiação expressa da forma:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} \exp(-k_{\lambda} \cdot w)$$

Sendo esta expressão conhecida como a lei de Beer-Bouguer-Lambert.

Uma outra forma de expressar esta lei é considerando uma Atmosfera plano-paralela, medindo a distância z normal ao plano de estratificação caracterizado pelo meio. Segundo a Figura 5, a distância z é:

$$z = s \cos \theta$$

onde θ é o ângulo que faz o Sol com a perpendicular no local de observação, chamado de *ângulo zenital solar*.

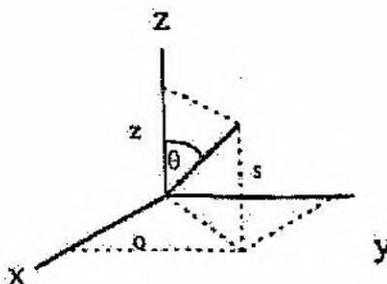


Figura 5 - Geometria para uma Atmosfera plano-paralela.

Assim, introduzindo a definição *espessura óptica* τ como a espessura da camada na qual a radiação vai ser atenuada pela absorção e pelo espalhamento da matéria, e fazendo $\mu = 1/\cos \theta$, a expressão da lei de Beer-Bouguer-Lambert pode ser escrita da forma:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} \exp(-\tau \mu)$$

3.1.5 RADIAÇÃO UV DIFUSA

A Radiação Solar Global sobre um detector localizado horizontalmente na superfície terrestre é composta por duas parcelas: a "radiação direta" e a "radiação difusa" ou "radiação de céu". A "radiação direta" corresponde ao feixe radiante proveniente diretamente do Disco Solar, atenuado por absorção e espalhamento na Atmosfera. Uma parcela dos fótons do feixe direto incidente é espalhada pela Atmosfera. Desta parcela espalhada, uma parte é refletida para o espaço, uma parte é dispersa na Atmosfera e outra parte da radiação atinge a superfície terrestre, constituindo a "radiação difusa".

Como resultado do espalhamento radioativo na Atmosfera, uma fração muito significativa do ultravioleta atinge a superfície da Terra sob forma de "radiação difusa". Num dia limpo, durante algumas horas a intensidade da Radiação Ultravioleta "difusa" incidindo numa superfície horizontal pode ser maior

que a "radiação direta", e em todas as horas a "radiação difusa" é comparável com o fluxo direto do Sol. A variação diurna da radiação representa a componente direta mudando mais rapidamente com a elevação solar que a componente difusa. No meio do dia as duas componentes são aproximadamente iguais, mas no início da manhã e no final da tarde a componente do céu é mais intensa. A "radiação difusa" é responsável pelo surgimento de queimaduras na pele humana, mesmo quando o Sol direto estiver bloqueado, mas com uma área do céu exposta, como por exemplo ocorre nas praias sendo cobertas por nuvens.

3.1.6 INCIDÊNCIA LATITUDINAL, SAZONAL E DO ÂNGULO ZENITAL

Tanto a latitude como a estação do ano e a hora do dia (ângulo zenital) influem no fluxo da radiação que produzirá os distintos processos fotoquímicos na Atmosfera. A mudança da distância média Sol - Terra (efeito espacial) provoca pequenas variações (< 3%) no fluxo solar sendo o máximo no periélio (~ 3 de janeiro) e o mínimo no afélio (~ 5 de julho). O ângulo zenital varia no dia, com o ano e a latitude, de forma que para um ângulo zenital menor resulta um maior fluxo solar atingindo a superfície da Terra.

A Figura 6 mostra o fluxo na superfície da terra, para diferentes comprimentos de onda e ângulo solar zenital. Nesta Figura se observa a grande variabilidade do fluxo na superfície para maiores comprimentos de onda.

A influência da estação do ano na incidência de radiação Ultravioleta é grande, como pode ser visto nas imagens obtidas por satélites.

Analisando a Figura 7, obtida no dia 20 de Junho de 2001, 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 8 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 podemos 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 7, que possui mesma escala.

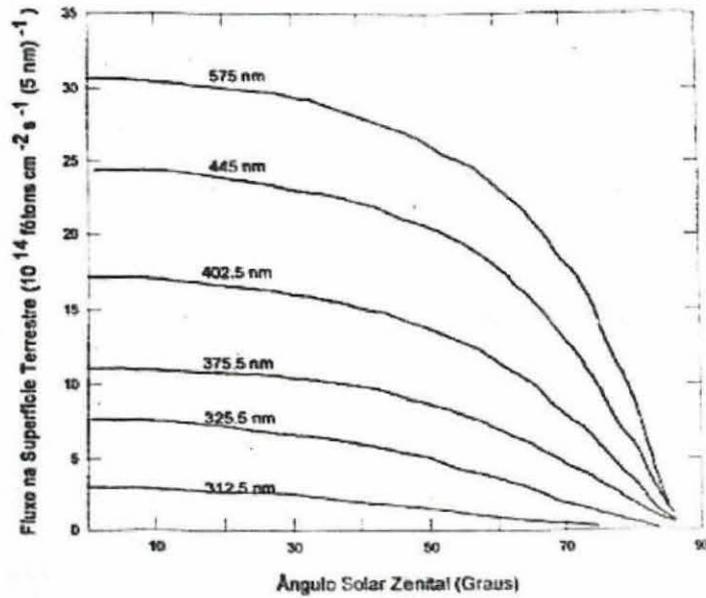


Figura 6 - Fluxo solar na superfície terrestre, calculado a cada 5 nm e centrado no comprimento de onda indicado. Fonte: Finlayson and Pitts (1986).

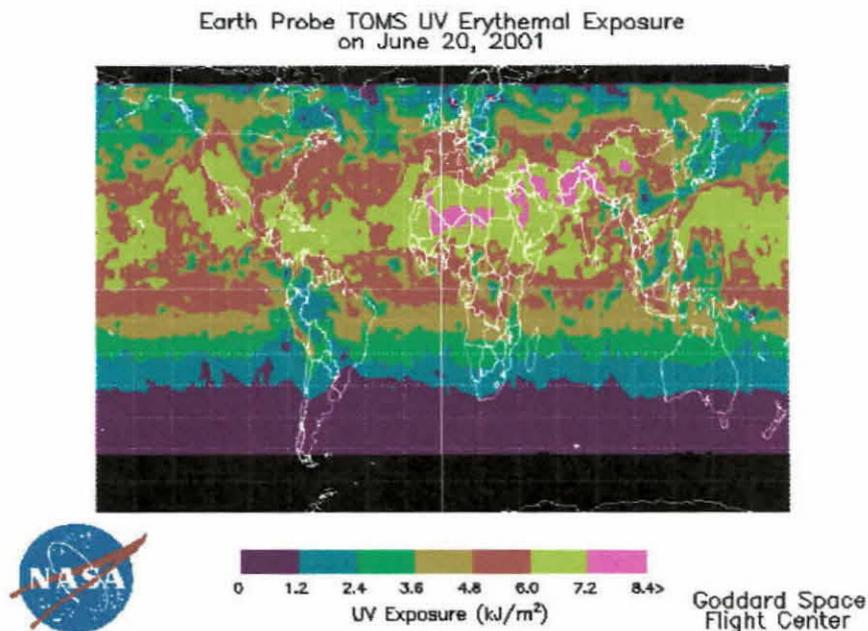


Figura 7 - Incidência de Radiação Ultravioleta no dia 20/06/2001 obtida com o satélite Earth Probe / TOMS da NASA. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

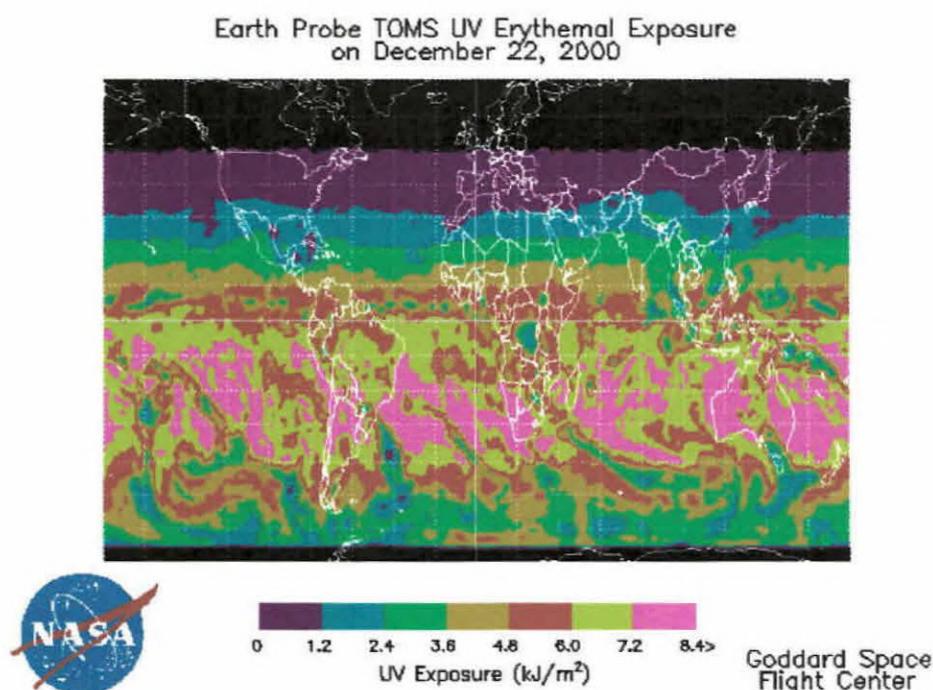


Figura 8 - Incidência de Radiação Ultravioleta no dia 22/12/2000 obtida com o satélite Earth Probe / TOMS da NASA. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

3.1.7 ALBEDO E COBERTURA DE NUVENS

As nuvens podem variar substancialmente a intensidade da radiação na superfície, sendo difícil avaliar exatamente o fator de atenuação que elas podem provocar na intensidade, devido fundamentalmente ao tipo de nuvem e à sua densidade.

Alguns estudos relacionam a intensidade da radiação com a transmissão das nuvens. Na tabela seguinte estão contidas as porcentagens de transmissão, na faixa do visível, para diferentes tipos de nuvens e ângulo zenital solar de 60° .

Tabela 3 – 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

Frederick e Lubin (1988) usaram imagens de satélite de cobertura de nuvens e estimaram uma redução do UV entre 10 e 30% na superfície da Terra, durante Julho de 1978 numa latitude baixa.

Num outro aspecto, o albedo (definido como a razão entre a intensidade da radiação refletida e a incidente numa superfície) afetaria pouco na faixa UV, existindo poucas medições de albedo. Alguns valores são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Tipos de Albedo de algumas superfícies

Tipo de Superfície	Albedo	
	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	-

Fonte: Finlayson and Pitts (1986)

3.1.8 POLUIÇÃO URBANA E AEROSSÓIS

Os aerossóis são partículas quimicamente complexas, que têm uma ampla variedade de tamanhos e formas e influem diretamente no clima porque absorvem e espalham a radiação solar. Pesquisas indicam que a radiação UV deveria diminuir na superfície durante o verão, por causa de partículas de aerossóis e nuvens. Resultados de pesquisas indicam que a radiação solar diminui 5 e 10% devido ao espalhamento de aerossóis e que a mudança do fluxo solar refletido, por causa das partículas de aerossóis sobre o hemisfério norte, é da ordem de 1W/m^2 .

Assim, a radiação solar que ingressa na Atmosfera Terrestre é absorvida e espalhada pelas moléculas, aerossóis e nuvens, resultando na atenuação da radiação que dependerá da quantidade de partículas absorvedoras e espalhadoras.

3.1.9 SENSIBILIDADE BIOLÓGICA DA RADIAÇÃO UV

A Irradiância Solar na superfície terrestre é medida em termos de potência por área e por comprimento de onda ($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$), ou em banda integrada em Wm^{-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 comprimentos de onda é descrita por um "espectro de ação". Um "espectro de ação" é definido como a determinação da

resposta biológica relativa sob exposição, a uma série de radiações monocromáticas em uma determinada faixa espectral. 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 and Diffey (1987), apresentado na Figura 9. Aparecem ainda nesta Figura os espectros de ação referentes ao dano ao DNA (Setlow, 1974) e dano a Plantas (Caldwell et al., 1986).

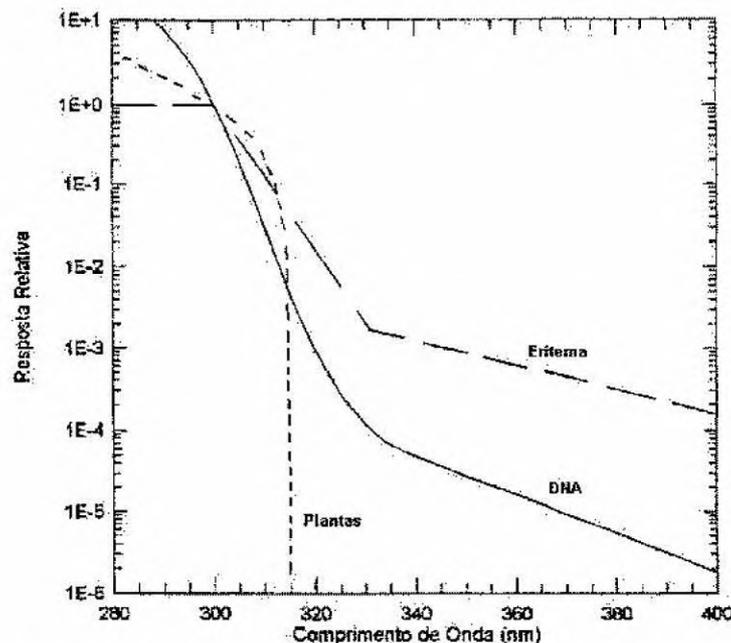


Figura 9: Espectro de Ação Eritema, DNA e Plantas. Todos os espectros estão normalizados em 300nm.

A Irradiância Biologicamente Ativa é melhor considerada sob a forma de uma energia ponderada. 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 Taxa de Dose; e integrando-se sobre um período de tempo a Taxa de Dose, 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 Dose é uma quantidade de energia ponderada para uma dada ação biológica a que certa pessoa foi exposta num processo de radiação. Uma definição muito importante é a “Dose Mínima”, que uma vez aplicada produz após um período de 24 horas sinais de queimadura na pele do paciente – situação eritematosa. Surge então a definição do “MED”, *Minimum Erythema Dosis*, que é a quantidade de energia mínima capaz de causar um eritema, e equivale a $23 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$, sendo que J^* equivale a energia ponderada pelo “espectro de ação de eritema”.

A partir da Dose obtida pelos instrumentos ponderados pelo Espectro de Ação de McKinlay-Diffey, é calculado um outro parâmetro, o Índice Ultravioleta, I-UV ou *UV Index*, o qual foi criado para informar ao público leigo a intensidade da exposição à Radiação Ultravioleta Solar. A definição do Índice Ultravioleta surgiu da constatação de que a energia acumulada em uma hora de exposição, quando exposta em centijoules por centímetro quadrado, varia aproximadamente dentre zero e quinze. A divulgação do I-UV é feita mostrando-se a parte inteira do valor calculado, sem dimensões. O cálculo, realizado a partir da medida da Dose acumulada em uma hora, baseia-se na conversão do valor obtido em MEDs para mJ/cm^2 através da multiplicação pelo fator de conversão do instrumento. Como exemplo, tendo sido obtida uma dose de energia acumulada em 1 hora igual a 4 MEDs, multiplicando-se pelo fator de calibração $23 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, obtém-se $92 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, ou $9,2 \text{ cJ}/\text{cm}^2$, e o Índice Ultravioleta nesse caso seria igual a 9.

A Tabela 5 apresenta a classificação do Índice Ultravioleta em intervalos e o correspondente conceito associado. O valor do Índice UV é um indicativo da intensidade da radiação ultravioleta e do grau de exposição das pessoas num determinado horário.

Tabela 5: Fototipos de Pele e MEDs

3.1.9.1.1 FOTOTIPOS DE PELE	TIPO	MED (mJ/cm^2)
Nunca bronzeia / Sempre queima	A	10 – 30
Às vezes bronzeia / Em geral queima	B	30 – 50
Em geral bronzeia / Às vezes queima	C	40 – 75
Sempre bronzeia / Raramente queima	D	50 – 120

FONTE: Kirchhoff (1995)

A classificação dos Índices Ultravioleta de mínimo a muito alto serve como um 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.

3.2 O OZÔNIO ATMOSFÉRICO

O ozônio é uma molécula constituída por três átomos de oxigênio. A região atmosférica onde estão localizadas, preferencialmente, as moléculas de ozônio é a Estratosfera, definida entre 15 e 40 km de altura. Nesta região a temperatura começa a aumentar com a altura porque, ao absorver radiação ultravioleta, o ozônio libera energia na forma de calor. Esta camada é muito estável e caracteriza-se por conter a maior parte do ozônio existente na Atmosfera, em média, cerca de quase 90 % do ozônio total encontra-se entre 15 e 30 km. A região entre 25 e 35 km de altitude é conhecida como Camada de Ozônio pela maior abundância deste elemento entre estes limites. A Figura 10 apresenta um esquema desta localização.

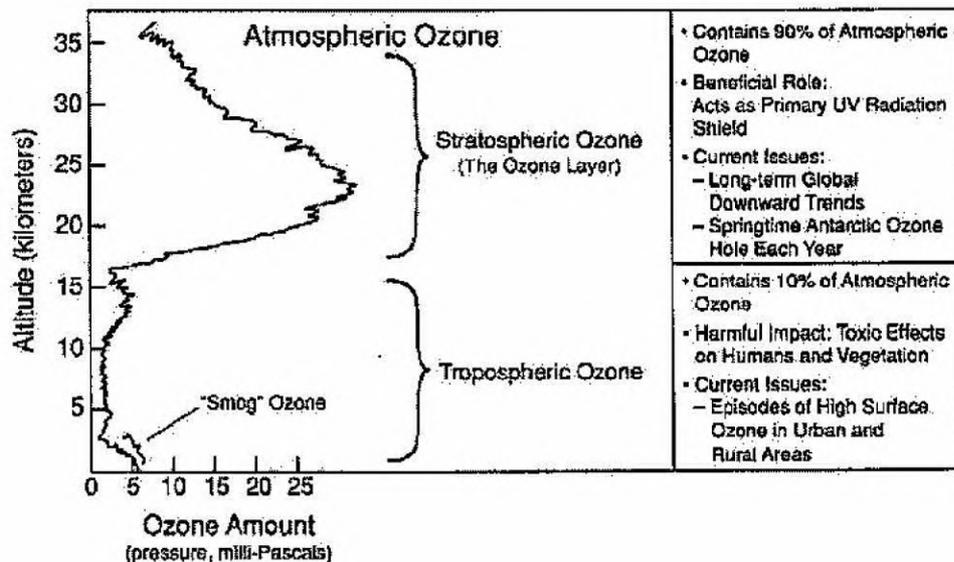
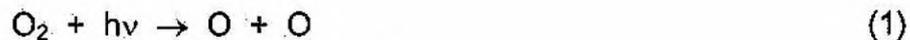


Figura 10: Esquema do perfil vertical do ozônio atmosférico (Fonte: WMO, 1994)

A formação da camada de ozônio estratosférica pode ser compreendida de modo simplificado pelo Modelo de Chapman, que foi primeiramente apresentado em 1930. Neste modelo considera-se uma Atmosfera composta só de oxigênio, nem um outro constituinte atmosférico está presente, apenas pode-se considerar o nitrogênio molecular como quimicamente inativo sendo incluído nas reações com um terceiro corpo. Os processos de produção e perda são os seguintes:

PRODUÇÃO:

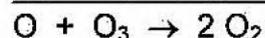


PERDA (CLÁSSICA):



Na reação (1) ocorre a fotodissociação das moléculas de oxigênio por radiação solar nos comprimentos de onda entre 180 e 240 nm; em (2) a junção do oxigênio atômico e molecular na presença do terceiro corpo; em (3) a fotodissociação do ozônio na faixa de Hartley entre 200 e 310 nm; e em (4) a destruição de ozônio pela reação com o átomo de oxigênio (Warneck, 1988).

Trabalhos da década de 70 descobriram que a reação (4) não era suficiente para conciliar a teoria com as observações do perfil da concentração de ozônio. Foi sugerido então o seguinte processo catalítico de perda:



Como este esquema é catalítico, o elemento que produz a perda se regenera novamente. No caso de uma Estratosfera limpa, os elementos que poderiam substituir X são OH e NO, sendo que o OH é mais eficiente na alta Estratosfera e o NO na baixa Estratosfera. No caso de uma Estratosfera perturbada, com produtos de origem antropogênica, tais como clorofluorcarbonos, com espécies que podem liberar cloro, o elemento X pode ser o Cl (cloro atômico) e este ciclo adquire grande importância.

Em resumo, considera-se o processo de produção de ozônio como aquele onde três moléculas de oxigênio geram duas de ozônio e o de perda como processos catalíticos onde OH ou NO ou Cl, mais um átomo de oxigênio, destroem uma molécula de ozônio, regenerando duas de oxigênio molecular. As Figuras, 11, 12 e 13 mostram esquemas destes processos de produção e perda.

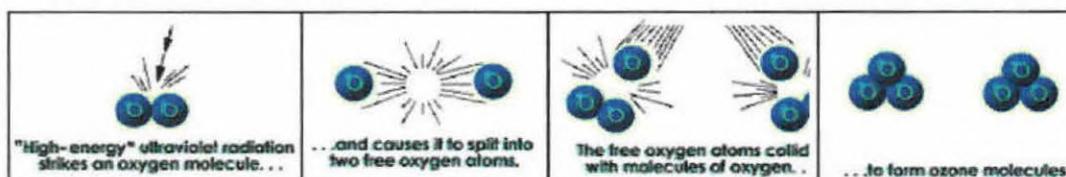


Figura 11 - Processo de Chapman para produção de ozônio. Adaptado de: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

Além deste processos químicos, pela molécula de ozônio ter um tempo de vida muito grande da Estratosfera, da ordem de meses, os processos de transporte em grande escala adquirem importância, podendo o ozônio ser transportado tanto horizontal quanto verticalmente. Por exemplo, massas de ar com conteúdo rico em ozônio são transportadas desde a zona equatorial até altas latitudes, sendo a Célula de Hadley a responsável pela redistribuição do ozônio produzido no equador. Isto faz com que o ozônio esteja presente em maior quantidade em latitudes mais altas.

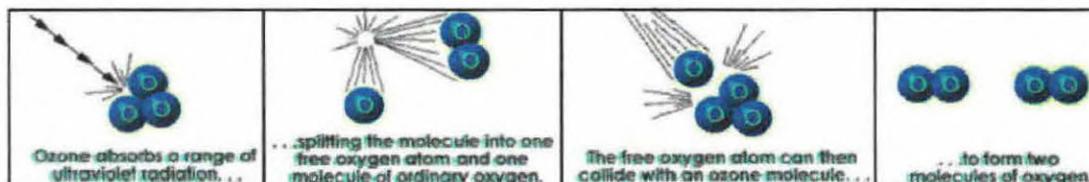


Figura 12 - Processo de Chapman para destruição do ozônio. Adaptado de: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

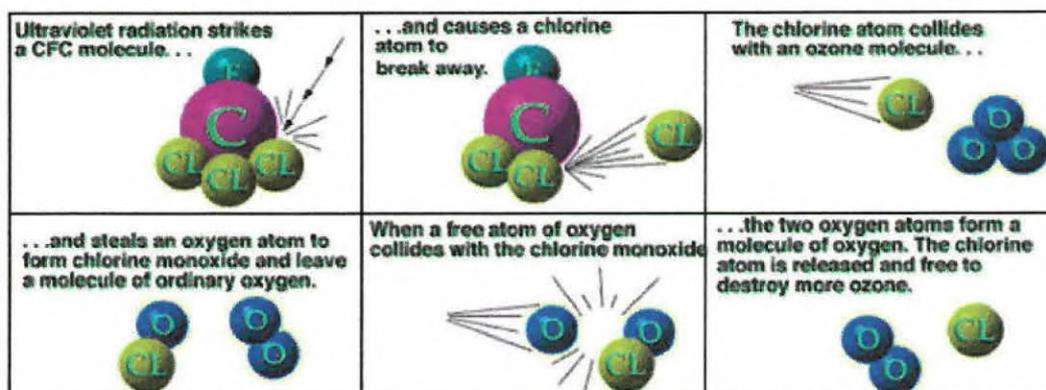


Figura 13 - Processo catalítico de destruição da molécula de ozônio por átomo de cloro liberado por uma molécula de CFC. Adaptado de: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

3.2.1 DEFINIÇÃO DA UNIDADE DOBSON

A concentração de ozônio para observações a partir da superfície pode ser definida pela densidade mássica ρ_{O_3} (gramas por cm^3) ou pela densidade numérica n_{O_3} (moléculas por cm^3). Quando se usa a Atmosfera Terrestre como uma célula de absorção para a luz solar, é importante definir a quantidade total de moléculas de ozônio no caminho ótico da radiação. Surge assim a definição de “ozônio total” ou “coluna de ozônio” e que é definido pela integral abaixo. O número total de moléculas na coluna vertical de área unitária de uma altura z até o topo da Atmosfera é:

$$N_{O_3} = \int_z^{\infty} n_{O_3} dz \quad (cm^{-2}) \quad (7)$$

Se fosse possível comprimir verticalmente todo o ozônio da Atmosfera em uma camada de altura h , onde a concentração do ozônio fosse constante, a integral (7) ficaria:

$$N_{O_3} = n_{O_3} \int dz = n_{O_3} \cdot h \quad (8)$$

No caso de ter condições de temperatura e pressão padrões, ou seja, $0^\circ C$ e 1 atm , o número de partículas, por definição, fica igual ao número de Loschmidt $n_{O_3} = L = 2,69 \times 10^{19} \text{ mol/cm}^3$, e sabendo que das observações, em média, uma coluna de ar contém $8 \times 10^{18} \text{ moléculas/cm}^2$, assim:

$$h = N_{O_3}/L \cong 0,3 \text{ cm} \quad (9)$$

ou seja, nas condições de temperatura e pressão padrões, a altura da camada de ozônio na Atmosfera seria de apenas $0,3 \text{ cm}$. A partir disto, a quantidade total de ozônio na Atmosfera pode ser expressa em função da altura. Multiplicando o valor

de h por 1.000 tem-se a unidade Dobson (em homenagem a G. Dobson), ou seja, $h = 300$ UD (Unidades Dobson), onde um Dobson corresponde a fração de $1/300$ de h (1 UD = $0,001$ cm de espessura). A Figura 14 apresenta um diagrama esquemático da Unidade Dobson.

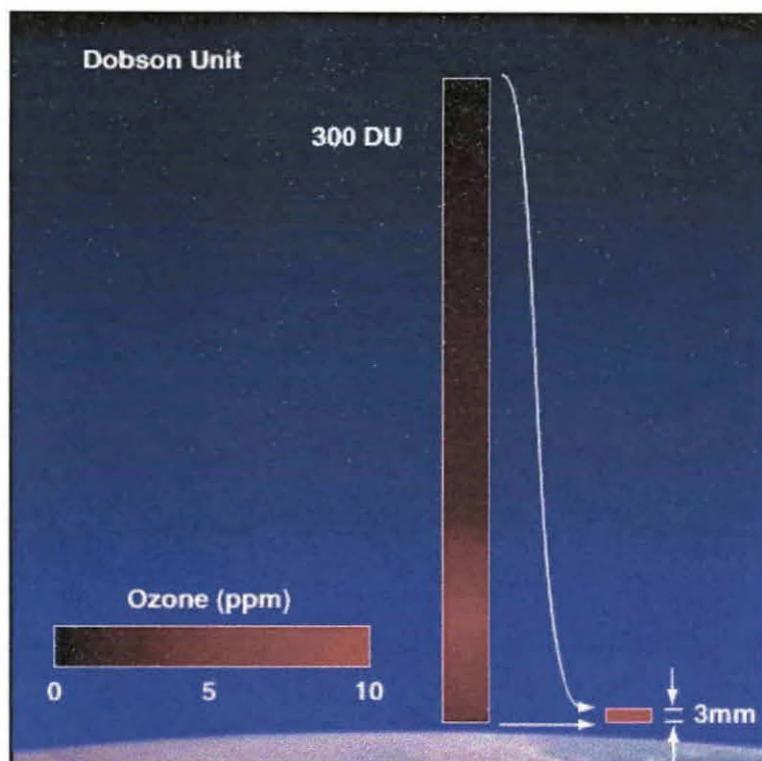


Figura 14: Diagrama esquemático da coluna total de ozônio e da Unidade Dobson (Fonte: página da internet da National Atmospheric and Space Administration - NASA - <http://ljwocky.gsfc.nasa.gov>)

3.2.2 DISTRIBUIÇÃO DE OZÔNIO NA ATMOSFERA TERRESTRE

Desde que o gás ozônio foi identificado como um constituinte atmosférico no ano de 1840 pelo cientista alemão C. Schönbein, muitos esforços têm sido feitos para determinar a distribuição de ozônio na Atmosfera Terrestre, devido à importância que este constituinte tem em relação aos sistemas de vida terrestre. Um dos primeiros mapas da distribuição global de ozônio foi feito pelo cientista inglês G. Dobson na década de 60, baseado em medições em quarenta estações durante o Ano Geofísico Internacional (1957-1958). Este mapa foi elaborado somente para o hemisfério norte porque no hemisfério sul existiam muito poucas estações. Já naquela época foram detectadas as variações de acordo com a latitude e com as estações do ano.

Na atualidade existem muitos recursos, principalmente com as medidas de satélites, para construir um mapa da distribuição do ozônio total global em função da latitude e dos meses do ano. A Figura 15 mostra a concentração média de

ozônio publicada no ano de 1980 por London, a partir de dados de 1958 a 1970. Analisando a Figura 15, observa-se que o ozônio total é quase constante em latitudes equatoriais, mas em latitudes médias e polares podem-se observar mudanças profundas com as estações do ano. Também existem similaridades entre os dois hemisférios. Por exemplo, no hemisfério sul o mínimo é atingido perto do equinócio de outono e o máximo acontece sete meses mais tarde; o mesmo acontecendo no hemisfério norte. A razão máxima de aumento ocorre em dezembro-janeiro, depois do solstício de inverno no hemisfério norte. Entretanto, no hemisfério sul o ozônio aumenta de forma rápida em setembro no final do equinócio de primavera.

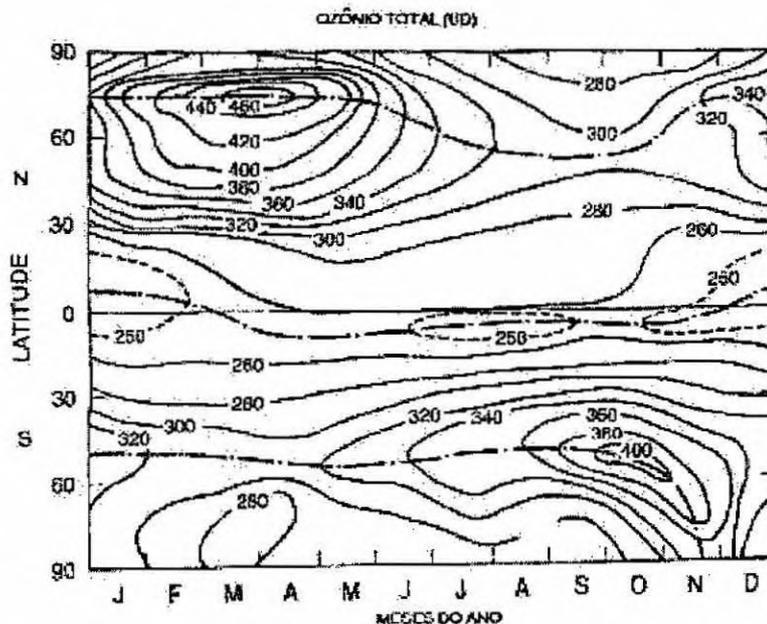


Figura 15: Distribuição do ozônio total com latitude e estações do ano (Fonte: WMO, 1988).

As variações mencionadas podem ser explicadas devido ao transporte de massas de ar feito pela advecção meridional média, a qual influi fortemente na distribuição do ozônio total, sendo responsável pelo fato de se ter mais ozônio em altas latitudes do que em baixas latitudes, como mostra a Figura 15. O transporte adquire importância porque o tempo de vida da molécula de ozônio na Estratosfera é muito maior que a constante de tempo do termo de transporte. A assimetria hemisférica na distribuição do ozônio total é devida, provavelmente, às diferenças na dinâmica estratosférica dos dois hemisférios.

Quanto a distribuição vertical do ozônio, modelos teóricos e observações, feitas com ozônio-sondas em balões, método Umkher, foguetes e instrumentos instalados em satélites, permitem definir a distribuição da concentração do ozônio com a altura.

Como já citado anteriormente, as concentrações de ozônio observadas apresentam valores muito menores na Troposfera do que na Estratosfera. A concentração depois de uma altura de 10 km, em média, aumenta com a altura, até atingir um valor máximo. A altura do máximo depende da latitude e das estações do ano. Após este nível, a concentração diminui quase que exponencialmente com a altura, na alta Estratosfera e na baixa mesosfera.

A altitude da densidade máxima de ozônio encontra-se entre 25 e 27 km nos trópicos e entre 13 e 18 km nas regiões polares, com valores de pressão parcial no pico máximo em torno de 140 nb nos trópicos e 220 nb em latitudes polares durante a primavera.

Como a pressão parcial está relacionada com a quantidade total de ozônio, as variações sazonais são mais significativas nas médias e altas latitudes, sendo que dependem mais da concentração do pico do que da altura dele.

3.2.3 O BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO

3.2.3.1 A Diminuição Global Do Ozônio Atmosférico

A pesquisa sobre ozônio atmosférico tornou-se mais importante a partir do trabalho de Molina e Rowland, em 1974, o qual previa a influência dos Clorofluorcarbonos (CFCs) na química catalítica do ozônio. No entanto, um grande impulso surgiu com a publicação da descoberta da diminuição sazonal do conteúdo do ozônio atmosférico sobre o Continente Antártico por J. Farman e seus colaboradores. Foram feitas muitas pesquisas e publicações que mostram a diminuição do ozônio na Atmosfera Terrestre considerando tanto o aspecto global, isto é, em todo planeta, como a situação local Antártica com o fenômeno do "Buraco de Ozônio Antártico".

No ano de 1987 criou-se o Ozone Trends Panel (Painel de Tendências de Ozônio), com o objetivo de avaliar periodicamente o estado da camada de ozônio. Esta é uma comissão internacional integrada por cientistas de vários países, onde são analisados dados do conteúdo de ozônio atmosférico de observações fornecidas por estações de medição ao nível de solo e/ou satélites.

Na Tabela 6 estão apresentadas as diminuições da coluna total de ozônio nas faixas latitudinais indicadas, no ano de 1997 em relação ao ano de 1979. Deve-se ressaltar que estas quedas foram acompanhadas de aumentos nas taxas de radiação eritema na superfície de 7, 4, 6, 130 e 22 %, respectivamente.

Além destas quedas, o perfil vertical também sofreu alterações nestes últimos anos, sendo que, para médias latitudes no hemisfério norte, a maior queda ocorreu a 40 e 15 km de altura e foi em torno de 7 % por década, e a menor queda nestas mesmas latitudes ocorreu a 30 km de altura em torno de 2 % por década (WMO, 1998).

Tabela 6: Percentagem da Diminuição da Camada de Ozônio em Algumas Faixas Latitudinais (Fonte: WMO, 1998).

Latitudes	Percentagem de Diminuição
20°S a 20°N	Não há tendência estatística significativa
25 a 60 °N no período inverno/primavera	6 %
25 a 60 °N no período verão/outono	3 %
25 a 60 °S durante o ano todo	5 %
Continente Antártico na primavera	50 %
Ártico na primavera	15 %

Assim, em quase todas as faixas mostradas na Tabela 6 observam-se diminuições do ozônio total, refletindo bem a situação global da camada de ozônio: decréscimo na coluna em quase todas as latitudes e alturas, com maior intensidade nas latitudes mais altas do hemisfério sul e quase sem efeito na região equatorial.

Outra análise da situação global do ozônio atmosférico pode ser vista na Figura 16 , onde estão plotadas as percentagens de queda das médias mensais da coluna de ozônio para as latitudes de 60°S a 60°N, de 1979 a 2000.

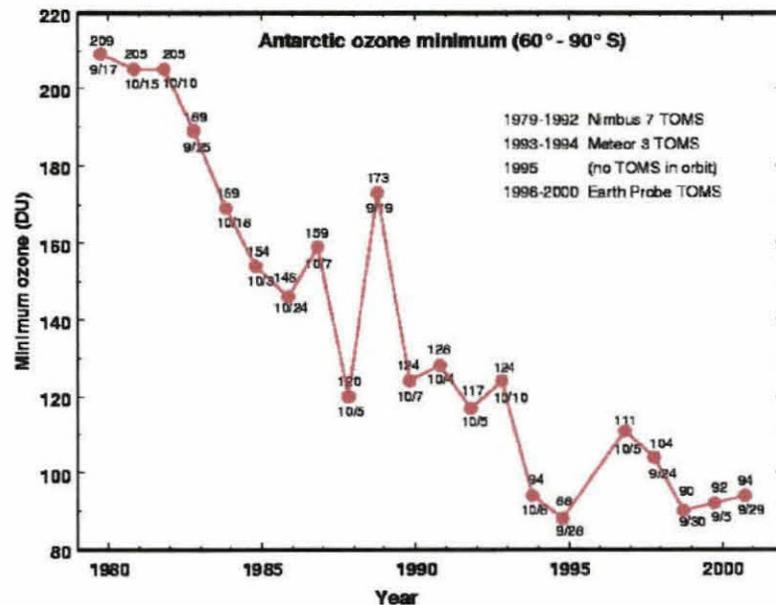


Figura 16 - Mínimos de ozônio observados, de 1979 até 2000, sobre o Continente Antártico, em latitudes entre 60° e 90°S, obtidos com instrumento TOMS, de 1 de Setembro a 30 de Novembro de cada ano. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

3.2.3.2 A Diminuição Do Ozônio Total Atmosférico Na Antártica

Mudanças drásticas no conteúdo total do ozônio atmosférico sobre o Continente Antártico foram publicadas por Farman em 1985, mostrando reduções de até 50 %. Tal redução na coluna total de ozônio, como comprovado a seguir por outros pesquisadores, é muito grande em profundidade e extensão geográfica. Este fenômeno é sazonal e foi batizado de “Buraco de Ozônio Antártico”. A área geográfica de “Buraco de Ozônio” foi definida como sendo aquela região interior aos valores menores ou iguais a 220 UD no conteúdo da coluna.

As medições feitas até agora com instrumentos a bordo de satélites, como por exemplo o TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), mostram que este fenômeno evolui no tempo e no espaço. A Figura 17 mostra o crescimento em área atingida e valores mínimos da coluna de ozônio sobre o Continente Antártico, no período de 1979 a 1997, a partir de uma montagem de medidas feitas com o TOMS. Observa-se claramente o aumento da coloração púrpura sobre a região antártica, o que denota baixa concentração de ozônio atmosférico como representado pelo código de cores.

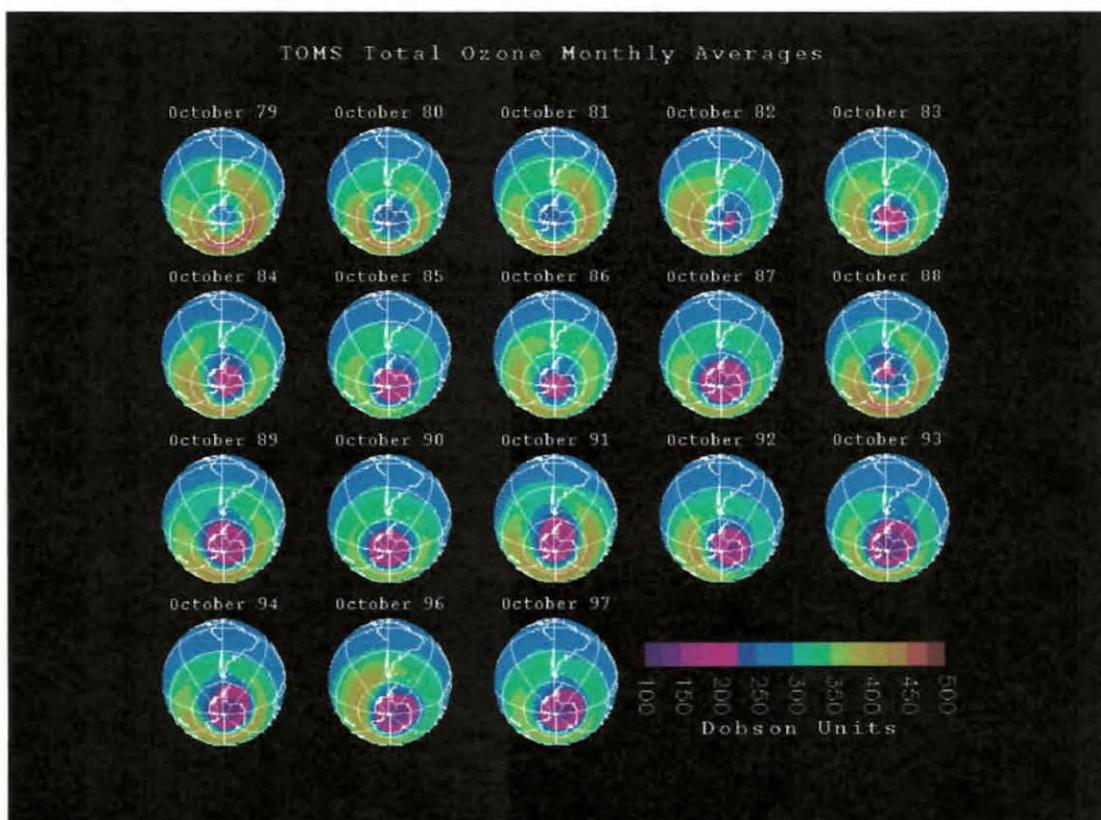


Figura 17 - Montagem de medidas feitas pelo instrumento TOMS a bordo dos satélites da NASA desde 1979 até 1997. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

A evolução do “Buraco” através dos anos também pode ser descrita pela média do mês de outubro das medições feitas na estação inglesa de Halley Bay (76°S e 27°W), desde o ano de 1956 até 1992, obtidas com o Espectrofotômetro

Dobson, instrumento instalado no solo que mede a coluna total de ozônio. A Figura 18 apresenta um gráfico com estes dados.

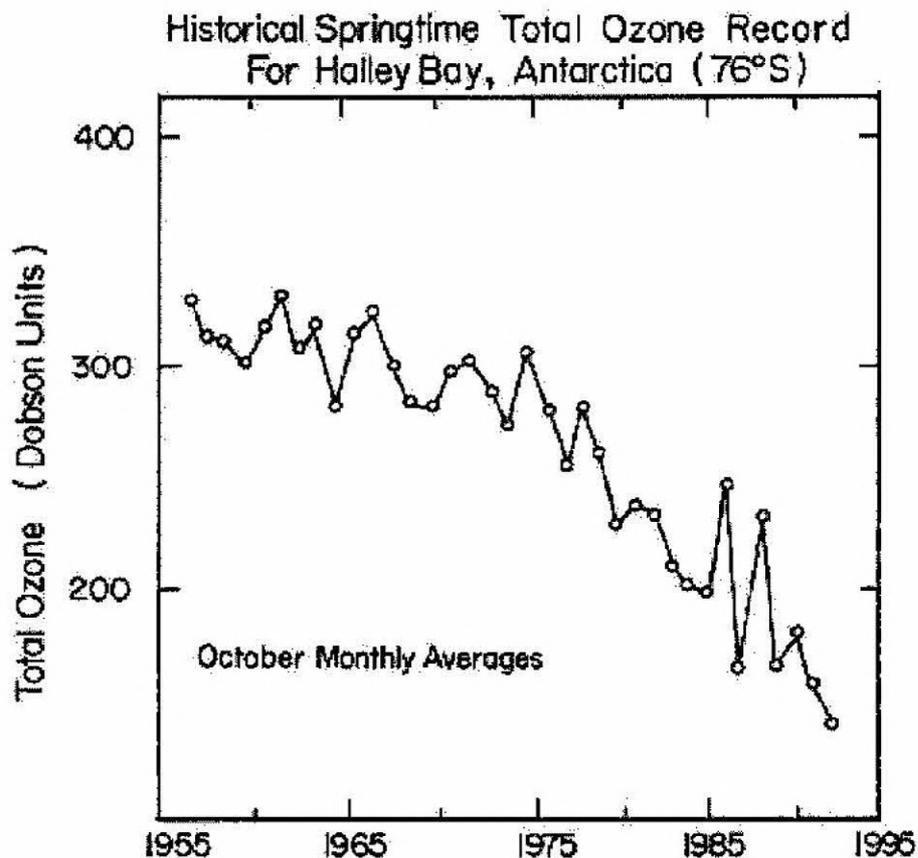


Figura 18: Medições de ozônio total na estação inglesa de Halley Bay (76°S e 27°W) da Antártica com um Espectrofotômetro Dobson, no período de 1956 a 1992, valores médios dos meses de outubro (Fonte: WMO, 1994).

Pode-se ver claramente a queda da coluna total de ozônio sobre esta região. As médias mensais calculadas com o Dobson indicam uma forte diminuição em outubro a partir da década de 60 e depois de 1974 ocorreu uma queda abrupta nas médias mensais de ozônio total.

A Figura 19 apresenta os mínimos observados entre os dias 1 de setembro e 30 de novembro de cada ano, no período de 1979 a 2000, sobre o Continente Antártico com os instrumentos TOMS instalados em satélites (NIMBUS-7, METEOR-3 e Earth Probe) da NASA.

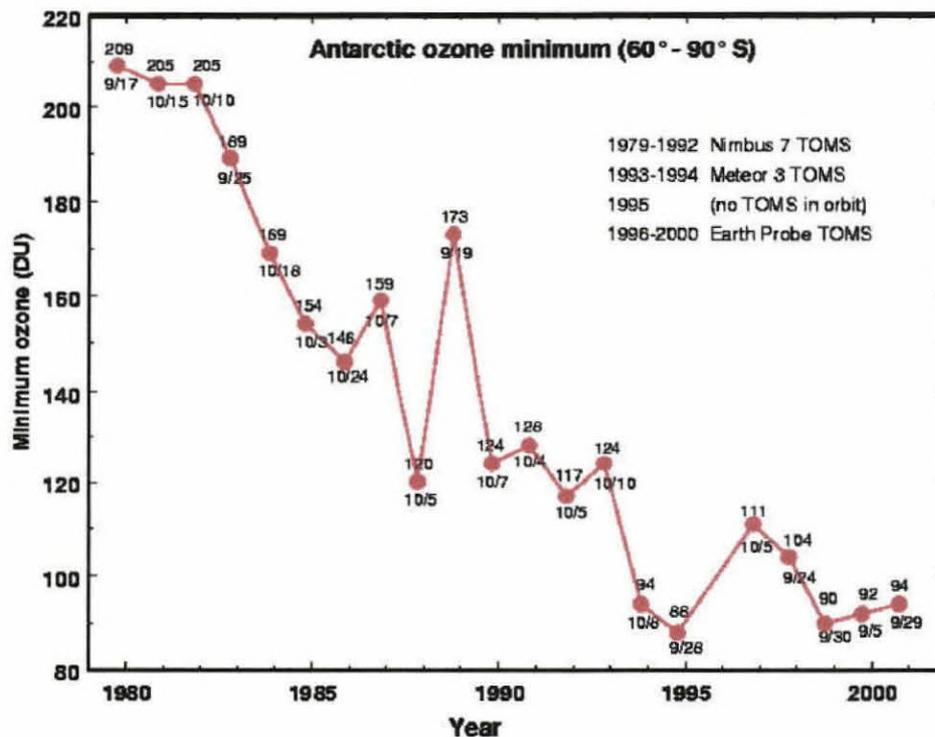


Figura 19: Mínimos médios diários observados, de 1979 até 2000, sobre o Continente Antártico, em latitudes entre 60° e 90°S, obtidos com instrumentos TOMS de 1 de setembro a 30 de novembro (Fonte: WMO,1998).

Os dados dos espectrofotômetros e dos satélites não fornecem informações sobre a distribuição vertical da concentração de ozônio. Por esta razão são importantes as medidas com sondas em balões, apesar do lançamento das mesmas ser complexo devido as condições meteorológicas difíceis na região, principalmente de ventos fortes. Por exemplo, observações da concentração de ozônio feitas com sondas em balões na estação McMurdo (78°S e 167°E), no ano de 1986, mostraram que a maior diminuição do conteúdo acontece entre as alturas de 12 a 22 km.

Na Figura 20.a têm-se dois perfis verticais com uma diferença de três dias, 6 e 9 de outubro de 1987, na estação Palmer (64°S e 72°W). O dia 9 tem características similares ao dia 16 de outubro em McMurdo no ano anterior. A diferença de três dias indica a rapidez com que se produz a quase perda total do pico do ozônio, entre os níveis de pressão de 100 e 30 mb. As áreas achuradas correspondem ao ozônio destruído. A Figura 20.b mostra um dia "normal", 28 de agosto de 1986, em que o perfil se apresenta com um pico entre 90 e 70 mb (aproximadamente entre 11 e 18 km). Quando ocorre a condição do "Buraco", como no dia 16 de outubro, não existe esse pico característico, inclusive entre 200 e 60 mb a pressão parcial é quase zero (WMO, 1989; Solomon, 1988).

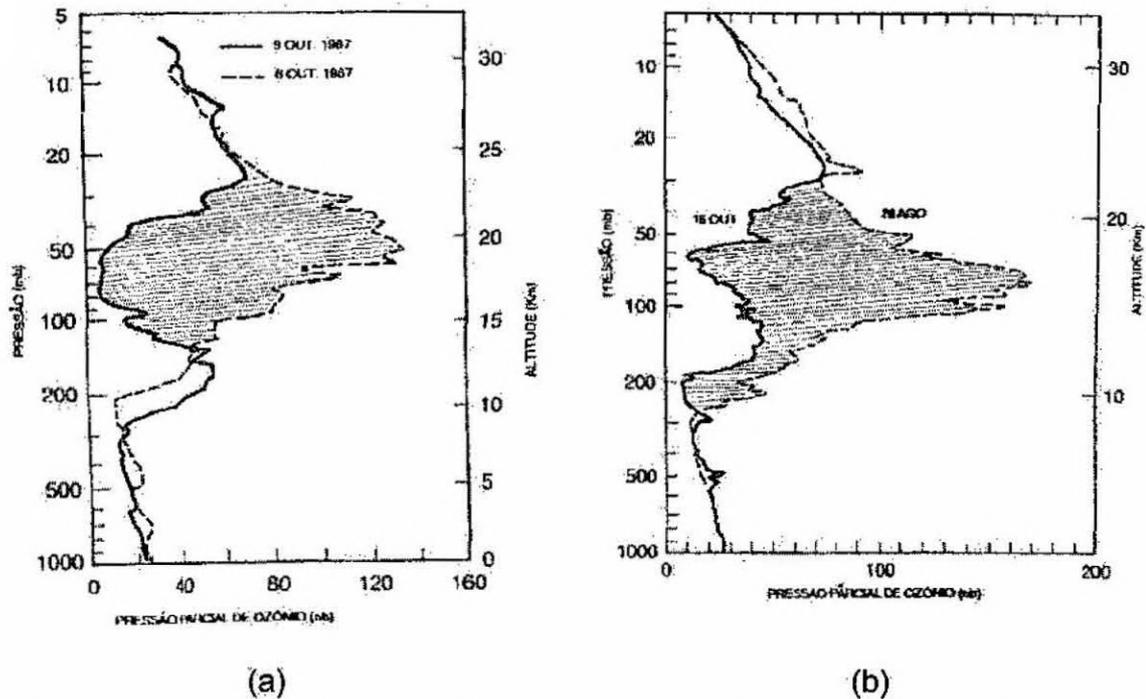


Figura 20: a) Perfil vertical de ozônio sobre Palmer, medições feitas com ozônio-sondas nos dias 6 e 9 de outubro de 1987; b) Perfil vertical de ozônio sobre McMurdo, medições feitas com ozônio-sondas nos dias 28 de agosto e 16 de outubro de 1986 (Fonte:WMO,1988).

Características muito similares ocorreram no ano de 1992 na Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (62°S e 58°W), como mostra a Figura 21.

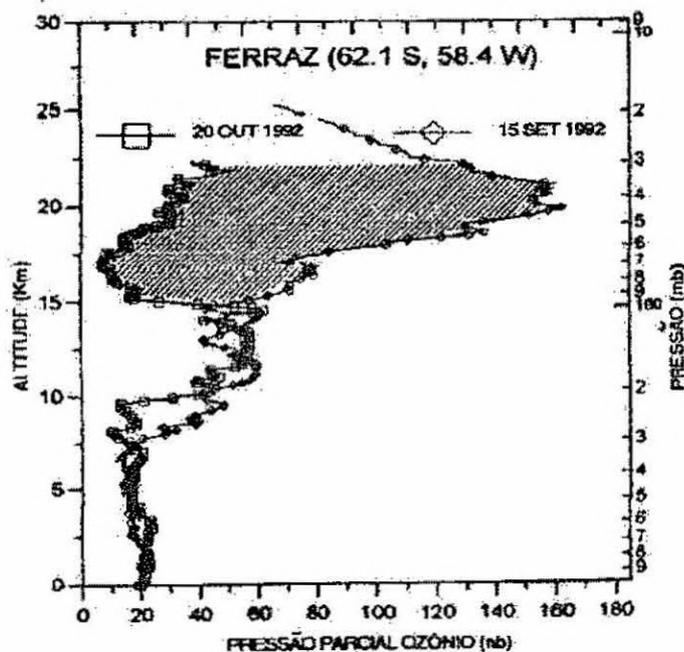


Figura 21: Perfil vertical de ozônio medido na Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz para os dias 15 de setembro e 20 de outubro de 1992 (Fonte: Kirchoff et al., 1994).

3.2.3.3 O Tamanho Do “Buraco De Ozônio Antártico”

Uma forma de caracterizar o “Buraco de Ozônio Antártico” é analisar a evolução da área que este ocupa, ou seja, o interior dos níveis de 220 UD. No ano de 1979 a área do contorno de 220 UD era de apenas 0,02 milhões de km^2 , em 1980 era de 0,45 e em 1981 de 0,24 milhões de km^2 . Após 1981 o crescimento da área média é rápido, em 1985 a área é de 13,3 milhões de km^2 e em 1993 é de 21,9 milhões de km^2 . Tal crescimento está apresentado na Figura 22, que mostra as médias das áreas atingidas de 7 de setembro a 13 de outubro do anos de 1979 a 2000, onde os valores medidos eram menores que 220 UD. Deve-se observar que já em 1987 a área atingida ultrapassou a totalidade do Continente Antártico. O ano de 2000, apresentou um recorde em valores de área atingida.

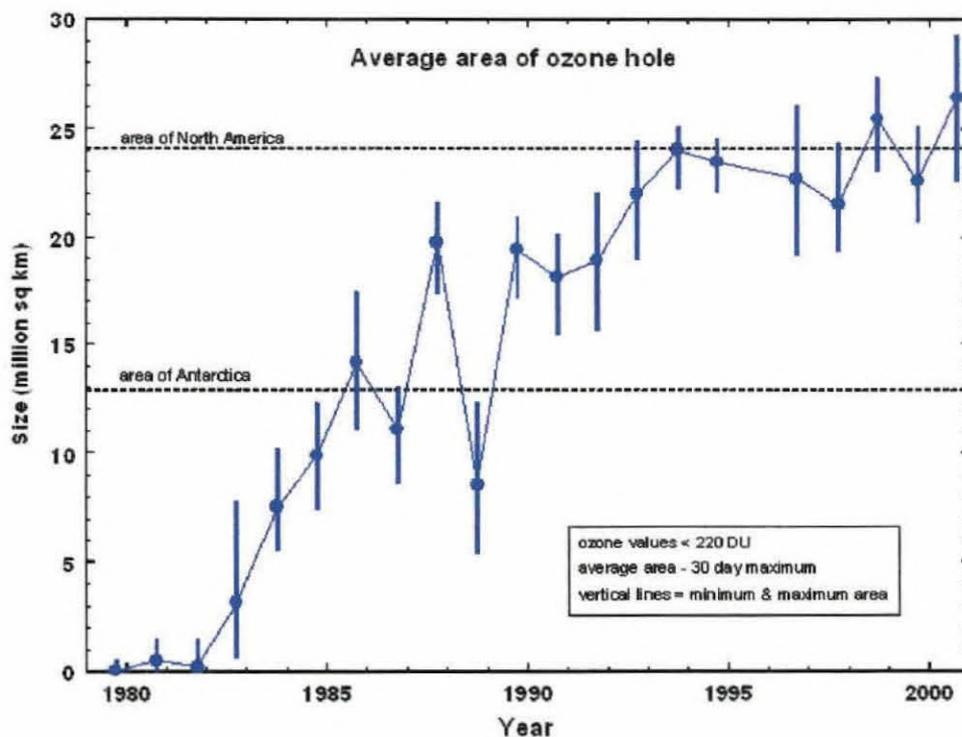


Figura 22: Variação da área média do contorno de 220 UD sobre a Antártica. Fonte:

<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

A Figura 23 mostra o comportamento da área do Buraco de Ozônio durante os últimos meses do ano, desde a formação deste no saída do inverno, até a sua extinção no final do ano, quando a Estratosfera Antártica estabiliza-se e os valores de ozônio ficam acima de 220 UD. A linha branca e a área acinzentada, mostram o comportamento médio, e os seus desvios, da extensão do Buraco de Ozônio calculado a partir dos dados de 1979 a 1992. A linha contínua mostra as grandezas de área do buraco ao longo dos meses para o ano de 1999. Os pontos

mostram as áreas do Buraco de Ozônio Antártico para o ano de 2000. Observe que em Setembro de 2000, o Buraco atingiu a maior área do ano e da história.

A Figura 24 apresenta o comportamento dos valores mínimos diários da Coluna Total de Ozônio observados pelo equipamento TOMS, nos últimos meses do ano, para o Hemisfério Sul. Em geral, as menores medidas de Ozônio ocorrem em meados de Outubro, seguido da recuperação gradativa dos valores até o final do ano, quando o fenômeno desfaz-se. A linha branca e a área acinzentada mostram o comportamento geral ao longo dos anos, desde 1979 até 1992. A linha contínua mostra os mínimos diários para 1999. Os pontos em cruz mostram os mínimos diários para o final do ano de 2000. Observe que os menores valores de mínimo diário para o ano de 2000 ocorreram no final de Setembro e início de Outubro. Em geral, os menores valores de *mínimos diários* de Ozônio coincidem com os maiores valores de área do Buraco de Ozônio.

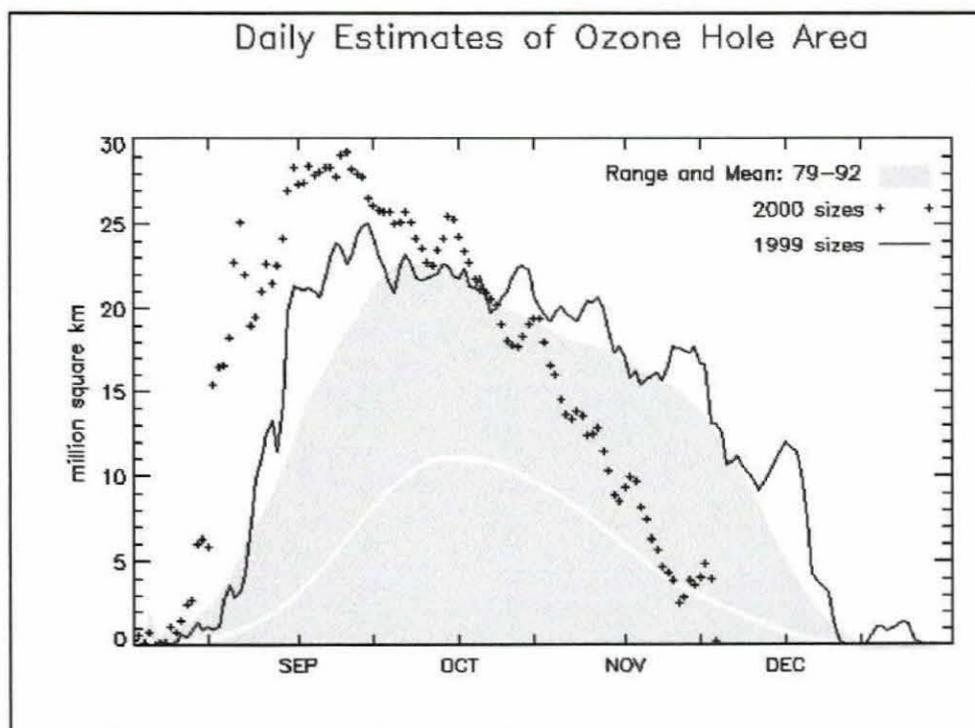


Figura 23 - Estimativa diária da área do Buraco de Ozônio Antártico para os meses de Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro. Fonte:

<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

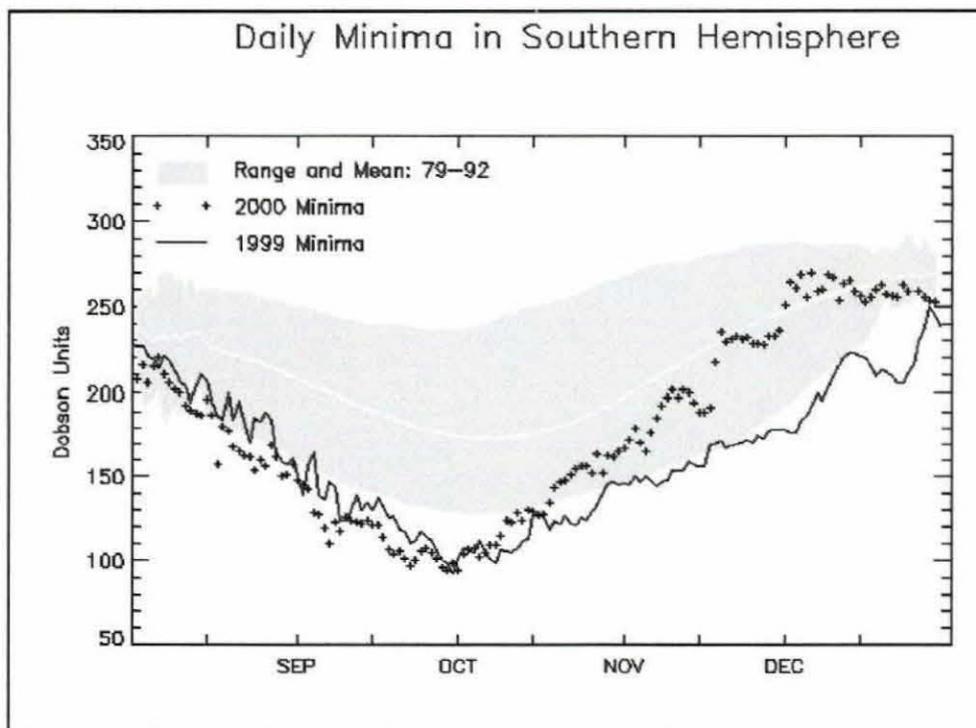


Figura 24 - Mínimos Diários da Coluna Total de Ozônio para os últimos meses do ano no Hemisfério Sul. Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

3.2.3.4 Teorias Sobre O “Buraco De Ozônio Antártico” - Resumo da Teoria dos Clorofluorcarbonos (CFCs)

A Teoria que na atualidade parece ser a mais consistente, aceita para a explicação da formação e característica sazonal do “Buraco de Ozônio Antártico”, é a Teoria Química dos Clorofluorcarbonos. Este fenômeno começa com a liberação de clorofluorcarbonos a nível do solo pelo homem moderno, principalmente no ciclo de refrigeração. Estes compostos são chamados genericamente de CFC, por exemplo:

$\text{CF}_2\text{Cl}_2 \Rightarrow \text{CFC} - 12$ ou Freon 12 (nome comercial)

Os CFCs são quimicamente inertes na Troposfera, mas na Estratosfera a radiação ultravioleta tem energia suficiente para dissociá-los, liberando o átomo de cloro.

Numa escala de tempo de décadas, os CFCs são transportados até a Estratosfera. Nesta região, onde a química é muito diferente daquela da Troposfera, os clorofluorcarbonos são fotodissociados e, como produto deste processo, são liberados átomos de cloro, pela reação:

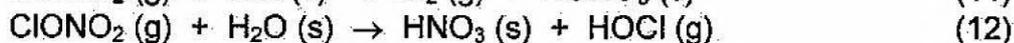
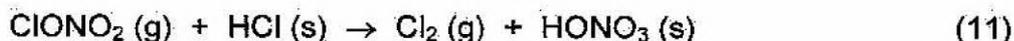


A fotodissociação não é constante com a altura. A Tabela 7 mostra os valores para o coeficiente de dissociação $J_{\text{CFC-12}}$ em função da altura, indicando que o tempo de vida da molécula de CF_2Cl_2 é maior na baixa Estratosfera até 30 km de altura.

Tabela 7: Coeficientes de Fotodissociação do CFC – 12 a diferentes alturas (Fonte: Shimazaki, 1985)

h (km)	$J_{\text{CFC-12}} (\text{s}^{-1})$
10	$1,04 \cdot 10^{-14}$
15	$3,26 \cdot 10^{-11}$
20	$2,58 \cdot 10^{-9}$
25	$3,46 \cdot 10^{-8}$
30	$1,84 \cdot 10^{-8}$
45	$1,11 \cdot 10^{-6}$
60	$1,76 \cdot 10^{-6}$
80	$2,56 \cdot 10^{-6}$
100	$2,90 \cdot 10^{-6}$

Os átomos de cloro liberados na reação (10) podem reagir com metano (CH_4) para formar ácido clorídrico (HCl). Da mesma forma, o átomo de cloro pode reagir também com ozônio para formar monóxido de cloro (ClO), o qual reage com dióxido de nitrogênio para formar nitrato de cloro (ClONO_2). As espécies HCl e ClONO_2 são chamadas de espécies reservatórias. No inverno estratosférico polar, em que as temperaturas são extremamente baixas, a época em que se formam as Nuvens Estratosféricas Polares (NEP, PSC – Polar Stratospheric Clouds), o HCl é dissolvido na superfície das partículas nas NEPs. Quando uma molécula de ClONO_2 colide com a partícula que contém HCl ou H_2O acontecem as seguintes reações químicas:

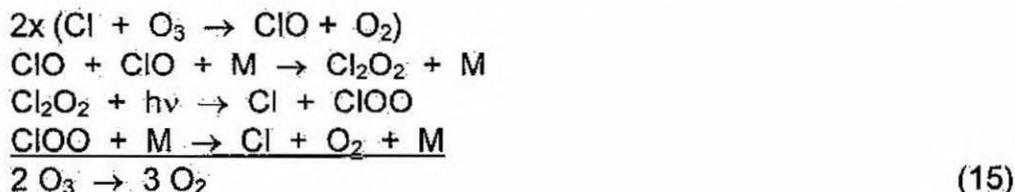


Onde (s) representa estado sólido e (g) estado gasoso.

Estas reações processam-se rapidamente no gelo, mas lentamente na fase gasosa. Um vez produzidos, o Cl_2 e o HOCl são extremamente instáveis na presença de luz ultravioleta. Com a chegada de luz solar no começo da primavera austral as seguintes reações de fotólise ocorrem liberando cloro:



Posteriormente à liberação do cloro pelas reações (13) e (14), existem mecanismos de perda de ozônio altamente eficientes. Um deles é o seguinte:



Esta cadeia destrutiva de reações químicas continuará a ocorrer, visto que o átomo de cloro sai livre das reações, podendo desencadear novamente a cadeia.

A cadeia de reações destrutiva só será encerrada se o cloro for novamente convertido nas espécies reservatório, através de reações com compostos nitrogenados NO_x , os quais regulam a abundância de cloro reativo. A principal forma com que o cloro é reconvertido em espécies reservatório é via reação com dióxido de nitrogênio:



Assim, a abundância de NO_2 controla a duração da cadeia de destruição de ozônio pelo cloro reativo. Desde que as Nuvens Estratosféricas Polares são compostas por formas hidratadas de ácido nítrico, estas formações removem os NO_x da fase gasosa, sendo que quanto maiores as partículas das NEP mais estes compostos são removidos. Isto faz com que a Estratosfera fique denitrificada, levando o cloro reativo a ter uma longa vida para destruição do ozônio.

Os processos da Química Heterogênea descritos anteriormente ocorrem devido a fatores muito especiais que acontecem em regiões polares, especialmente no Continente Antártico. As baixíssimas temperaturas observadas sobre a Antártica levam a formação das Nuvens Estratosféricas Polares, que são compostas por ácido nítrico trihidratado e cristais de gelo, e provêm superfícies para que as reações catalíticas descritas anteriormente ocorram muito mais rapidamente que na fase gasosa.

As Nuvens Estratosféricas Polares aparecem mais freqüentemente na Estratosfera da Antártica do que do Ártico, já que esta última é mais aquecida. Isto pode ser verificado através da Figura 25, onde é apresentada a freqüência de ocorrência destas nuvens nos dois pólos.

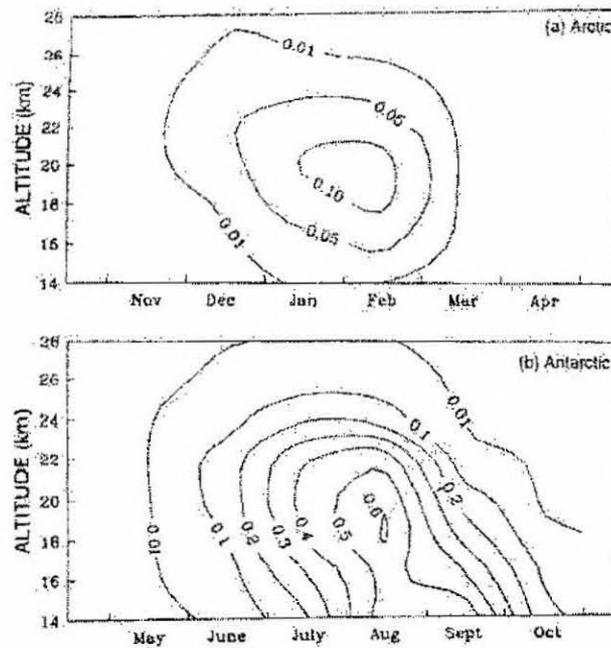


Figura 25: Frequência relativa de aparecimento das NEPs em observações de satélites SAM II, função da altura e do mês, sobre (a) Ártico e (b) Antártica. (Fonte:Salby, 1996).

Na Figura 26 é mostrado um perfil vertical de ozônio sobre a Antártica (Halley Bay) durante o inverno austral (linha sólida) e após o equinócio (linha tracejada), quando o Sol brilha novamente no horizonte. Uma marcante redução de ozônio ocorre entre 10 e 25 km de altura. Na linha cinza é apresentado o perfil de monóxido de cloro. Consistente com a queda de ozônio observada, concentrações máximas de ClO são medidas justamente entre 10 e 25 km de altura, precisamente a região onde ocorrem as NEP (Figura 25).

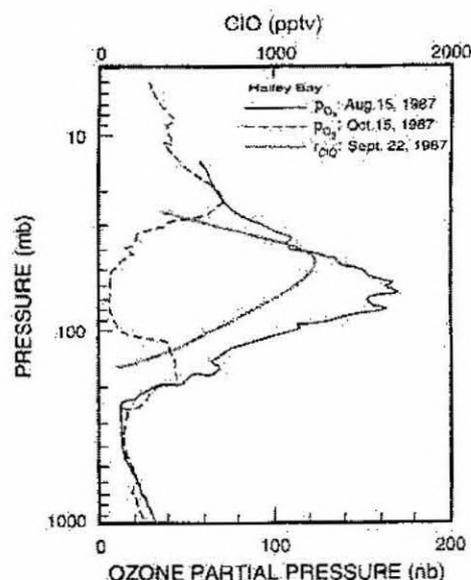


Figura 26: Perfil da pressão parcial de ozônio sobre Halley Bay durante o inverno austral (linha sólida) e após o equinócio da primavera (linha tracejada). Um perfil da razão de mistura do monóxido de cloro após o equinócio também é plotado (linha cinza). (Fontes:WMO, 1988; Solomon, 1990).

Esta teoria também fornece uma explicação para o fato de que o fenômeno do “Buraco de Ozônio” acontece na região Antártica com tanta intensidade e no Ártico com muito menor intensidade. Isto é devido ao vórtice polar antártico que é muito estável e com temperaturas suficientemente baixas que fornecem o clima favorável para a formação das Nuvens Estratosféricas Polares. Já o vórtice polar ártico não é estável, pois as temperaturas são maiores, sendo o vórtice várias vezes quebrado durante o inverno polar, permitindo a renovação do ar local, sendo a formação das NEPs esporádica. Por isto os processos de perda de ozônio não são suficientemente eficientes no Ártico.

O “Buraco de Ozônio Antártico” desaparece quando o Sol começa a atingir o Continente Antártico, fazendo subir a temperatura e destruindo as Nuvens Estratosféricas Polares. Com o desaparecimento das nuvens, a camada de ozônio começa a recuperar-se, mas só retorna totalmente ao estado normal em novembro/dezembro.

Alguns poucos detratores desta teoria não concordam que a fonte principal do monóxido de cloro na Antártica sejam os clorofluorcarbonos e sim fontes naturais. As fontes de cloro naturais são os oceanos e os vulcões. Porém, a maioria do cloro na Atmosfera originou-se de substâncias químicas artificiais, antropogênicas. Sem o desenvolvimento dos CFCs fabricados pelo homem, não haveria quase nenhum cloro na Estratosfera, pois as formas de cloro emitidas pelas fontes naturais têm constantes de tempo baixas na Troposfera, sendo rapidamente consumidos por reações com os compostos atmosféricos. Além disto, as concentrações de cloro na Atmosfera, que eram da ordem de 0,6 ppbv na década de cinquenta, tem aumentado rapidamente de uma ordem de grandeza de cinco vezes devido às emissões antropogênicas.

Um histórico do aparecimento do “Buraco” e das teorias a ele relacionadas é apresentado de forma simplificada por Gribbin, 1988.

4 METODOLOGIA

Os instrumentos do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico (PMOA), medidores da Coluna Total de Ozônio e da Radiação Ultravioleta incidente, estão instalados no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE) em São Martinho da Serra, aproximadamente nas seguintes coordenadas geográficas, medidas no ponto onde está instalado o Espectrofotômetro Brewer:

Latitude: 29.44° Sul
Longitude: 53.82° Oeste

O Prédio 1 do OES é destinado basicamente ao PMOA. Neste prédio, e em torno dele, estão instalados:

- um Radiômetro UV-B modelo MS-210W e um Radiômetro Biômetro, medidores de Radiação Ultravioleta;
- o Espectrofotômetro Brewer MKII #056;
- o Sistema de Sondagens W-9000, com a antena de recepção de dados das sondagens estratosféricas (feitas através de balões com sondas que medem ozônio) e antena GPS de localização da sonda.

O Prédio 1 abriga ainda um pequeno laboratório para preparação das sondas medidoras de ozônio, uma sala para recepção dos dados de sondagem e uma sala onde fica instalado o computador que controla e armazena os dados do espectrofotômetro Brewer. Na Figura 27 observa-se uma foto do Observatório mostrando em primeiro plano o Prédio 1, a antena do sistema W-9000 e o Espectrofotômetro Brewer (à direita), e mais ao fundo, o Prédio 2.



Figura 27 – Foto do Observatório Espacial do Sul, mostrando os Prédios 1 e 2 e alguns equipamentos lá instalados.

4.1 SISTEMA METEOROLÓGICO W 9000

4.1.1 DESCRIÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA

O Sistema de Processamento Meteorológico Zeemet W-9000 é um conjunto, altamente sofisticado, de equipamentos modulares integrados e software, que fornece perfis de dados meteorológicos de alta resolução através da utilização de dados coletados por telemetria, da radiossonda e da sonda de ozônio, quando esta está acoplada ao sistema, e que permitem a medição da média e baixa Atmosfera.

Incorporando um sistema de “Arquitetura Aberta”, o W-9000 atende às especificações padrões que possibilitam comunicações nos dois sentidos entre computadores e periféricos. Com tal flexibilidade, o sistema pode ser configurado

para uma variedade de requisitos, como a sondagem de ozônio, com um mínimo de equipamentos e software dedicado.

Assim, o pacote de ozônio W-9000/Microsonda Mark II consiste de elementos de equipamentos e software, que permitem sondar com uma Microsonda Mark II especialmente configurada, acoplada a uma sonda de ozônio do tipo ECC (Célula de Concentração Eletroquímica), que aqui será descrita pela sonda da Companhia EN-SCI, e obter um perfil vertical dos dados de ozônio, pressão, temperatura, umidade relativa e ventos para estudos durante e após a sondagem. O conjunto radiossonda e sonda de ozônio são lançados acoplados em balões meteorológicos que podem ser tanto de 1500 quanto de 2000 gramas, dependendo da altura que se quer medir.

O sistema subdivide-se em três partes, que podem ser vistas na Figura 28:

- Dispositivos de aquisição de dados, tais como radiossondas e sondas de ozônio;
- Bastidor Zeemet: uma unidade modular para recepção e acondicionamento de sinal;
- Microcomputador padrão de controle do sistema com periféricos associados para análise e processamento de dados.

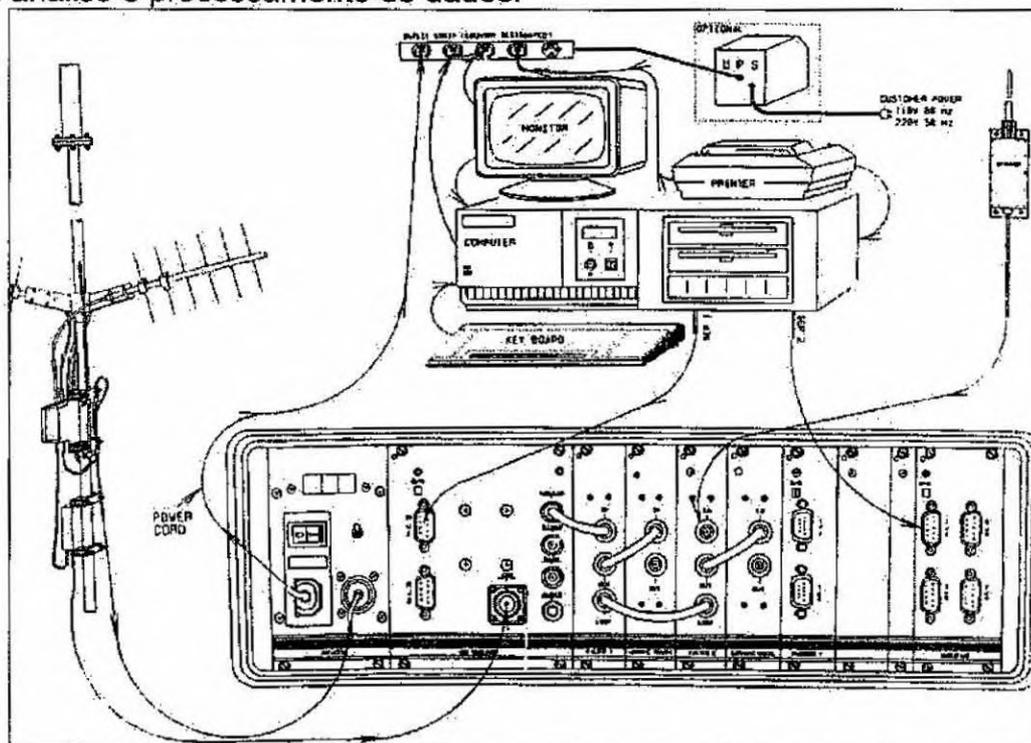


Figura 28 - Visão esquemática do Sistema de Processamento Meteorológica W-9000, onde aparecem, em primeiro plano, o bastidor Zeemet (no centro), as antenas Omni-Yagi (à esquerda) e o sistema de controle por computador. (Fonte: Catálogo do Sistema de Processamento Meteorológico W-9000)

4.1.2 MICROSSONDA MARK II

A microsonda Mark II é uma sonda digital constituída de três subconjuntos contidos em um estojo de espuma moldada (poliestireno expandido). O conjunto dos sensores suporta os sensores de pressão e umidade e fornece suporte para o braço do elemento de temperatura. O conjunto

transmissor contém um transmissor de alta estabilidade. No terceiro conjunto esta o cordão que une a sonda ao balão.

Para oferecer um ambiente adequado ao sensor (de carbono) de umidade, a caixa da sonda tem um duto que serve para proteger o elemento contra o aquecimento solar e de respingos diretos de chuva. O duto é essencial para a operação correta do sensor de umidade.

O peso da sonda é de aproximadamente 350 gr. O pequeno peso associado a um volume razoável aumenta a fragilidade da sonda e reduz o risco de danificar aeronaves ou objetos no solo quando de sua queda.

A sonda é equipada com três sensores meteorológicos e tem capacidade de canal para adicionar mais quatro outros sensores caso necessário. Os três sensores meteorológicos da sonda são:

- *Sensor de Pressão* - É construído com Nispan-C laminado a frio e tratado com calor para atingir coeficientes de temperatura nulos, ou seja, trata-se de uma cápsula aneróide capacitiva de leitura contínua. A cápsula é, então, calibrada com a eletrônica do interfaceamento para fornecer coeficientes polinomiais. A medição da pressão é feita através da determinação da capacitância entre as duas placas paralelas situadas no interior do aneróide. A esta capacitância está associada uma corrente, que é transformada em sinais digitais pela interface da Mark II e é enviada ao W-9000. No sistema W-9000 este sinal é interpretado fornecendo um valor de pressão. As radiossondas produzidas a partir de 1998 podem não ter mais este sensor, dependendo da solicitação do cliente, visto que a altura e pressão de onde a sonda se encontra são fornecidos pelo sistema GPS.

- *Sensor de Temperatura* - O sensor de temperatura é extrudado de um óxido de ferro. O óxido é queimado, tratado e chapeado em ambas as extremidades e são adicionados finos fios condutores. Após um teste de rastreamento da curva e determinação do valor da resistência de "amarração", os termistores são revestidos com material refletor. Finalmente a superfície do termistor é tratada para impedir a aglutinação de pingos d'água após a passagem por chuva ou nuvens. A medição da temperatura é feita a partir da determinação da resistência do resistor. Assim uma corrente é associada a esta resistência, que depois de ser tratada e enviada ao W-9000, é interpretada como um valor de temperatura.

- *Sensor de Umidade* - A umidade é medida pela variação da resistência de uma película de carbono depositada sobre um substrato de acrílico. Assim, com a variação da resistência, há uma variação de corrente. Essa variação é enviada a interface da sonda, transformada em sinal digital e, então, é transmitida ao W-9000 onde é interpretada como um valor de umidade.

O transmissor da Microsonda Mark II é um circuito de múltiplos estágios de alta estabilidade. Ele é isolado da antena da sonda, reduzindo assim os efeitos dos saltos de frequência durante a preparação para o lançamento. Para minimizar as faixas de temperatura vista pelo transmissor, ele é revestido com poliestireno para reter o calor dissipado nos dispositivos ativos do transmissor.

Para cobrir a faixa de 400 MHz a 406 MHz o transmissor é sintonizável pelo lado externo do estojo. A frequência de transmissão da sonda é recebida na estação de terra por um receptor de UHF sintetizado, cujo oscilador local é referenciado a um oscilador a cristal.

A sonda transmite um fluxo de dados digitais a uma taxa de 4800 Bauds bifásicos, com código de correção de erros e CRC-16 para manutenção da integridade dos dados. O sinal de 4800 Bauds bifásicos é uma representação

binária dos dados formatados contendo informações meteorológicas (PTU – pressão, temperatura e umidade relativa), dados de posicionamento GPS (PVT – posição, velocidade e tempo) e o número de série da sonda. Estes são aplicados ao transmissor variando a frequência portadora em aproximadamente 150 kHz, criando uma transmissão que possui as características de GMSK. Adicionalmente, cada conjunto de dados é transmitido duas vezes para melhorar a recepção durante as condições de desvanecimento da transmissão, que pode ocorrer quando a sonda oscila a grandes altitudes. O fluxo de dados de 4800 Bauds modula a frequência portadora, de modo que o desvio pico-a-pico não exceda a 300 kHz. Pressão, temperatura e umidade são enviadas duas vezes a cada segundo.

A bateria utilizada na Microsonda Mark II é do tipo padrão, ativada a água. A energia fornecida pela bateria é suficiente para alimentar a sonda durante meia hora no solo e mais uma hora e meia em voo.

O sistema de localização GPS necessita de, pelo menos, quatro satélites locados durante o lançamento, pois três fornecem a posição exata da sonda e o quarto fornece a altura com maior acuracidade. Assim, o programa de controle do sistema só permite o lançamento da sonda quando estão locados quatro satélites. Na Figura 29 é apresentado o diagrama de blocos da Microsonda Mark II, onde aparecem claramente as duas antenas de recepção dos satélites GPS e de envio dos dados a estação de terra.

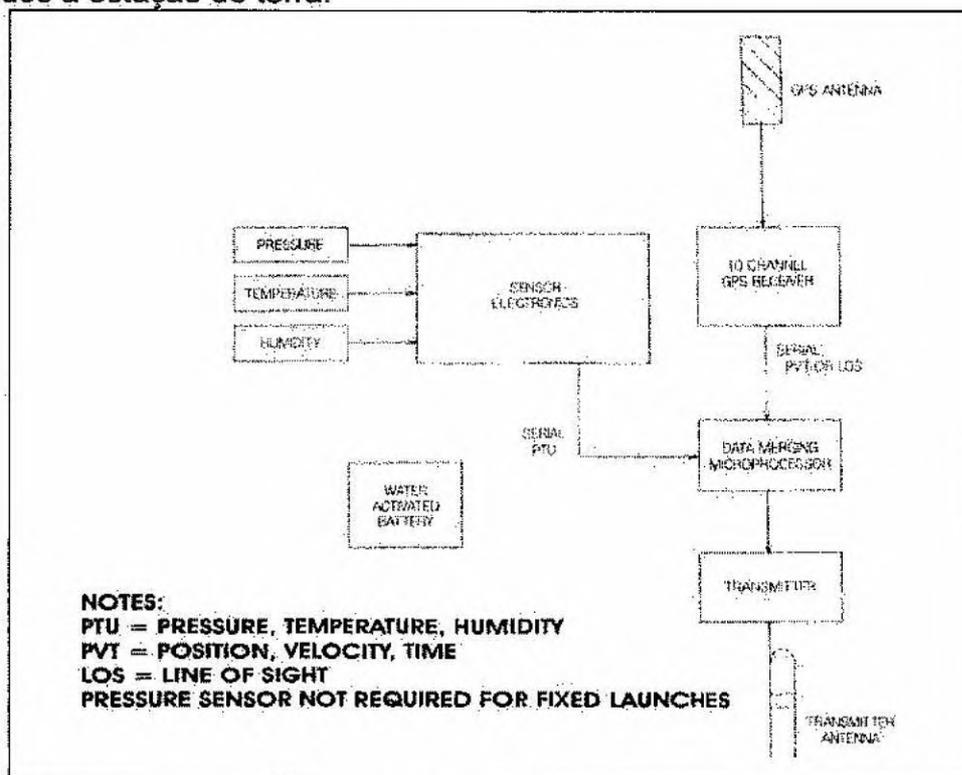


Figura 29: Diagrama de blocos da Microsonda Mark II GPS (Fonte: Folheto de especificações da Microsonda Mark II GPS, Ref. No. DS032)

4.1.3 OZÔNIO-SONDA ECC

A ozônio-sonda de célula de concentração eletroquímica é construída em uma estrutura rígida principal, onde são montados os motores acionadores da

bomba de gás, construída em Teflon/Vidro, os tubos de teflon, uma célula de concentração eletroquímica sensível a ozônio e uma caixa da interface eletrônica, conforme apresentado na Figura 30. Para subir até a Estratosfera, o conjunto é alojado em uma caixa de poliestireno moldado impermeável.

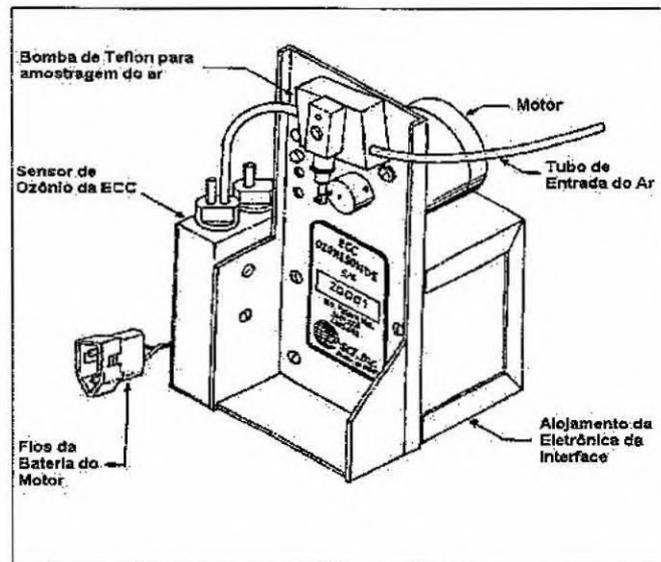
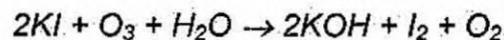


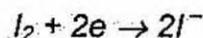
Figura 30: Ozônio-sonda de Célula de Concentração Eletroquímica (Fonte: Manual de Treinamento de Ozônio do Sistema de Processamento Meteorológico W-9000).

O sensor de ozônio da sonda ECC é constituído de dois eletrodos de platina imersos em soluções de iodeto de potássio (KI) de diferentes concentrações em câmaras de ânodo e cátodo separadas. As câmaras são ligadas com uma ponte iônica que, em adição com um íon, retarda a associação dos eletrólitos de ânodo e cátodo, preservando, deste modo, suas concentrações. Os eletrólitos contém também brometo de potássio (KBr) e um mediador, no qual a concentração em cada meia célula é a mesma. Obtém-se uma tensão na célula de aproximadamente 0,13 V, que é proveniente da diferença da concentração de iodeto de potássio das duas meias células. Desta forma, não é necessária uma bateria externa para operar a célula.

Quando o ozônio do ar entrar no sensor por ação da bomba da sonda, é formado iodo no cátodo da meia célula de acordo com a relação:



A célula converte o iodo molecular em íons de iodo de acordo com:



Durante este tempo, dois elétrons fluem para o circuito externo da célula. Medindo o fluxo de elétrons (isto é, a corrente da célula), junto com a relação da quantidade de ozônio que entra na célula por unidade de tempo, obtém-se a concentração de ozônio que entra por unidade de tempo. A concentração de ozônio de uma amostra de ar é dada por:

$$p_3 = 4,307 \times 10^{-3} (I_m - I_b) T_p t$$

Onde p_3 é a pressão parcial de ozônio em nanobars, i_m é a medida da corrente de saída do sensor em microampéres, i_b é a corrente de background do sensor (isto é, a corrente residual emanando da célula em ausência de ozônio no ar) em microampéres, T_p é a temperatura da bomba em Kelvins e t é o tempo em segundos tomado pela bomba da sonda para forçar uma amostra de gás de 100 ml de ar direto no sensor.

4.2 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER

Os *spectroradiômetros de alta resolução* são equipamentos que efetuam medidas de radiação através de varreduras (scans) em uma faixa de comprimentos de onda, determinando o fluxo de energia em determinadas bandas, com grande precisão.

O Espectrofotômetro Brewer é um desses instrumentos. Em geral é utilizado para medir a coluna total de ozônio e dióxido de enxofre, mas também pode medir radiação UV-B global, quando dotado de um kit especial. Alguns aparelhos podem também medir dióxido de nitrogênio. A medição de ozônio é indireta, e é baseada na atenuação que a radiação ultravioleta sofre, em diferentes comprimentos de onda, ao atravessar a coluna de ozônio.

Pode-se dizer então que a medição de ozônio é feita pela análise da absorção diferencial que o ozônio efetua sobre determinados comprimentos de onda. Os cinco comprimentos de onda operacionais, na medição de ozônio são: 306,3 nm, 310,1 nm, 313,5 nm, 316,8 nm, 320,1 nm.

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.

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 31: tripé, *tracker* e espectrofotômetro propriamente dito.

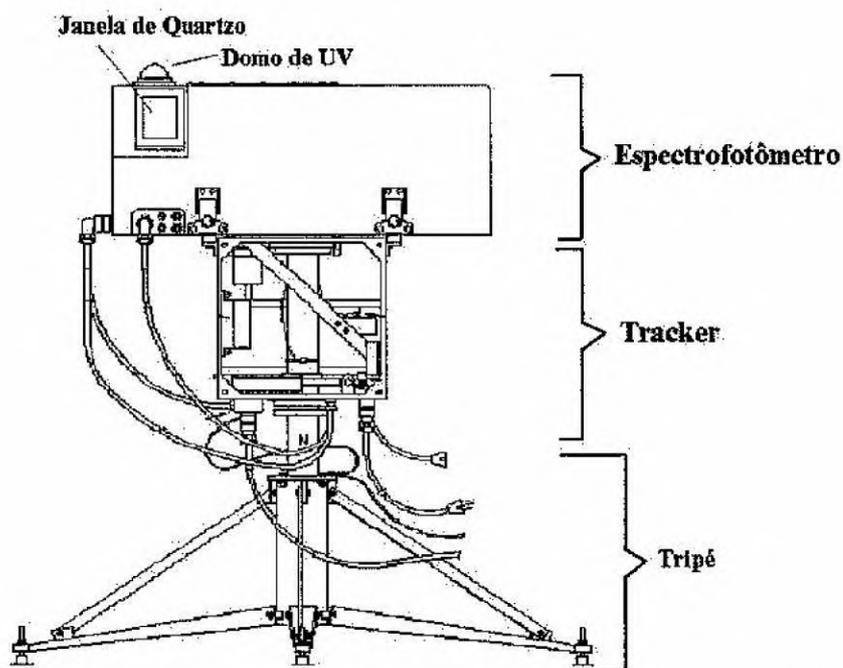


Figura 31: Espectrofotômetro Brewer com suas 3 partes principais.

O tripé é responsável pela sustentação do aparelho. O tracker tem a função de mover o Brewer de forma azimutal, posicionando a parte ótica do instrumento na direção do Sol, rastreando-o; constitui-se apenas de um motor que move o Brewer sobre uma roda fixa com o tripé. O espectrofotômetro é a parte que faz as medidas. Por si só, o espectrofotômetro funciona, mas o seu posicionamento precisa ser manual.

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.

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.

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. O Brewer possui duas lâmpadas de autocalibração com funções específicas e que localizam-se abaixo do prisma de zênite. Na Figura 32 pode-se observar a vista lateral do instrumento indicando as diversas posições do prisma de zênite e os percursos que a luz executa até atingi-lo, para depois entrar na íris.

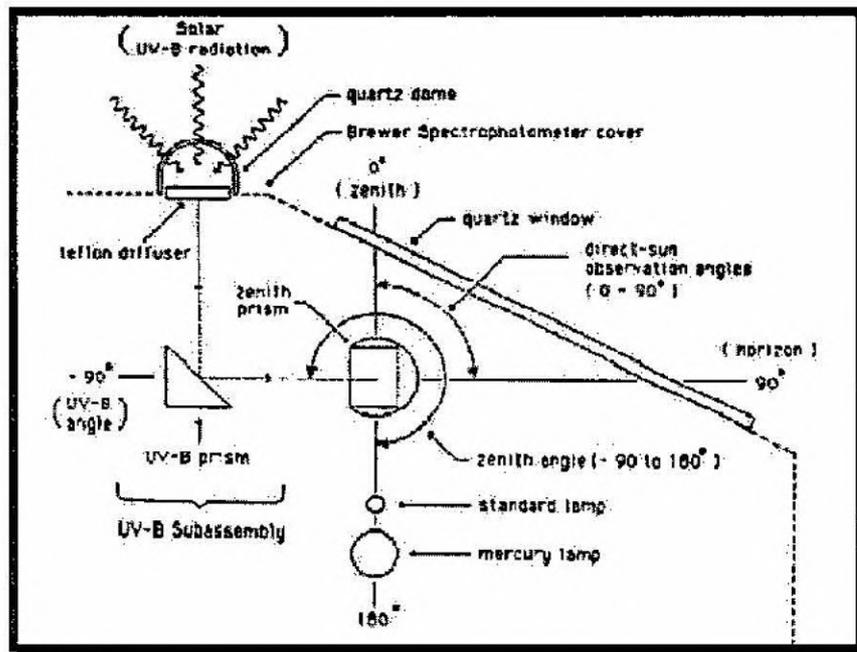


Figura 32: Vista do prisma rotativo de entrada da luz no Brewer.

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 será medido, na faixa de 290 a 325 nm. Cada comprimento de onda, a cada 0,5 nm é medido individualmente pela fotomultiplicadora, o que denomina-se *scan*.

Na Figura 33 pode-se observar um esquema dos componentes do sistema ótico do Brewer e o percurso da luz em seu interior

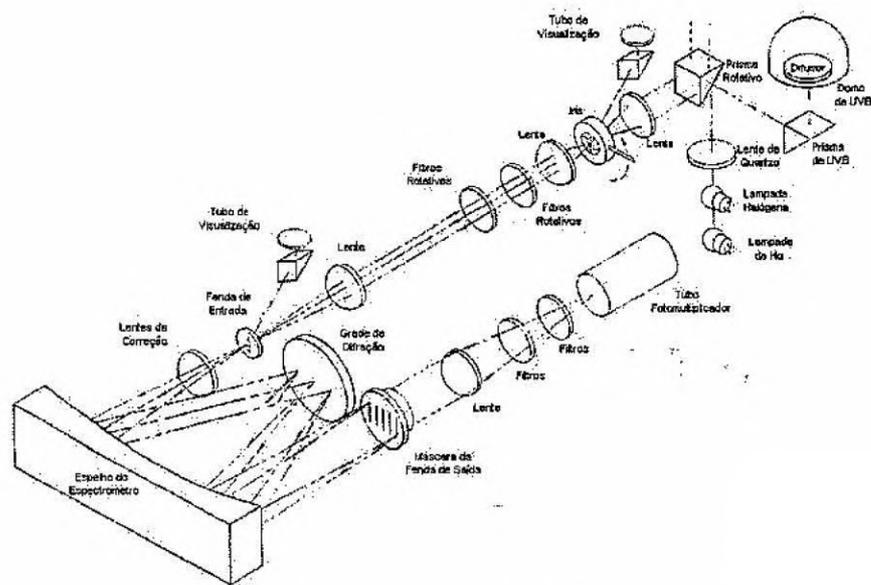


Figura 33: Vista esquemática dos componentes do sistema óptico do Brewer.

A Figura 34 apresenta uma vista superior do espectrofotômetro, mostrando também o percurso percorrido pela luz em seu interior. Pode-se observar que o espectrofotômetro é dividido em duas partes principais: Sistema Pré-óptico, formado pelos prismas de entrada de luz, pela íris e pelos filtros; e Espectrômetro, formado pelo espelho principal, a grade de difração, micrômetro, lentes de correção e máscara. Após percorrer esses sistemas a luz atinge a Fotomultiplicadora.

No tubo fotomultiplicador, os fótons de luz são convertidos em pulsos elétricos que são analisados pela parte eletrônica do equipamento e convertidos em medidas.

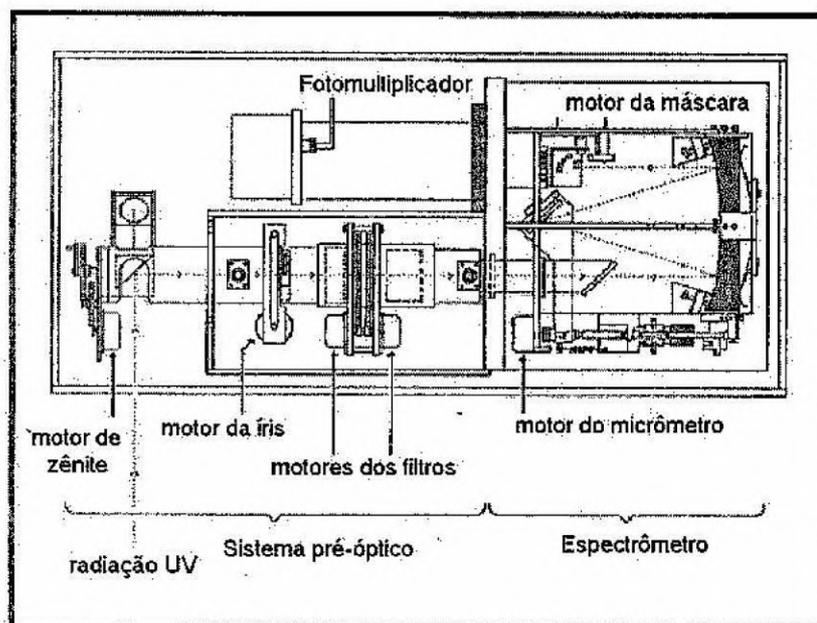


Figura 34: Vista superior do espectrofotômetro.

Na Figura 35 observa-se uma foto do Espectrofotômetro Brewer modelo MKII #056 instalado no Observatório Espacial do Sul desde Abril do ano 2000, onde vem medindo a coluna total de Ozônio e Dióxido de Enxofre, e a radiação Ultravioleta incidente em comprimentos de onda particulares.



Figura 35: Espectrofotômetro Brewer MKII número 056, instalado no OES.

4.2.1 DADOS COLETADOS PELO BREWER

Os dados de Ozônio do Brewer são gravados em arquivos de registro, sendo em seguida tabelados e gravados no Banco de Dados no LACESM/UFSC.

Os dados de Ultravioleta são gravados em arquivos no formato *Uvdddyy.056*, onde *ddd* representa o dia Juliano e *yy* o ano. O número 056 é o número de identificação do equipamento. Esses arquivos são mais complicados pois armazenam as medidas de Ultravioleta em cada comprimento de onda medido. É necessário um software para interpretar as medidas.

Periodicamente, é efetuada a calibração do Brewer com lâmpadas externas. Sobre o domo de UV do Brewer é adaptado um kit com uma lâmpada padrão. O aparelho faz a varredura do espectro da lâmpada, da mesma forma como se estivesse medindo radiação UV solar. Cada lâmpada possui um arquivo contendo as potências padrão emitidas em cada comprimento de onda, o que é determinado em laboratório na fábrica. Utilizando-se um software, compara-se os padrões da lâmpada com o arquivo gerado na calibração. Assim, calcula-se o erro cometido pelo Brewer na medida da luz da lâmpada. Esse erro, é o mesmo que o aparelho comete ao medir a radiação solar.

A partir da análise desses erros é gerado um arquivo de resposta no formato *Uvrdddyy.056*. O arquivo UVR “corrige” os dados de Ultravioleta do arquivo UV, quando analisamos este em software próprio.

4.3 BIÔMETRO

O Biômetro (*UV – Biometer*) modelo 501 A foi desenvolvido como uma nova geração do instrumento Robertson – Berger, medidor da intensidade da radiação UV utilizado desde a década de 1970. O princípio da medição baseia-se na detecção da luz emitida por um elemento composto de fósforo, com um diodo de arseneto de gálio – GaAs. A radiação solar que atinge o domo do radiômetro é parcialmente filtrada de modo que a luz que excita o componente de fósforo corresponde à radiação UV na faixa de 280 – 340 nm. A radiação medida é ponderada com o espectro de ação de eritema de McKinlay – Diffey (1987), simulando a sensibilidade da pele humana à radiação UV-B. O tempo de integração geralmente utilizado é de uma hora, e o resultado obtido é a dose de energiadadosa à pele humana, em “MED’s”. A resposta do cosseno do ângulo solar zenital do sensor resulta em um erro de no máximo 6% para ângulos solares de zênite $< 70^\circ$. A Figura 36 apresenta o diagrama esquemático de um Biômetro.

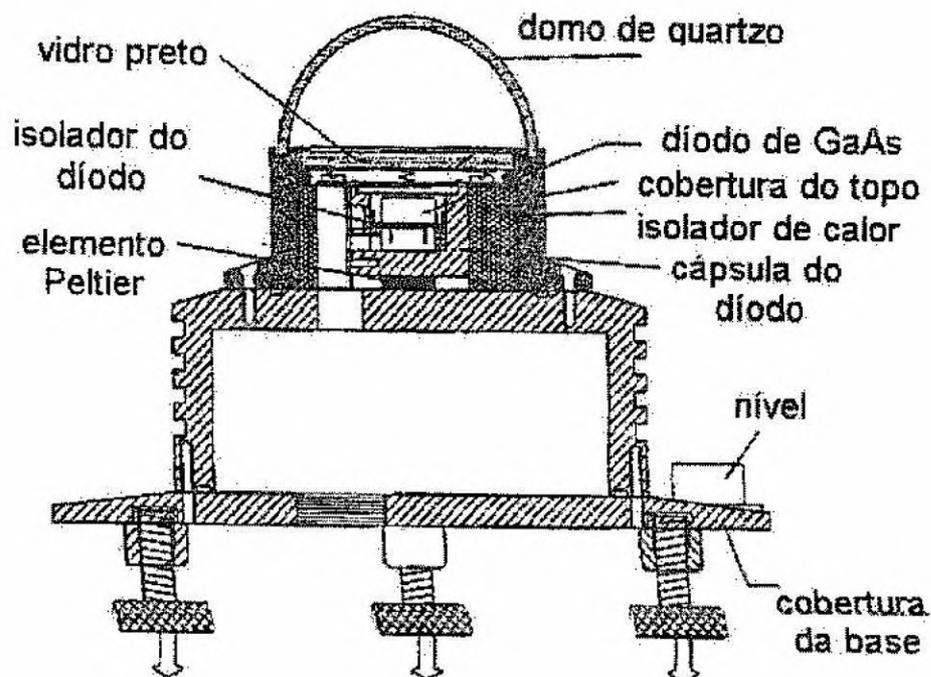


Figura 36: Diagrama de um Biômetro

4.4 RADIÔMETRO UV-B MS-210W

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.

Os dados desses 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.

Pode-se comparar as medidas de radiação ultravioleta deste equipamento com o Espectrofotômetro Brewer a fim de atestar a confiabilidade dos mesmos. A Figura 37 mostra uma foto do Radiômetro UV-B instalado sobre um poste próximo ao Prédio 1.



Figura 37: Radiômetro UV-B modelo MS-210W, instalado no OES.

4.5 SOFTWARE BREWER UV DATA FILES ANALYSIS PROGRAM

Para efetuar o reprocessamento dos arquivos UV do Brewer e convertê-los em dados de irradiância e integrais diárias, utiliza-se esse software desenvolvido por Martin Stanek da Czech Republic. É um programa externo aos do Brewer, e que permite uma análise mais detalhada dos dados de Ultravioleta.

O software chama-se *Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program*, e existiram duas versões antes da atual, 1.0 e 2.0. A versão atual é a 2.1 e é semelhante à 2.0. Em relação à versão 1.0, o programa atual apresenta muito mais recursos para análise dos dados.

O programa reprocessa os dados dos arquivos UV fazendo uso de um arquivo UVR. Pode-se aplicar 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*, como é usualmente chamado, apresenta uma saída gráfica com análises temporais e espectrais dos dados, onde pode-se 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 e o ângulo zenital solar.

Na Figura 38 observa-se a interface do programa mostrando a análise de um arquivo UV do dia 23 de Junho de 2001. 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, ou seja, por volta de 12:30 local, pois a diferença em relação ao horário GMT é de três horas, o que comprova a maior valor de radiação ocorre por volta do meio dia. 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.

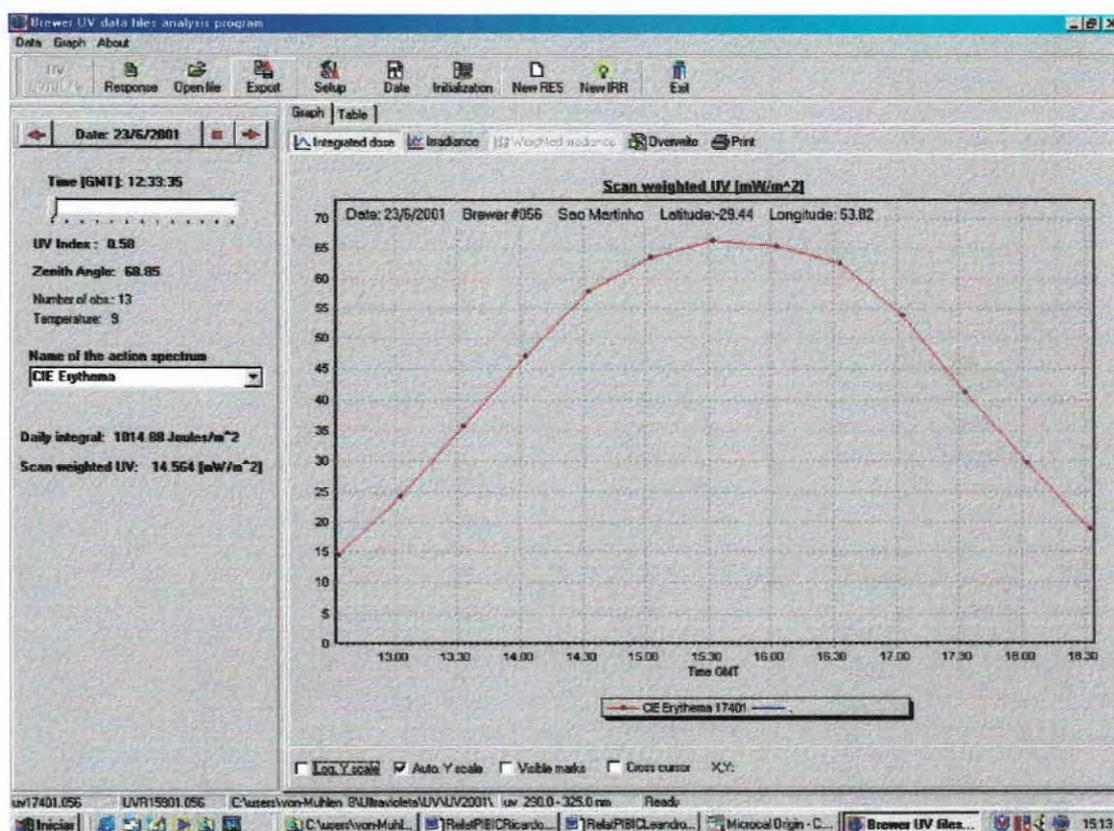


Figura 38: Interface do Software Brewer UV Data Analysis Program v.2.1, mostrando uma curva do comportamento diário da radiação ultravioleta efetiva.

No lugar do gráfico mostrando o comportamento da radiação ultravioleta ao longo do dia, pode ser apresentado um gráfico da irradiância determinada em uma medida do aparelho. A irradiância mostra as potências (taxas de energia transportada pela radiação) medidas em cada comprimento de onda. Na Figura 39 observa-se uma curva vermelha indicativa da irradiância bruta, e uma curva azul muito pequena, representando a irradiância pesada no espectro Eritema. A integral da curva azul em relação ao comprimento de onda resulta na potência eritematosa total incidente sobre o aparelho naquele instante.

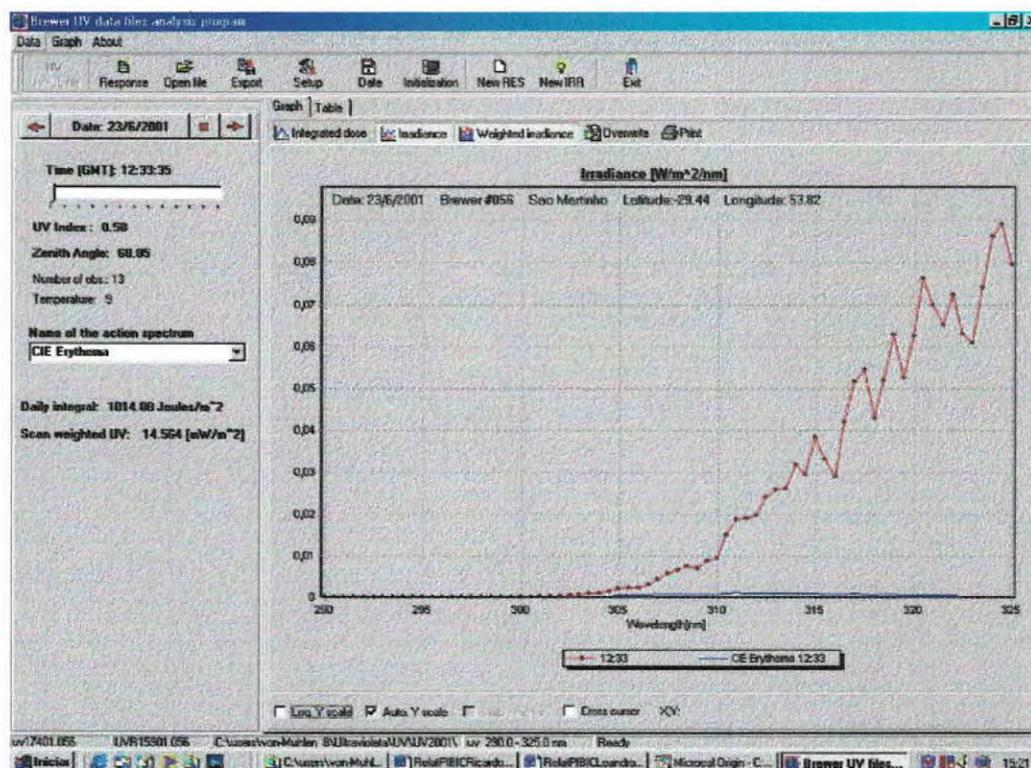


Figura 39: Interface do Programa UV Brewer mostrando a irradiância medida em determinado horário.

4.6 DADOS DE OZÔNIO OBTIDOS PELO EQUIPAMENTO TOMS

Outra fonte de dados da Coluna Total de Ozônio é o equipamento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) a bordo do satélite Earth Probe. O Programa TOMS, da NASA (National Aeronautics and Space Agency), existe desde 1979 e este equipamento já acompanhou outros três satélites. O equipamento em operação atualmente funciona desde 1996.

O método de medida do TOMS é o chamado Backscatter Ultraviolet (BUV). Este método consiste na medição da radiação que entra na Atmosfera Terrestre em comprimentos de onda particulares, e da radiação UV que é refletida pela superfície ou retroespalhada pela Atmosfera nos mesmos comprimentos de onda. A Figura 40 mostra a geometria de observação utilizada pelos satélites que empregam essa técnica.

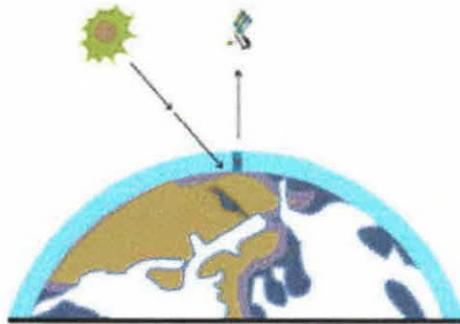


Figura 40: Geometria de observação empregada pelos satélites BUV.

O TOMS faz amostragem da radiação UV retroespalhada em 6 comprimentos de onda, que sofrem absorção diferencial pelo ozônio. Comparando essas medidas entre si e com as medidas provenientes do Sol, o algoritmo do TOMS calcula a coluna total de ozônio.

Os satélites provocaram uma verdadeira revolução no estudo da Camada de Ozônio, pois habilitaram as medidas a se expandir da Atmosfera local (acima de um grupo isolado de estações com equipamentos de solo) para uma cobertura global diária, fornecendo dados amplos. Em órbita, satélites são capazes de observar a Atmosfera em qualquer tempo (clima) e sobre as regiões mais remotas da Terra. São capazes de medir ozônio total, perfis verticais de ozônio, e elementos da química atmosférica. A maior importância reside nos mapas globais e hemisféricos de distribuição de ozônio que permitem acompanhar a dinâmica do ozônio estratosférico e observar o desenvolvimento de fenômenos como o Buraco de Ozônio Antártico.

No LACESM é mantido um banco de dados com as medidas da coluna total de ozônio, em UD, que o TOMS executou nas coordenadas do OES. Além disso são arquivadas as imagens de satélite diárias produzidas pelo TOMS, permitindo a montagem de seqüências de imagens com a finalidade de observar o desenvolvimento do fenômeno Antártico e as suas influências sobre a Camada de Ozônio da região central do Rio Grande do Sul (Efeitos Secundários da Buraco de Ozônio Antártico).

Os dados do TOMS são freqüentemente utilizados para comparações com as medidas de ozônio do Espectrofotômetro Brewer, com a finalidade de atestar a acuracidade dos dados.

5 ATIVIDADES DO BOLSISTA

5.1 VISITAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Atualmente os integrantes do Programa de Monitoramento Atmosférico realizam visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul (OES), situado em São Martinho da Serra, distante aproximadamente 55 Km de Santa Maria. Normalmente estas visitas são realizadas em sextas-feiras. A finalidade destas visitas é efetuar a manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos lá instalados, além de efetuar testes, verificar se os equipamentos estão funcionando bem para assegurar uma excelente qualidade dos dados.

Além disto, uma outra atividade que é muito importante e é realizada sistematicamente, é o lançamento de sondas estratosféricas, para medir diversos parâmetros atmosféricos, entre eles o perfil vertical da Camada de Ozônio, o perfil vertical de temperatura, a umidade relativa do ar e a direção e velocidade dos ventos. Estas sondagens ocupam bastante tempo, pois são necessários a preparação das sondas, testes, lançamento e recepção dos dados e normalmente não são realizadas nos mesmos dias em que a manutenção dos equipamentos é efetuada, sendo necessária mais de uma visita semanal ao OES.

Outras finalidades destas viagens semanais são a coleta dos dados dos equipamentos; a cópia de novos *schedules* para o micro do Brewer. Estes *schedules* são arquivos que contém a rotina de medidas que o aparelho deve executar. Atualmente, os *schedules* podem ser copiados via FTP, assim como os dados.

Ocorre um revezamento entre os integrantes do PMOA, do qual o bolsista também faz parte, para formar as equipes que vão até o Observatório.

5.2 PARTICIPAÇÃO NO PREPARO E LANÇAMENTO DE SONDAS

Durante o período de bolsa participou-se dos trabalhos envolvidos para a realização de sondagens estratosféricas. Anterior ao lançamento, é necessário que se efetue a calibração das sondas, procedimento este que é feito no OES. Esta calibração tem como objetivo verificar se as sondas, tanto radiossonda quanto ozoniossonda estão funcionando corretamente, ou seja, respondendo de forma adequada aos parâmetros testados e com isto prontas para o lançamento. Além disso, faz-se a limpeza da sonda de ozônio e também serve para calibrar a sonda de ozônio e prepará-la para o lançamento.

Este procedimento é feito normalmente uma semana antes do lançamento. No dia do lançamento todos os procedimentos de preparo são tomados, tais como o ajuste da frequência da radiossonda, se necessário, a limpeza da ozoniossonda, a verificação da resposta da ozoniossonda, o enchimento do balão, verifica-se se os satélites para a navegação GPS são suficientes e com boa qualidade de sinal, além do acompanhamento da sondagem durante o voo.

Detectou-se um problema junto ao sistema de sondagem no dia 24 de Março de 2001, quando preparava-se uma sonda para o lançamento. Após várias tentativas de ressetar o sistema, entrar no programa com os dados requisitados e não alcançando-se sucesso no sentido de que o sistema voltasse a funcionar, desistiu-se de realizar a sondagem naquele dia.

Após vários contatos com técnicos e pesquisadores do INPE, bem como com técnicos da empresa brasileira que representa a empresa da qual foi adquirido o Sistema, chegou-se ao defeito e corrigiu-se o mesmo. Os passos tomados para corrigir o problema encontram-se no Anexo 1.

5.3 MANUTENÇÃO E COLETA DE DADOS DO BREWER

O Espectrofotômetro Brewer é um aparelho bastante delicado, em parte devido à sua grande complexidade e precisão. Para que o equipamento faça medidas precisas da Coluna Total de Ozônio e da radiação Ultravioleta incidente, é necessária uma manutenção freqüente de forma a prevenir problemas futuros ou interferência na coleta de dados, assegurando desta forma uma excelente confiabilidade dos dados. A Figura 41 mostra o equipamento sem a tampa superior, mostrando suas estruturas internas.



Figura 41: Brewer 056 sem a tampa superior. A caixa preta à direita, no interior do aparelho, abriga o sistema ótico do mesmo.

Ao chegar em São Martinho da Serra o operador deve verificar se o Espectrofotômetro Brewer está ligado e funcionando normalmente. Verificar se a data e hora estão corretas além de verificar se está rodando o Schedule do dia certo.

Se algum dos parâmetros citados acima (data, hora ou Schedule) não estiver correto, o operador deve ajustar o que estiver errado.

O primeiro procedimento que deve ser adotado é o de paralisar a coleta de dados que o Brewer está fazendo, pois nenhum ajuste deve ser feito com o equipamento fazendo medidas ou testes. Deve-se observar qual o tipo de medida (ou teste) que está sendo efetuado, pois quando o Brewer estiver fazendo *hg*, *uv*, *sl*, *dt*, *rs*, é aconselhável que não seja interrompido. O operador deve digitar *Home* no teclado do computador. Isto fará com que o equipamento cesse a operação que estava sendo executada. Aparecerá na tela do computador a janela correspondente ao menu principal do programa do Brewer.

A primeira tarefa a ser cumprida sempre que se estiver no Observatório é a limpeza das janelas de Quartzo do Brewer e do Domo de UV, pois o acúmulo de poeira ou outro tipo de sujeira, pode interferir na entrada de luz no equipamento, ocasionando medidas incorretas. Para tal utiliza-se uma flanela limpa, embebida em Álcool Iso-Propílico. Para limpar a janela de visualização de entrada do feixe de luz (é a janela plana, não a inclinada) utiliza-se somente uma flanela seca, ou embebida em água. Não se utiliza o Álcool para limpar esta janela, pois como esta é de material plástico, reage com o Álcool e forma-se uma camada branca sobre a mesma dificultando a visualização.

O Brewer é muito sensível à umidade e, portanto, é feito um rigoroso controle da umidade interna do equipamento, portanto, depois de feito isto, deve-se verificar o nível de umidade interna do Brewer. No interior do Brewer é colocado um indicador de umidade, de forma que o mesmo fique visível sem a necessidade de se ter que abrir a tampa do Brewer para verificar o nível de umidade. O indicador mostra-se azul quando a umidade interna estiver baixa e fica rosado quando a umidade interna estiver muito alta.

Quando a umidade estiver excessiva, deve-se levantar a tampa superior do Brewer para se ter acesso às bolsas de sílica-gel que são colocadas sobre as fontes primária e secundária e trocá-las, pois quando isto ocorre a sílica já saturou a sua capacidade de adsorver a umidade interna. Essa sílica que é retirada é “seca” em uma estufa instalada no Prédio 1 e depois é colocada em um dessecador para que esfrie e possa ser reutilizada. Para que o equipamento não fique sem sílica durante este tempo, existem bolsas reservas de sílicas, ou seja, existem dois conjuntos de bolsas. Além das bolsas, existem dois cilindros contendo sílica-gel: um no interior do sistema óptico e outro sobre a fonte primária.

Na Figura 41 pode-se observar no interior do equipamento, à esquerda e atrás o cilindro de sílica (de cor azul) que fica sobre a fonte primária, na horizontal.

Nunca deve-se abrir o Brewer em dias com chuva, ou fortemente nublados com possibilidade de chuva imediata para evitar qualquer problema. Cabe lembrar que os procedimentos devem ser executados em dias com Sol. Em dias de chuva, o máximo que pode-se fazer é copiar os dados.

A limpeza externa da tampa do Brewer é importante para o controle da temperatura interna do aparelho. A limpeza pode ser feita com água e o Brewer é eventualmente polido com cera para automóveis. Além da importância estética, esta etapa da manutenção do equipamento é relevante, pelo fato de que a radiação solar é melhor refletida pela cor branca original do Brewer do que se ele estivesse sujo, pois o acúmulo de sujeira aumenta a absorção de energia solar pelo aparelho. Evita-se assim que a temperatura no interior se eleve, o que também pode afetar as medidas. Deve-se estar bastante atento a este fato principalmente no verão, pois as temperaturas são naturalmente mais elevadas.

Outro passo da manutenção do aparelho é a limpeza do tracker, ou pedestal, responsável pelo movimento azimutal do aparelho. O movimento é transmitido do eixo do motor para o pedestal através do atrito do seu eixo com um disco. É importante desligar o Tracker para efetuar esta manutenção. Para tal, basta desligar o equipamento nos botões acoplados no Tracker e verificar se o LED está desligado. Para ter acesso ao disco é necessário que o operador retire a tampa de proteção do Tracker com uma chave HALEN, soltando-se os quatro parafusos de cada lado do Tracker. Feito isto, devemos limpar o disco do Tracker com uma flanela ou um pedaço de papel (pode ser papel higiênico) embebido em álcool comum. Para que o Brewer gire e o operador tenha acesso a todo o disco, deve-se fazer movimentos bruscos, pois desta forma não estará exigindo tanto o sistema de freio do Tracker.

Se o Tracker estiver sujo aparecerá um pó metálico no papel, sujeira que estava sobre o disco. É este pó que pode fazer com que o Tracker patine, sendo que os passos necessários para atingir uma determinada posição não sejam efetuados corretamente, de forma que o Brewer fique fora da posição correta em relação ao Sol, afetando diretamente as medidas.

Dando seqüência ao procedimento padrão, o operador deve utilizar o *software* do sistema de operação. A Figura 42 mostra como é a tela do programa de controle do Brewer. Podemos obter várias informações observando esta tela, como: data, dia, tipo de medida que está sendo feita, número do equipamento, hora, espaço livre no *winchester* para armazenamento de dados, ângulo solar. Pode-se ver também que existem sub-menus com comandos específicos em cada um deles. Por exemplo, se o operador digitar o comando *dm*, aparecerá na tela um sub-menu de gerenciamento de dados, que terá outros comandos específicos.

```

jun 07/99 day= 158  o3  #081 * Sao Martinho S.  C.U.T.  E 16:08:54
menu                180289536 Bytes Free    RS232 in:  out: 123.14

MU= 1.815 Tracking Sun * za= 123.14
cm->

```

Enter a desired command or select a sub-menu
from the following list:

command	main menu
dm	data management menu
om	observations menu
tm	test menu
hk	housekeeping menu
up	update menu
sm	summaries printout menu
sp	special operations menu
os	operational setup menu
em	extended menu

Figura 42: Menu principal do Programa do Brewer

Como citado anteriormente, é necessário fazer o ajuste de data, hora ou Schedule se for necessário. Para ajustar a hora o comando a ser digitado é *ti*. Devemos então digitar a hora certa. No caso de data incorreta, o comando a ser

digitado é o *da* e a data certa deve ser fornecida. No caso de *Schedule* incorreto, o comando para acertar o *Schedule* é *skc*. Nesse caso, o operador terá acesso a vários *Schedules* e deve escolher o correto, ou seja, o *Schedule* do dia corrente.

O próximo passo é digitar o comando *re*. Com este comando todos os motores do Brewer serão ressetados.

Deve-se ainda verificar o nível do Brewer, e ajustá-lo se necessário. Caso o Espectrofotômetro não esteja totalmente na horizontal, o Brewer pode ter problemas para localizar o Sol, e executa medidas incorretas. A localização do Sol depende do movimento azimutal do tracker e do movimento zenital do prisma de zênite. Para verificar ainda se a luz do Sol está entrando corretamente no aparelho realiza-se um ajuste chamado *Sl*. Para tal, digita-se o comando *si*. Este comando direciona a lente diretamente para o Sol, como se estivesse realizando uma medida *DS* (*Direct Sun*). Nesse momento o operador deve observar na janela de visualização (a janela plana de "plástico") se o feixe de luz incidente está centralizado na fenda de entrada de luz (íris) e verificar se a luz incidente está centrada na fenda de entrada para o ajuste fino. Caso esteja bem centralizada significa que o Brewer está seguindo o Sol de forma correta. Se não estiver, o operador deve centralizar o feixe de luz usando os botões de direcionamento até que o feixe de luz fique bem centralizado. São quatro os botões existentes no Brewer, representando dois sentidos azimutais e dois sentidos zenitais, direciona-se o feixe para que entre exatamente na fenda do espectrômetro.

Ao terminar, deve-se voltar ao computador e pressionar as teclas *Ctrl + End* e salvar as modificações caso tenham sido feitas. Caso não tenham sido necessárias alterações, basta pressionar *Ctrl + End* e não precisa salvar as alterações. Obs.: Caso uma discrepância muito grande esteja ocorrendo com o teste de *si* pode ser que seja necessária a limpeza do Tracker, já que este teste serve para determinar a performance do equipamento com relação ao seu movimento de acompanhar o Sol.

O próximo passo é digitar o comando *az*. Este comando irá ressetar o azimute do Brewer. Até este momento o operador estará efetuando o procedimento padrão que deve ser executado a cada visita ao OES. Após estas tarefas terem sido realizadas, o operador deverá seguir o procedimento de acordo com o período do mês em que se encontra.

São executados ainda diversos testes que verificam o envelhecimento do aparelho, o tempo de resposta, as voltagens internas, o funcionamento da fotomultiplicadora. Alguns testes como *HG* e *SL* são importantes de se mencionar, pois são fundamentais no funcionamento do equipamento. Como já dito antes, o aparelho possui duas lâmpadas internas com funções específicas: uma lâmpada de Mercúrio e uma lâmpada halógena.

No teste *HG* o equipamento utiliza a lâmpada de Mercúrio coletando a luz da mesma. Este teste posiciona a grade de difração de forma a dispersar os comprimentos de onda operacionais na medida da coluna de Ozônio. O teste *SL* utiliza a lâmpada halógena, que emite intensidades constantes medidas pelo aparelho nos 5 comprimentos de onda operacionais, a fim de verificar a performance e estabilidade do aparelho.

O armazenamento dos dados gerados pelo Brewer é feito automaticamente no microcomputador que o controla, instalado no Prédio 1. Os arquivos de dados são copiados por *FTP* via Internet ou por meio de disquetes, e gravados num banco de dados no LACESM.

5.4 ELABORAÇÃO DE TABELA PARA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Para que se possa ter uma maior organização, o bolsista elaborou duas tabelas com as atividades de manutenção a serem desenvolvidas, de acordo com um planejamento mensal. Nestas tabelas estão organizadas as atividades de manutenção tanto do Espectrofotômetro Brewer como dos dois radiômetros que atualmente estão em operação no OES.

Na primeira tabela encontram-se as atividades para todo o ano de 2001, sendo que nas colunas estão descritas as atividades de manutenção e nas linhas estão as datas em que devem ser realizadas as respectivas atividades. Na segunda tabela estão discriminadas as atividades a serem desenvolvidas a cada visita ao OES. Estas tabelas encontram-se no Anexo 2.

5.5 CALIBRAÇÃO DO MONITOR DE UV-B DO BREWER

Como todo equipamento eletrônico, o Brewer deve passar por freqüentes calibrações a fim de atenuar o erro devido a desajustes, desgastes e envelhecimento de partes do equipamento.

Por normalização do INPE, vigente desde o ano de 1998, a calibração do monitor de UV-B do Brewer é realizada quinzenalmente, fazendo-se uso de 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 digitados no programa de controle do Brewer, este ajusta a rede de difração e faz a leitura da irradiância da lâmpada, medindo a potência em alguns comprimentos de onda, da mesma forma como se estivesse executando uma medida do tipo UV.

Normalmente utiliza-se de uma a três lâmpadas sendo que para cada lâmpada acoplada digita-se 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.056, 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 de irradiância das lâmpadas captadas pelo Brewer e dos arquivos de irradiância padrão das mesmas, é gerado um arquivo de resposta no formato UVRdddyy.056, onde ddd é o dia Juliano da calibração, yy é o ano e 056 é o número do equipamento. Esse arquivo é gerado utilizando-se o 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 como já dito, 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, então, 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 *Uvdddy.056*.

A Figura 43 mostra uma foto do Espectrofotômetro Brewer na ocasião em que era realizada uma calibração do equipamento. Pode-se observar sobre a cadeira uma pequena maleta que abriga a fonte alimentadora das lâmpadas, onde controla-se a sua tensão (12V) com um multímetro, fazendo ajustes se necessário. Sobre o domo de UV-B está acoplado o *house keeping*, o anteparo onde fica ligada a lâmpada de calibração. Ao fundo, pode-se ver o Prédio 2 e 3 do Observatório Espacial do Sul.



Figura 43: Calibração do Monitor de UV-B do Espectrofotômetro Brewer 056.

5.6 ANÁLISE DE DADOS DE UV NO PROGRAMA UV BREWER

Como já relatado na seção 4.5, o Software utilizado para o reprocessamento dos dados de Ultravioleta do Brewer, é o *Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program v.2.1*, ou simplesmente *UV Brewer 2.1*.

5.6.1 CRIAÇÃO DOS ARQUIVOS UVR

Após a cópia dos arquivos UV e UL do microcomputador do Brewer para o Banco de Dados do LACESM, utiliza-se o programa UV Brewer 2.1 para gerar o

arquivo de resposta, UVR. O programa apresenta uma opção para essa finalidade e que pode ser observada na interface do programa nas Figuras 38 e 39, com o nome de *New RES*. Essa opção abre uma janela onde são selecionados os arquivos com os padrões das lâmpadas utilizadas, *Lampnnn.irr*, e o UL gerado durante a calibração do monitor de UV-B. Na Figura 44 pode-se observar a janela de criação do arquivo UVR, sendo que à esquerda são listados os arquivos de lâmpada e à direita o arquivo UL.

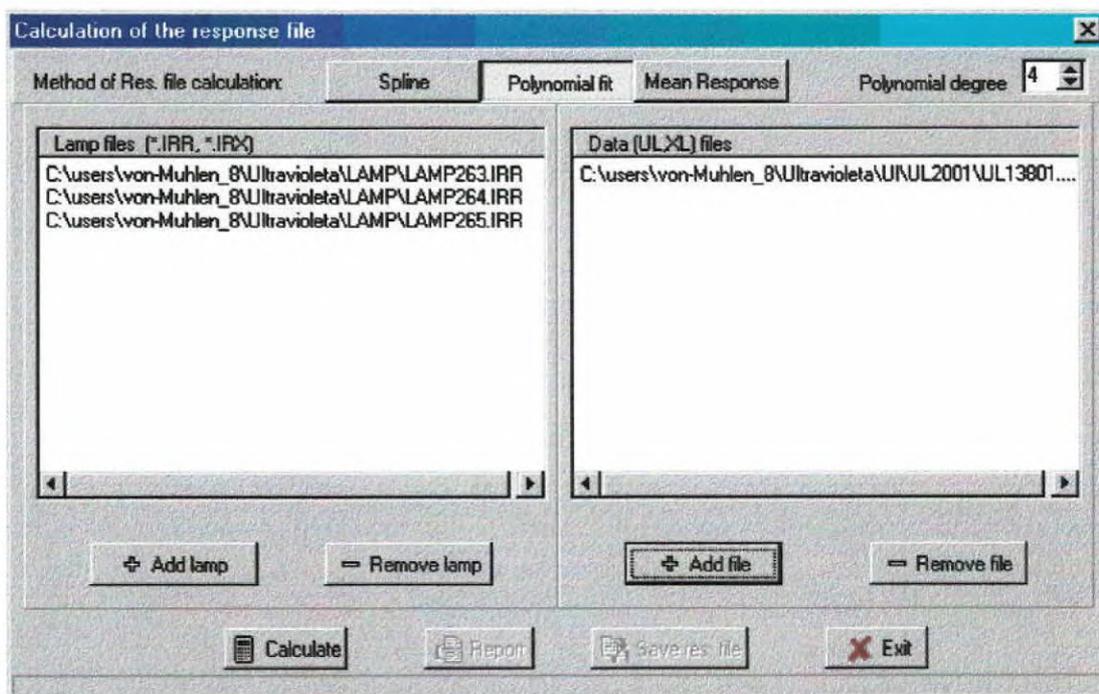


Figura 44 - Janela de criação do arquivo de resposta UVR.

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*.

5.6.2 REPROCESSAMENTO DOS ARQUIVOS UV

Os arquivos UV, como já mencionado, armazenam os dados de medições de radiação Ultravioleta efetuadas pelo Brewer num determinado dia. Para os valores contidos nesse arquivo serem transformados em irradiância, potências e quantidades de energia de radiação ultravioleta, utiliza-se o programa UV Brewer 2.1 juntamente com o arquivo UVR vigente para aquela data.

Uma vez selecionado o arquivo UVR na opção *Response*, que pode ser vista na interface do programa na Figura 38, abre-se um arquivo UV na opção *Open File*. Em seguida aparecerá na tela um gráfico da irradiância, na faixa de 290 a 325 nm, 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 selecionar outros gráficos de irradiância de outras observações ou então o gráfico das potências totais ao longo do dia. Esse último gráfico apresenta o comportamento da intensidade da radiação solar ao longo do dia, e a sua integral corresponde à quantidade total, aproximada, de energia ultravioleta no espectro medido pelo equipamento.

Esse software torna-se uma ferramenta ainda mais poderosa pelo fato de permitir a ponderação dos dados, com espectros de ação que acompanham o programa. Pode-se ainda inserir outros espectros de ação, bastando criar um arquivo com os pesos que devem ser atribuídos a cada comprimento de onda.

Assim, pode-se observar ainda, na parte direita da interface do programa, os gráficos de irradiância ponderada no espectro de ação selecionado ou das potências pesadas ao longo do dia. O programa fornece também a integral diária ponderada.

Outra importância do programa, é o fornecimento para o usuário, dos valores de índice ultravioleta em cada horário em que o aparelho executou medidas. Assim, o software apresenta-se como a melhor maneira de interpretar as medidas do tipo UV do Brewer.

O programa apresenta uma opção *Export* que permite criar arquivos de saída para os dados já reprocessados. Os arquivos podem ter todas as irradiâncias medidas pelo equipamento em um conjunto de dias pré-definidos, ou ainda as potências globais da faixa observada e as integrais diárias para conjuntos de dias e de observações. Na Figura 45 pode-se ver 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 pode-se efetuar uma análise estatística e comportamental mais detalhada.

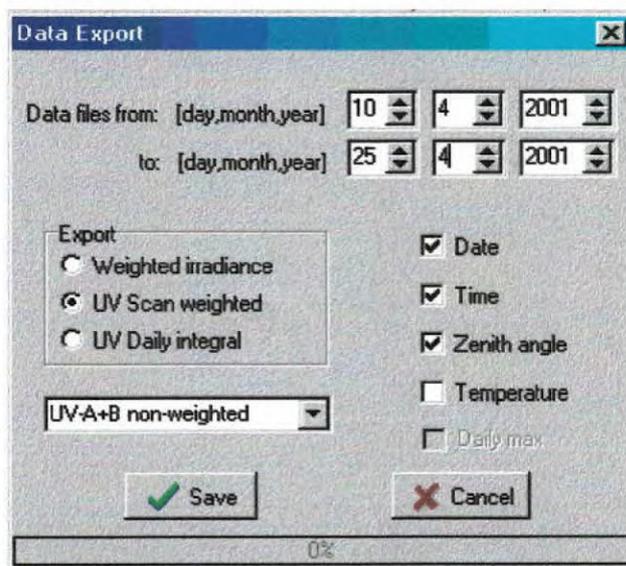


Figura 45: Janela de exportação de dados do UV Brewer 2.1.

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.

5.6.3 DETERMINAÇÃO DO MÁXIMO ÍNDICE-UV DIÁRIO

Em geral, da maneira como são construídos os schedules do Brewer, as medidas de UV são efetuadas a cada 30 minutos. Em cada medida ao longo de um dia, o Programa UV Brewer 2.1 calcula o Índice de Ultravioleta para aquele horário.

Ao longo do dia, a radiação UV aumenta até atingir o máximo, em torno do meio-dia local, e depois decresce até o final do dia. Dessa forma o Índice UV Máximo do dia ocorre no menor ângulo zenital solar do dia.

Para encontrar o maior Índice Ultravioleta observado pelo aparelho em cada dia, dentre as observações realizadas, foi desenvolvido por dois colegas do INPE um programa em linguagem BASIC, chamado MAXIUV. Esse programa lê um arquivo de entrada em formato texto que é gerado pelo Export do UV Brewer 2.1, e grava a saída em outro arquivo texto, contendo o maior índice ultravioleta do dia e a data, hora e ângulo zenital solar em que ocorreu.

O arquivo de entrada em questão, deve ser gerado no Export do UV Brewer 2.1 selecionando a opção *UV Scan weighted*, o espectro de ação *CIE Erythema* e o período de dias em que se quer determinar os máximos I-UV Diários, e marcando ainda as opções *Date*, *Time* e *Zenith Angle*. Esse é um arquivo texto e o seu nome deve ser informado ao Programa MAXIUV quando solicitado.

A Figura 46 mostra a tela de cálculo do programa, que roda em ambiente DOS. Observe que na inicialização do programa, é pedido o nome do arquivo de entrada e em seguida o nome do arquivo de saída. Os resultados dos cálculos são mostrados na tela e gravados no arquivo de saída.

```
Prompt do MS-DOS gwbasic maxiuv.bas
*****
PROGRAMA PARA CALCULO DO MAXIMO INDICE ULTRAVIOLETA DIARIO
V. 1.0
Fernando Luis Guarnieri
Gicela Ana Zambon Nov. 1999
*****

Digite o caminho e nome do arquivo de entrada: ? uvscan1.txt

Digite o caminho e nome do arquivo de saída: ? maxiuv1.txt
18.08 15.06 43.08 86.56301 3.46
19.08 15.42 42.03 85.829 3.43
20.08 15.42 41.7 85.903 3.44
21.08 15.42 41.37 87.333 3.49
22.08 15.45 41.06 74.597 2.98

Arquivo processado com sucesso !
Dados gerados gravados em: maxiuv1.txt
Deseja processar outro arquivo ? (S/N) ? _
```

Figura 46: Programa de cálculo do Máximo Índice UV Diário.

5.7 MANUTENÇÃO E COLETA DE DADOS DO RADIÔMETRO UV-B

O Radiômetro de UV-B modelo MS-210W, mede a radiação ultravioleta total incidente na faixa entre 280 a 315 nm. Executa uma medida por minuto, e os dados são gravados em um *Data Logger* com capacidade para aproximadamente 20 dias de dados. Periodicamente, deve-se copiar os dados para um Laptop, ligando o mesmo ao Data Logger. Os dados ficam, então, armazenados no Laptop em um arquivo com nome de formato *Uvaammdd.dt2*, onde aa representa ano, mm representa mês e dd representa o dia em que se está copiando os dados para o Laptop.

O arquivo .dt2 não é um arquivo em formato texto comum e deve ser convertido, por um programa próprio, para um arquivo .cdm. Esse arquivo em formato texto pode ser importado para um programa matemático ou gráfico, construindo uma tabela constando data, hora e o dado em volts(V). Para converter a unidade de Volts para uma medida coerente de potência, multiplica-se o valor por um fator 5, obtendo o dado em Watts por metro quadrado (W/m^2).

A manutenção do equipamento é simples. Deve-se apenas limpar o seu domo de quartzo com uma certa frequência, para que a sujeira acumulada não interfira nas medidas de UV. Periodicamente, troca-se a sílica de um tubo inserido no interior do aparelho pela lateral, e que tem a função de retirar a umidade.

No Anexo 3 encontra-se um roteiro elaborado para a coleta dos dados do Radiômetro.

5.8 DADOS E IMAGENS GERADOS PELO EQUIPAMENTO TOMS

O equipamento TOMS a bordo do satélite Earth Probe, da NASA, efetua medidas da coluna total de ozônio, cobrindo quase toda a área terrestre, exceto áreas próximas aos pólos onde, em determinadas épocas do ano, o Sol permanece abaixo da linha do horizonte durante todo o período de 24 horas do dia (invernos polares). O equipamento faz 35 medidas a cada 8 segundos, cada uma cobrindo de 50 a 200 km de largura.

Os dados do aparelho são disponibilizados na Internet, no endereço <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>, onde basta inserir a data e os dados de latitude e longitude do local em interesse, e é fornecido o valor da coluna total de Ozônio em UD. Esses valores são tabelados e mantidos no banco de dados do LACESM, com a finalidade de efetuar correlações com o Espectrofotômetro Brewer.

Neste mesmo endereço, são fornecidas as imagens diárias de satélite, formadas por todas as medidas efetuadas pelo TOMS ao longo de um dia. Existem imagens que mostram a distribuição global de ozônio e outras que mostram apenas o hemisfério sul visto da Antártica. Essas últimas são bastante importantes no acompanhamento do fenômeno do Buraco de Ozônio Antártico. As imagens do TOMS também são armazenadas em um Banco de Dados

A partir das imagens do TOMS, são construídas seqüências de imagens, animações, que permitem observar a dinâmica da distribuição de ozônio ao longo

dos dias, bem como acompanhar o desenvolvimento de fenômenos, como a formação e crescimento do Buraco de Ozônio Antártico na primavera austral.

As imagens e dados do satélite TOMS são também importantes para observar e constatar a ocorrência de Efeitos Secundários do fenômeno antártico sobre a região sul da América do Sul, incluindo a região de Santa Maria e do Observatório Espacial do Sul, onde estão instalados os equipamentos do Programa. Nas imagens, fica nítida a visualização do deslocamento de ar estratosférico pobre em ozônio para regiões de latitudes médias, mais densamente povoadas. A Figura 47 mostra uma imagem de distribuição de ozônio global do TOMS para o dia 10 de Setembro de 2000, quando o Buraco de Ozônio atingiu a maior área da história, aproximadamente 29 milhões de quilômetros quadrados. Neste mesmo ano, o Buraco de Ozônio Antártico também surpreendeu com a sua rápida extinção em 19 de Novembro. Nunca o fenômeno desfez-se tão antecipadamente como em 2000, uma vez que o natural é o seu desaparecimento em meados de Dezembro.

EP/TOMS Total Ozone Sep 10, 2000

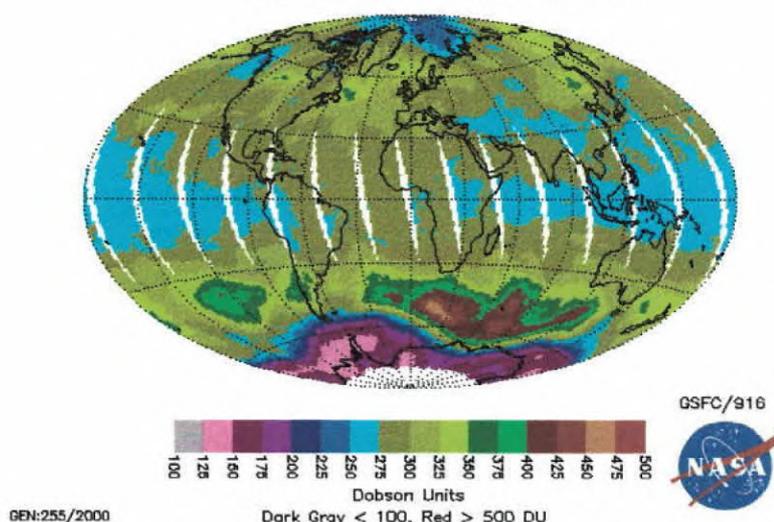


Figura 47: Distribuição Global de Ozônio medida com o Satélite Earth Probe/TOMS no dia 10 de Setembro de 2000.

São fornecidos também pela NASA, os dados brutos gerados pelo satélite ao longo dos dias, permitindo que o usuário construa suas próprias imagens, com a resolução, escala e intervalos de latitude e longitude que desejar, para melhor estudar o fenômeno de seu interesse.

5.9 CORRELAÇÕES, GRÁFICOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A partir dos dados de Ozônio e Radiação Ultravioleta coletados pelo Espectrofotômetro Brewer, dos dados de Ultravioleta do Radiômetro UV-B MS210W, dos dados do Biômetro e dos dados de Ozônio do TOMS obtidos via Internet, são efetuados no LACESM diversos tipos de análises, comparações e correlações.

As comparações entre medidas de ozônio do Brewer e do TOMS visam avaliar a confiabilidade dos equipamentos, bem como diagnosticar algum problema do Espectrofotômetro do OES. Essas comparações servem também para confirmar alterações nas medidas do aparelho de superfície e que podem revelar a existência de algum evento ou anomalia atmosférica, como por exemplo a existência de um Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico.

As comparações entre medidas de radiação Ultravioleta do Brewer e do Radiômetro possuem finalidade semelhante. Basicamente são realizadas para verificar se os aparelhos estão medindo corretamente.

Comparações diretas entre medidas de Ozônio e Ultravioleta buscam, em geral, a observação do efeito de atenuação efetuado pelo Ozônio sobre a radiação UV. Uma vez que o ozônio é um atenuador, deveria se verificar uma anticorrelação entre as duas espécies de dados.

Demais análises visam o monitoramento constante da Camada de Ozônio e da Radiação Ultravioleta incidente, na região central do estado do Rio Grande do Sul, como já vem sendo realizado desde a criação do programa e da instalação dos equipamentos.

Desde o início desta bolsa até o presente momento, trabalhou-se com os dados obtidos desde Abril 2000 e até Junho de 2001, ou seja, a partir do início das atividades do Brewer MKII nº056 no OES, o que ocorreu em meados de abril do mesmo ano. De um modo geral, as análises feitas neste período de bolsa, foram realizadas a partir de dados obtidos através do Espectrofotômetro Brewer. Equipamentos como o radiômetro e o TOMS, além da finalidade de monitoramento de radiação e coluna de ozônio, são importantes para efetuar correlações e atestar a confiabilidade do Brewer.

6 RESULTADOS

6.1 MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO UV

Realizou-se uma análise do comportamento da Radiação Ultravioleta para o período compreendido entre Abril de 2000 e Junho de 2001, ou seja, analisou-se o período de 1 ano e 2 meses. Devido a alguns períodos de muita chuva, observou-se um comportamento fora do esperado de algumas medidas de UV. Isto ocorre porque a presença de nuvens reduz a quantidade de Radiação Ultravioleta incidente na superfície, sendo que o efeito de atenuação de radiação incidente devido à Camada de Ozônio torna-se menos perceptível, pois uma grande parcela da Radiação UV é "filtrada" pelas nuvens. Aliado a esse fato, alguns problemas técnicos no Espectrofotômetro Brewer trouxeram algum prejuízo ao banco de dados existente e conseqüentemente à análise feita.

No período compreendido entre o início do mês de Novembro de 2000 até meados do mês de Fevereiro de 2001 problemas de ordem técnica diminuem a confiabilidade nos dados do Espectrofotômetro Brewer. Até por volta do início de Janeiro de 2001, uma série de fatos fez com que se passasse a suspeitar do correto funcionamento do equipamento.

Para que se pudesse fazer um diagnóstico do que estava ocorrendo, plotou-se uma série de gráficos, nos quais os parâmetros que estavam sendo analisados tinham ligação restrita ao funcionamento do equipamento, sendo que plotou-se alguns testes que o equipamento faz automaticamente, em função do tempo.

De acordo com o gráfico da Figura 48 que representa o teste de HG, pode-se verificar a variação abrupta da constante deste teste.

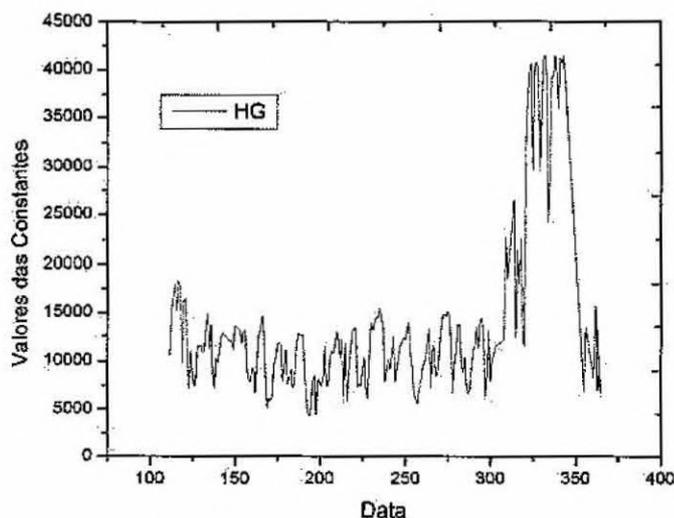


Figura 48: Gráfico mostrando o comportamento da constante do teste de HG.

Assim como nos gráficos das Figuras 49 (a) e 49 (b), que serviram de diagnóstico para os testes de DT.

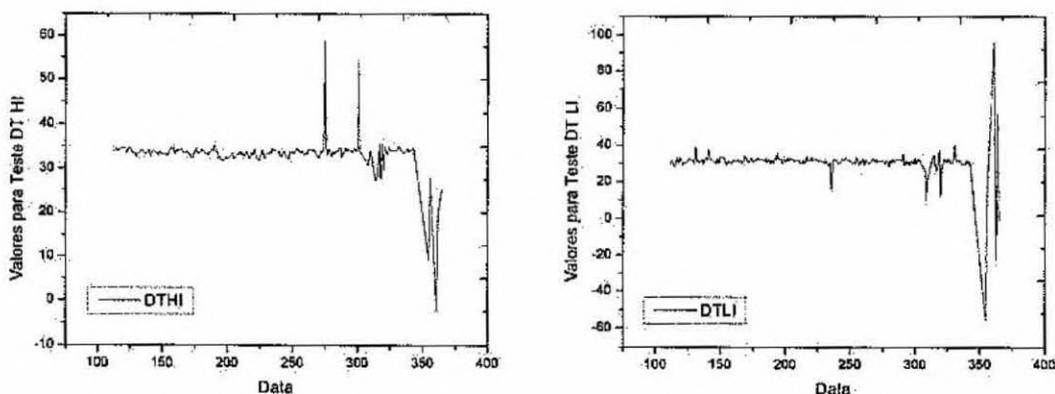


Figura 49: Gráficos mostrando os comportamentos dos testes de DT HI (a) e DT LI (b)

Nestes dois gráficos pode-se verificar, assim como no Gráfico do teste de HG, uma variação inesperada e até então inexplicável das constantes de testes que o equipamento efetua. Este comportamento instável do equipamento justifica em parte problemas encontrados em algumas análises feitas.

Tomou-se uma série de procedimentos de correção, iniciando-se com contatos feitos com técnicos e pesquisadores do INPE e posteriores visitas ao

OES, com o intuito de conseguir solucionar o problema, e terminando-se por resolver a questão com a visita de técnicos do INPE para o conserto do equipamento.

Anterior à análise dos dados, elaborou-se um banco de dados em área pessoal do computador, com o intuito de preservar os dados originais. Organizou-se os dados de forma que se pudesse trabalhar da forma mais rápida e transparente possível. Separou-se os dados brutos do equipamento em pastas separadas por anos. Separou-se os arquivos UL, que viriam a ser utilizados para gerar os arquivos UVR, pois é com estes arquivos e com os arquivos de dados brutos que deve-se trabalhar para reprocessar os dados de UV.

Desta forma, elaborou-se uma planilha na qual encontram-se os arquivos UVR gerados, que encontra-se no anexo 4. Organizou-se também uma pasta na qual encontram-se os valores do *Report* gerado pelo Programa *Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program*, sendo que somente foram utilizados os arquivos de resposta que apresentaram baixos valores de desvio padrão, ou seja, aqueles que eram confiáveis e utilizáveis para o reprocessamento dos dados.

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, tomando-se o cuidado para que no dia em que houvesse calibração, fosse utilizado o arquivo de resposta criado naquele dia para os dados daquele dia.

Utilizando-se o programa UV Brewer 2.1, exportou-se os dados de cada conjunto de dias, utilizando o seu UVR respectivo. As saídas de dados são feitas através do EXPORT do programa, salvando os mesmos em arquivos de formato texto que por sua vez podem ser abertos em arquivos de análise matemática e gráfica.

6.2 COMPARAÇÃO DE DOIS EQUIPAMENTOS MEDIDORES DE UV - VERIFICAÇÃO DE PROBLEMAS NA CORRELAÇÃO DE DADOS

O monitoramento da radiação UV é feito também através de um Biômetro e de um Radiômetro de UV-B instalado próximo ao Brewer.

Apesar de utilizarem metodologias de medida diferentes, tanto o radiômetro UV-B MS210W, como o Espectrofotômetro Brewer são capazes de determinar a integral diária de energia Ultravioleta incidente.

O Brewer mede energia em comprimentos de onda particulares numa faixa de radiação entre 290 e 325 nm. Suas medidas (scans) são efetuadas a cada 30 minutos aproximadamente. Para cada medida, o software do programa determina a potência da radiação incidente naquela faixa, ou até mesmo a potência ponderada na mesma faixa. A integral das potências em cada horário em relação ao tempo, resultam na integral diária de radiação, isto é, quantidade total de energia bruta ou ponderada, incidente no aparelho na faixa de radiação observada. Para efetuar a comparação, selecionou-se no *Setup* do programa UV

Brewer 2.1, apenas a faixa de radiação entre 290 e 315 nm, já que o radiômetro mede na faixa de 280-315 nm. Tomou-se o cuidado de utilizar a opção *UV-A + B non-weighted*, para que não se cometesse o erro de perder uma parte da integral sob a curva caso se utilizasse a opção *UV-B non weighted*. Exportou-se os dados das Integrais Diárias utilizando-se a opção *Export* do programa, tendo-se novamente o cuidado de utilizar o arquivo UVR correspondente para cada dia.

O radiômetro mede a energia total incidente na faixa acima mencionada, não permitindo assim ponderações. As medidas são efetuadas de minuto em minuto, sendo que para cada medida é determinada a potência de radiação UV incidente. A integral das potências medidas em relação ao tempo em determinado dia, resulta na quantidade diária total de energia medida pelo equipamento na faixa de cobertura do mesmo.

Os comprimentos de onda inferiores a 300 nm são muito pouco energéticos frente aos demais comprimentos de onda, como pode ser visto num gráfico de irradiância como o da Figura 39. Dessa forma a faixa entre 280 e 290 nm, que é medida pelo radiômetro e não pelo Brewer, não ocasiona diferenças significativas ao se comparar as Integrais dos dados obtidos pelos dois equipamentos.

De acordo com a planilha de arquivos de calibração elaborada anteriormente, baseada no critério de menores desvios padrões, foram feitas todas as análises. No entanto, um fato muito estranho chamou a atenção quando plotou-se o gráfico com a suavização das integrais diárias dos dois equipamentos. Conforme pode-se verificar no gráfico da Figura 50, no período compreendido entre Março de 2001 até por volta de Abril de 2001, os dados das integrais do Brewer, representados pela linha vermelha, apresentavam valores que não correspondiam ao esperado, pois apesar de o Brewer ter sido consertado, os dados estavam muito afastados, muito mais altos dos valores que o Radiômetro media.

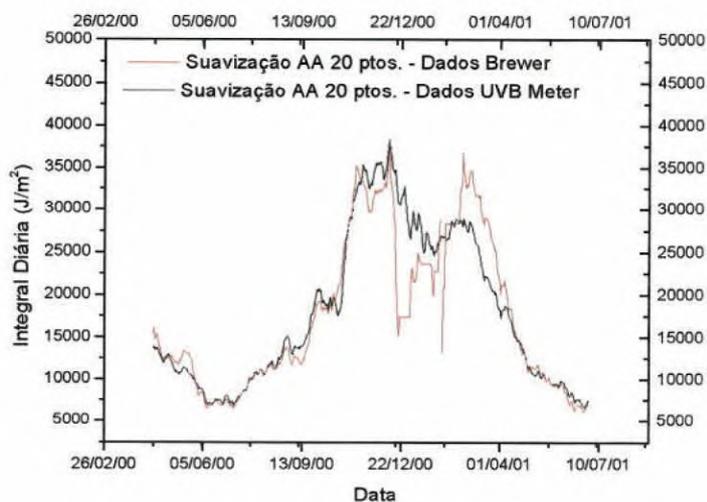


Figura 50: Gráfico mostrando as integrais diárias do Brewer e do Radiômetro. Nota-se o período em que o Brewer apresentava problemas e o período em que o arquivo de calibração era incorreto, acarretando valores mais altos para as Integrais do Brewer.

Suspeitou-se que o problema poderia estar relacionado com alguma calibração que havia sido feita no período. Entretanto, esta hipótese estava

previamente descartada, uma vez que a análise dos desvios padrões de cada calibração já assegurava a confiabilidade dos arquivos de resposta. Porém, ao analisar-se novamente os arquivos de resposta, verificou-se que alguns destes arquivos foram gerados com calibrações feitas no período em que o equipamento não estava funcionando bem. Assim sendo, chegou-se à conclusão de que as calibrações que haviam sido feitas durante o período em que o Brewer estava com problemas não poderiam ser consideradas para as análises que estavam sendo feitas.

Ao se chegar a esta conclusão, as análises que haviam sido feitas até então, tiveram que ser refeitas. O período compreendido entre os dias 20 de Novembro e 29 de Março, utiliza a calibração feita no dia 22 de Novembro de 2000. Embora esta calibração tenha sido feita em um intervalo de tempo muito longo, os resultados encontrados foram melhores, dando-se uma atenção maior para o período compreendido entre meados de Fevereiro ao final de Março, quando o equipamento já estava funcionando bem.

Fez-se uma análise do período em que o Brewer estava em perfeitas condições operacionais, para verificar a influência que as calibrações incorretas estavam acarretando nos dados Radiação.

Pode-se verificar claramente no gráfico da Figura 51, que representa o período mais significativo, ou seja, o período em que a análise dos dados do Brewer estava sendo prejudicada exclusivamente por se estar usando um arquivo de calibração incorreto e não mais por problemas operacionais, que os valores das integrais do Brewer usando um arquivo de calibração inadequado, representados pela cor azul, são muito maiores que os valores dos dados das integrais geradas quando se utiliza o arquivo de calibração correto, cor vermelha.

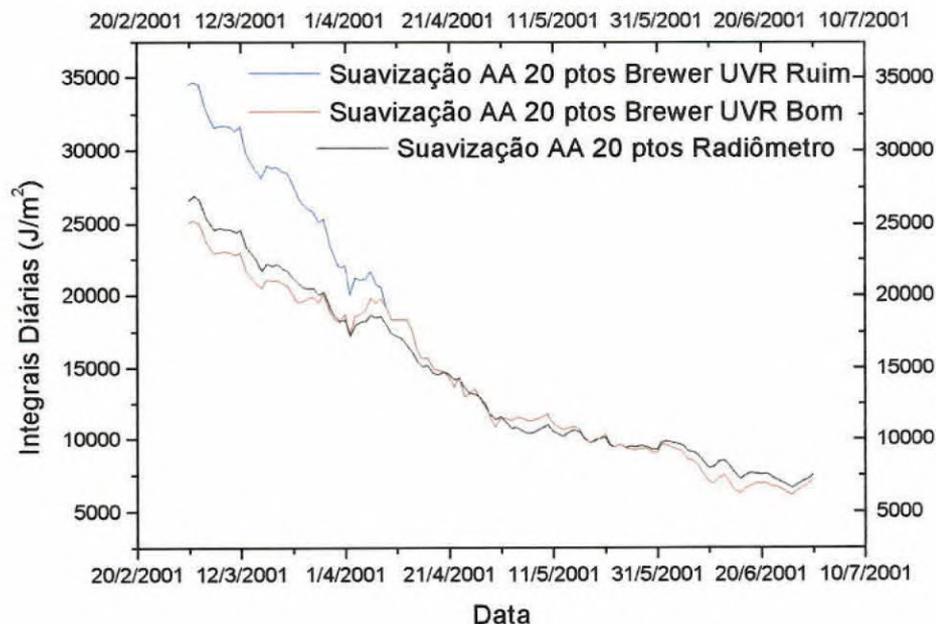


Figura 51: Gráfico mostrando a diferença nos valores das integrais diárias obtidas com o Brewer utilizando-se arquivos de resposta diferentes, comparadas com as integrais do Radiômetro

A sobreposição das curvas vermelha e azul ocorre a partir do momento em que o arquivo de calibração é o mesmo, deixa-se de comparar dados de dois arquivos de calibração. Depois do dia 30 de Março, momento em que as curvas se sobrepõem, os dados foram reprocessados com outro arquivo de calibração, sendo que até o momento os valores estão bastante próximos aos do Radiômetro, o que significa que, em princípio, os equipamentos estão funcionando bem.

Ao se comparar os dados de integrais do Brewer com os valores dos dados de integrais do Radiômetro, verifica-se que os valores dos dados do Brewer usando o arquivo de calibração correto aproximam-se muito mais do que os valores dos dados das integrais usando o arquivo de calibração inadequado. Além disso, a diferença entre os dados das integrais usando estes dois arquivos de calibração diferentes chega a 37 %, o que é um valor significativo.

Para se detectar este tipo de problema a análise de comparação de dados de dois equipamentos torna-se muito útil

Conforme já foi dito, as integrais diárias dos dois equipamentos são comparadas com a finalidade de observar a estabilidade dos aparelhos. Tal correlação objetiva também verificar a necessidade de calibração dos equipamentos, ou para confirmar algum evento anômalo em relação aos valores históricos.

O gráfico seguinte mostra os valores das integrais diárias dos dois equipamentos, já utilizando-se o arquivo de calibração correto. Pode-se verificar que para os períodos correspondentes aos extremos da curva, ou seja, para os períodos em que o Brewer operou de forma estável, a comparação dos dados é muito boa, o que significa que os valores medidos pelos dois equipamentos estão bastante próximos, ambos reagindo de forma semelhante, fazendo com que o comportamento geral seja bastante parecido. Além disso, pode-se verificar que a população de dados correspondentes à cor vermelha, dados do Brewer, é maior nas extremidades este fato é observado também nos gráficos das integrais diárias e no gráfico dos Índices e em todos os casos é devido ao problema técnico ocorrido com o Brewer.

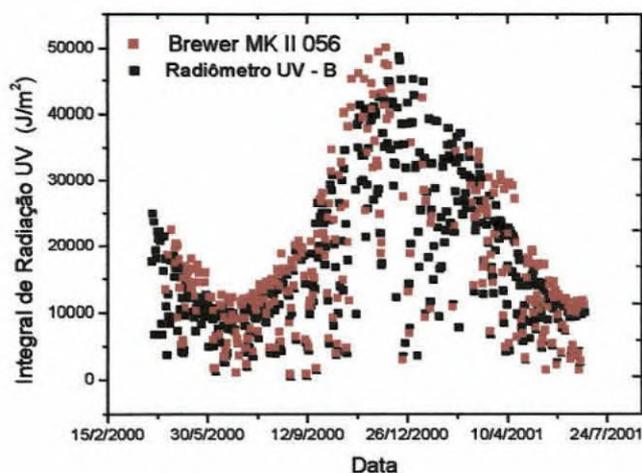


Figura 52 - Gráfico mostrando o comportamento da integral diária de radiação UV para o Brewer e para o Radiômetro.

Tal comparação evidencia a validade dos dados do Brewer (equipamento mais sensível) frente ao radiômetro (equipamento mais estável), quando o Brewer opera de forma regular, permitindo o uso dos dados do Brewer para outras análises, como aquela em que se baseia o objetivo principal desse trabalho, a comparação da coluna total de ozônio com a radiação UV-B incidente.

Para observar melhor a correlação entre os dados, suavizou-se as curvas dos dois equipamentos, pela opção *Smoothing Adjacent Averaging 20 pontos*, do Software gráfico *Microcal Origin 6.0*. A Figura 53 mostra um gráfico com as curvas suavizadas dos dois equipamentos. Observa-se novamente um comportamento bastante parecido para as extremidades das curvas, ocasionando até mesmo a sobreposição das curvas. No entanto, um comportamento sem uma correlação muito boa ocorre para o período de Novembro de 2000 a Fevereiro de 2001. A sua suavização evidencia ainda mais claramente a confiabilidade dos dados quando os dois equipamentos estão operando sem nenhum problema técnico.

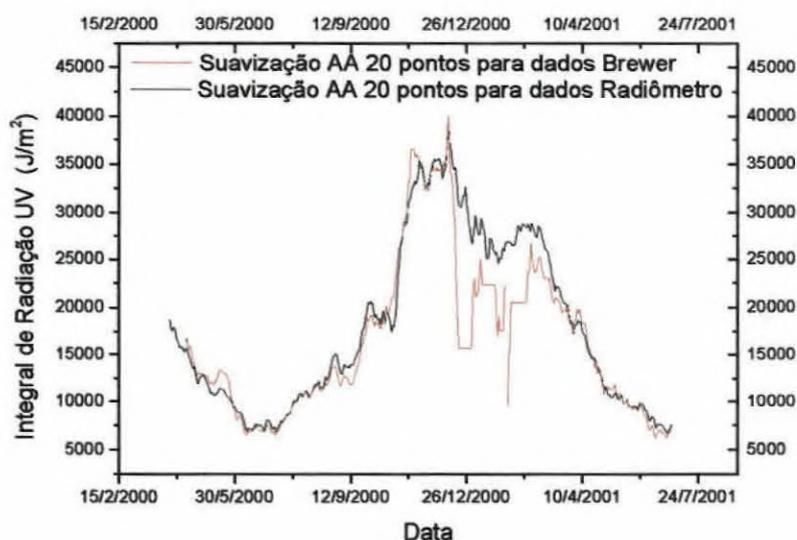


Figura 53 - Curvas suavizadas para os dados do Brewer e do Radiômetro UV-B.

Observando os gráficos das Figuras 52 e 53, verifica-se que, até por volta de Novembro de 2000 e após Março de 2001, o comportamento dos dois equipamentos foi muito bom. No restante do período, os comportamentos dos dois equipamentos tornam-se, em alguns pontos, bastante diferentes. Isso deve-se a alguns fatores, mas principalmente ao fato de que o Brewer apresentou problemas técnicos de operação. Somando-se a isto, está o fato da diferença de resolução dos aparelhos ao longo dos dias, uma vez que o Brewer executa medidas a cada 30 minutos, enquanto o radiômetro a cada 1 minuto, além dos efeitos da presença de nuvens.

O final de 2000 e início de 2001 foi marcado por diversos dias de chuva, e logo, grande quantidade de nuvens no céu. Devido a este fato, ocorre uma queda no valor das integrais obtidas com o Radiômetro, no período de meados de Dezembro a meados de Fevereiro. O comportamento esperado era de que a

curva se aproximasse de uma gaussiana. Com relação aos valores das integrais obtidas com o Brewer, ocorreu o problema já mencionado.

Como o radiômetro monitora o comportamento diário da radiação com uma maior aproximação da realidade, em relação ao Brewer, uma vez que executa uma medida a cada minuto, sua integral diária é, em geral, a mais correta. O Brewer por sua vez, executa apenas uma aproximação da quantidade total de energia, uma vez que, realizando baixo número de medidas e com intervalo grande entre elas, existe apenas uma “amostragem” das potências incidentes ao longo do dia. Assim, no intervalo de tempo entre duas medidas do Brewer, pode ser ignorado um curto período de céu limpo ou então a presença de uma nuvem de grande densidade, o que deve explicar os valores menores das integrais diárias obtidas com o Brewer para o período de final de Fevereiro a início de Março. Nota-se ainda, um comportamento muito idêntico para o período de Março de 2001, o que não era verificado no gráfico da Figura 50, pois o arquivo de calibração usado não era o adequado.

Em alguns períodos observou-se uma ótima aproximação entre dados dos dois equipamentos, como por exemplo, para o mês de Maio de 2001, devido basicamente ao ótimo estado de calibração dos mesmos e da existência de um período relativamente grande de dias sem nuvens ou com nuvens esparsas, de forma que ambos equipamentos conseguem uma aproximação grande com a realidade. A Figura 54 mostra as curvas de quantidade total diária de energia UV, em faixas semelhantes, para o Brewer e para o Radiômetro UV-B, para o mês de Maio de 2001.

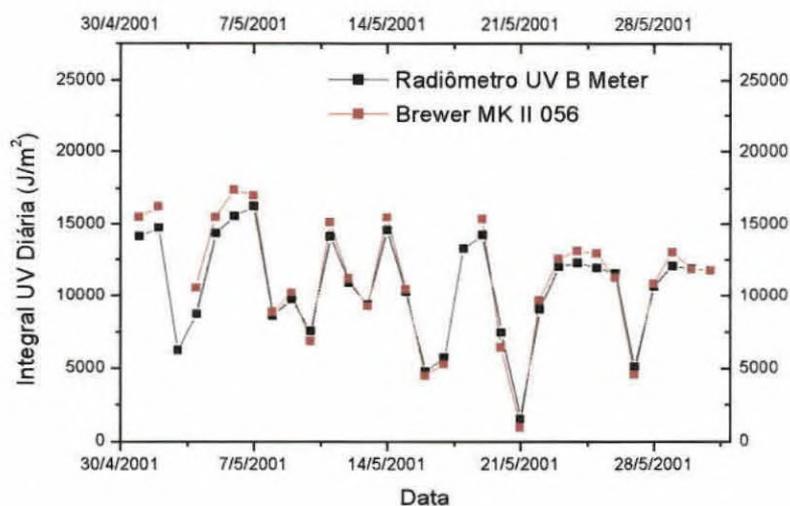


Figura 54 - Correlação das integrais diárias de radiação UV do Brewer e do Radiômetro UV-B instalados no OES no mês de Maio de 2001.

A correlação só é possível e torna-se significativa, devido a proximidade dos dois equipamentos, que encontram-se instalados em torno do Prédio 1 do OES, à uma distância inferior a 10 metros. Dessa forma fica garantida a medição da mesma quantidade de energia ultravioleta solar.

O gráfico da Figura 55 mostra as medidas de integral diária do Brewer plotadas contra as medidas de integral diária do radiômetro. Observa-se a

linearidade existente entre as medidas. O ajuste de uma reta foi efetuado com o objetivo de determinar o Índice de Correlação (R) para a análise. O valor de R foi 0,9817, e $R^2 = 0,9637$. Pode-se verificar claramente que os equipamentos diferem mais para as medidas em que as integrais diárias são maiores, ou seja, para o período de verão, o que é justificável devido principalmente aos problemas técnicos ocorridos naquela época.

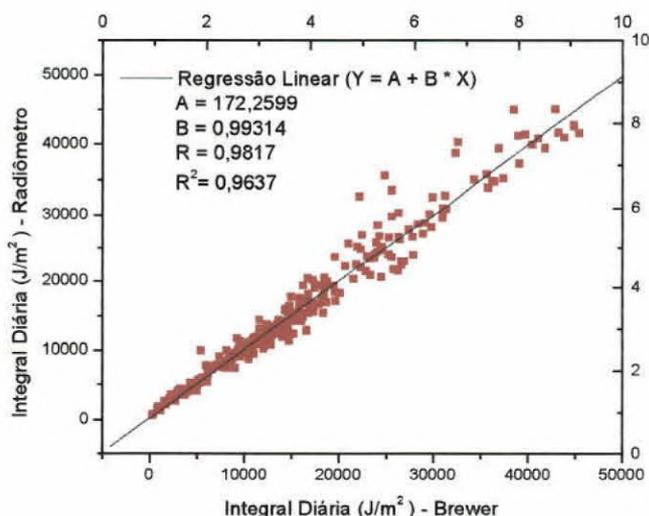


Figura 55 - Brewer X Radiômetro. Integrais Diárias de Radiação UV-B (J/m^2).

O gráfico da Figura 56 mostra o comportamento da quantidade total diária de energia ultravioleta ao longo dos dias, desde a instalação do Brewer 056 em meados de abril de 2000, até o dia 30 de Junho de 2001. Os dados utilizados para plotar-se o gráfico seguinte, correspondem às integrais diárias, utilizando-se a faixa bruta, sem usar nenhum espectro de ponderação, de 290 – 325 nm.

Devido aos problemas ocorridos com o Espectrofotômetro Brewer já mencionados anteriormente, pode-se verificar claramente que a análise ficou prejudicada, pois existe um período em que poucos dados estão disponíveis, além de não serem totalmente confiáveis. Analisando-se o gráfico da Figura 56, pode-se verificar que a tendência era de que os valores das integrais fossem aumentando, até atingirem um valor máximo por volta de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, o que provavelmente aconteceu, mas não foi detectado pelo equipamento. Após o conserto do Espectrofotômetro Brewer, a quantidade de dados torna-se novamente maior, no entanto, o período do pico de incidência de radiação já havia passado.

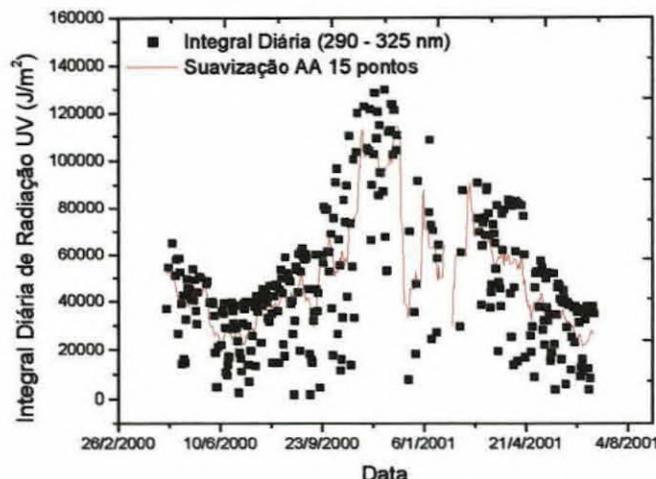


Figura 56 - Gráfico mostrando o comportamento das integrais diárias de radiação UV-B do Brewer para o período de Abril de 2000 a Junho de 2001.

A Figura 57 mostra o gráfico exibido pelo programa UV Brewer 2.1 para o comportamento da intensidade da radiação UV, pesada com o espectro de ação Eritema, ao longo do dia 23 de Junho de 2001. Dessa forma, pode-se fazer o acompanhamento da radiação ao longo do dia e para diversos tipos de espectros de ação, além de fazer o monitoramento da radiação UV ao longo do ano. Pode-se afirmar que o dia 23/06/2001 é um dia de Sol, sem nuvens, devido ao comportamento da curva plotada, pois sempre que temos um comportamento gaussiano, como o desta curva, significa que não houve a interferência de nuvens durante as medidas. A integral de radiação UV Eritematosa na faixa de 290 a 325 nm para este dia foi 1014 J/m² e o máximo índice UV ocorreu às 15:32 GMT, tendo como valor 2,65, adimensional, num ângulo de zênite de 52,88 graus.

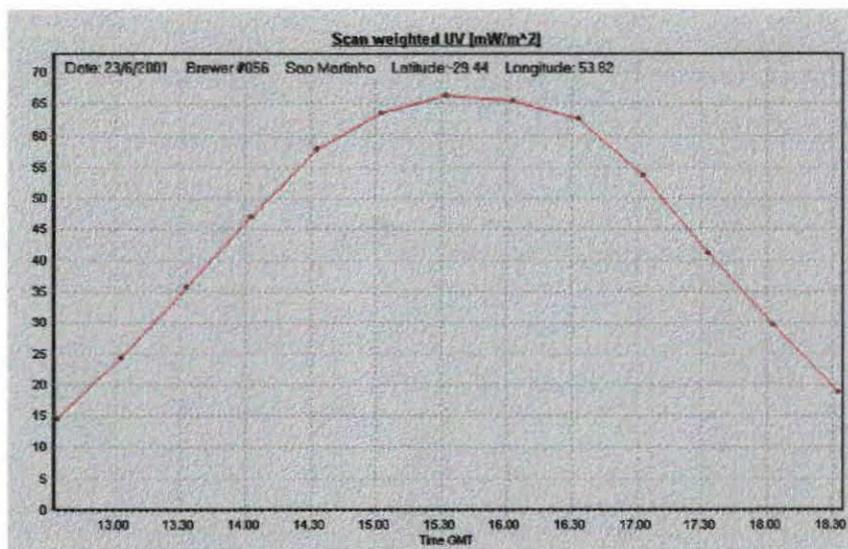


Figura 57 - Potência da radiação ultravioleta eritematosa versus horário GMT, ilustrando o comportamento da intensidade da radiação ao longo do dia.

6.3 ACOMPANHAMENTO DOS ÍNDICES ULTRAVIOLETA

Utilizando-se as medidas de UV do Espectrofotômetro Brewer, pode-se calcular o valor do Índice Ultravioleta. Isto é devido à maneira como a radiação é medida em comprimentos de onda individuais, possibilitando a ponderação e a determinação das quantidades de energia biologicamente ativa segundo um espectro de ação.

O radiômetro UV-B mede a quantidade total de energia na faixa entre 280 a 315 nm, impossibilitando a ponderação e, sendo assim, parece não permitir a determinação de Índices Ultravioleta. Atualmente encontra-se instalado no OES o UV Biômetro, que permite determinar o valor do Índice Ultravioleta, utilizando uma constante para efetuar o cálculo. Assim sendo, tanto o Espectrofotômetro Brewer, quanto o UV Biômetro, através de suas medidas, permitem determinar o valor do Índice Ultravioleta.

Para poder-se determinar o valor do Índice Ultravioleta, utilizam-se os dados de UV do Brewer, que são abertos no UV Brewer 2.1 e reprocessados pelo UVR correspondente, aplicando ponderação do tipo Eritema. Em seguida é gerado um arquivo na opção EXPORT contendo data, hora da medida, ângulo solar zenital da medida e a potência eritematosa em mW/m^2 . O Brewer executa medidas do tipo UV a cada 30 min, aproximadamente, efetuando um scan em todos os comprimentos de onda capaz de medir. Desta forma, ao longo do dia são efetuados mais de 10 scans, cada qual resultando em uma potência efetiva.

Com o programa MAXIUV, lê-se o arquivo exportado do UV Brewer 2.1. O programa verifica qual o maior valor de potência eritematosa ao longo de cada dia e calcula o Índice Ultravioleta correspondente a esta potência medida ao longo do dia pelo Espectrofotômetro Brewer, sendo este o Máximo Índice Ultravioleta Diário.

O gráfico da Figura 58 mostra o comportamento do Máximo Índice Ultravioleta, ou seja, o comportamento dos Máximos Índices Ultravioleta de cada dia ao longo do período de Abril de 2000 a Junho de 2001. A curva vermelha é uma suavização do tipo AA 15 pontos, para melhor ilustrar a tendência dos dados. Pode-se observar claramente o mesmo comportamento que foi observado anteriormente para a curva das integrais diárias, ou seja, o período com os maiores Índices Ultravioleta ocorre no verão, quando a maior incidência da radiação solar ocorre no Hemisfério Sul. No entanto, assim como no gráfico anterior, é fácil de se perceber neste gráfico o período em que o Espectrofotômetro Brewer não apresentava perfeitas condições de operação, ficando um período muito longo sem dados ou com dados não muito confiáveis.

Caso não houvesse ocorrido o problema com o equipamento, muito provavelmente o gráfico se assemelharia a uma gaussiana, uma vez que os índices são máximos no verão e mínimos no inverno.

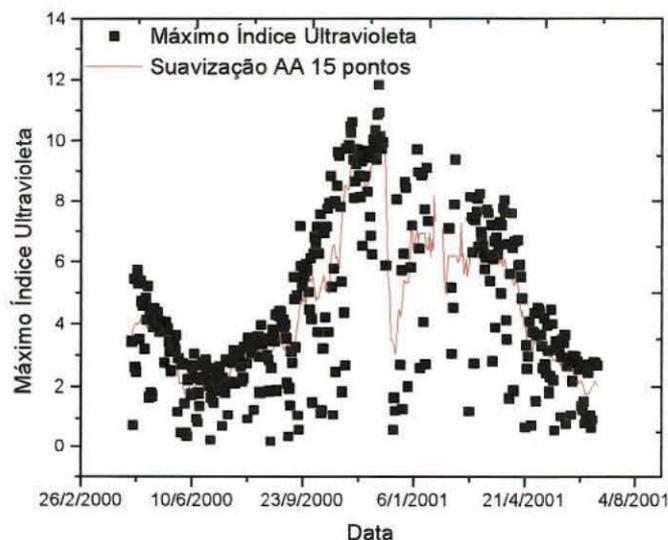


Figura 58 - Gráfico mostrando o comportamento dos valores de Máximo Índice Ultravioleta Diário para os dias do ano 2000 em que o Espectrofotômetro Brewer MKII 056 operou no OES.

O gráfico da Figura 59 abaixo mostra uma comparação entre os valores de máximos índices ultravioleta obtidos com o Espectrofotômetro Brewer e com o Biômetro. Plotou-se somente a partir do mês de Abril, em função de alguns problemas técnicos já mencionados e em função de um problema operacional ocorrido com o Biômetro, que ficou o mês de Março coletando dados de meia em meia hora. No momento está-se analisando uma forma de como utilizar estes dados para o mês de Março.

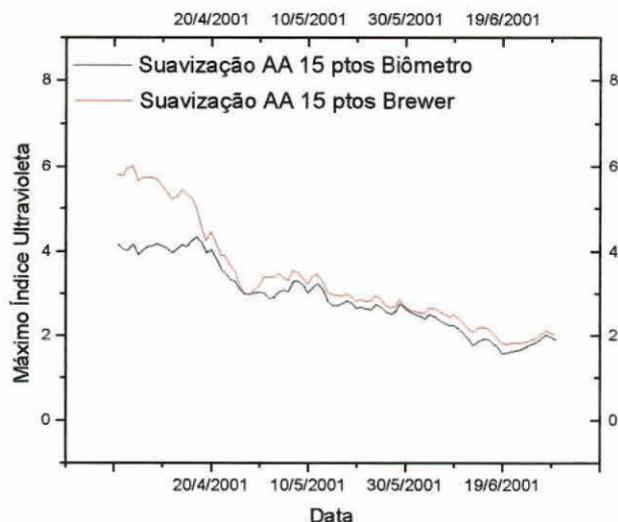


Figura 59: Gráfico comparando os Máx. Índices Ultravioleta obtidos com o Brewer com valores obtidos com o Biômetro

Pode-se verificar a boa correlação entre os dados dos dois equipamentos. Os valores menores de máximos índices ultravioleta obtidos pelo Biômetrp provavelmente estão relacionados ao fato de que este equipamento executa uma integral a cada hora para determinar o valores do Índice, o que não ocorre com o Brewer, que gera um índice ultravioleta para cada medida de UV que ele executa. Além disso, de acordo com estudos que vem sendo feitos com os dados de radiação para a localidade do OES, constatou-se que o máximo de incidência solar ocorre às 12:30 local, e de acordo com o Schedule atual do Brewer, ele executa uma medida de UV a cada meia hora exata, ou seja, ele executa a medida muito próximo do horário em que o máximo de incidência ocorre, enquanto que o Biômetro integra a hora toda.

6.4 ESTIMATIVA DO MÁXIMO ÍNDICE ULTRAVIOLETA USANDO DADOS DO RADIÔMETRO

Ao executar-se as correlações de Integrais do Brewer e do UVB Meter, constatou-se que os valores eram muito aproximados, o que serviu de estímulo para que outros gráficos fossem feitos. Plotando-se outros gráficos, aos poucos chegou-se a algumas relações muito interessantes. Conforme pode verificar-se no gráfico da Figura 60, embora as escalas sejam diferentes, os valores das integrais diárias do Radiômetro, quando comparadas ao valor das integrais pesadas com espectro de eritema do Brewer, apresentam um comportamento muito semelhante, apresentando uma resposta muito parecida.

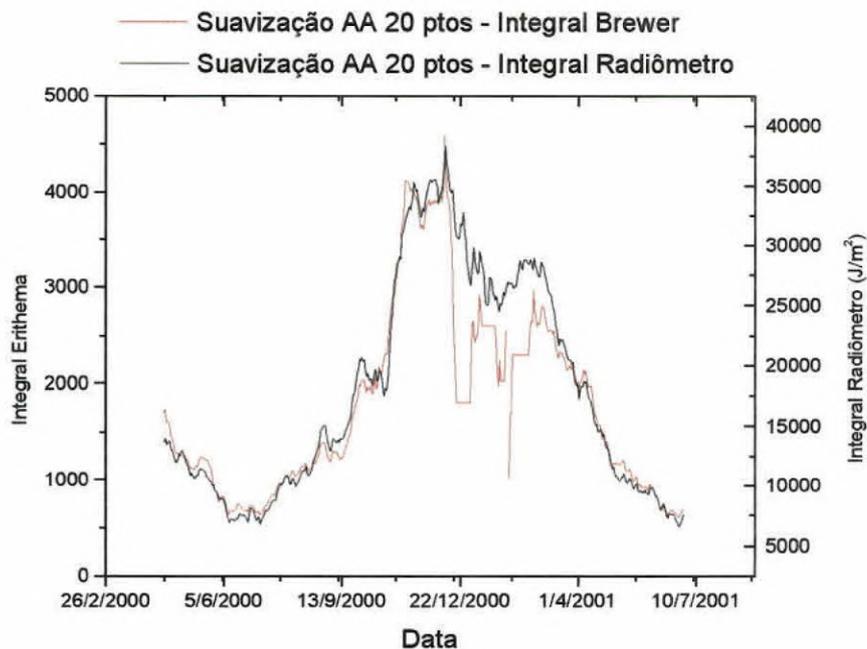


Figura 60: Gráfico mostrando a comparação entre as Integrais Erithema do Brewer com as Integrais do Radiômetro

Este fato muito interessante serviu de estímulo para que se plotasse os valores de Índice ultravioleta, obtido com o Brewer versus os valores das integrais do radiômetro. Se o Índice é calculado a partir dos valores de dados ponderados do Brewer, era de se esperar que o comportamento deste gráfico seria muito semelhante ao anterior. Este fato foi comprovado ao se plotar o gráfico, como pode-se ver no gráfico da Figura 61. Exceto para o período em que o Brewer apresentava problemas, os demais períodos apresentam boa correlação entre os dados.

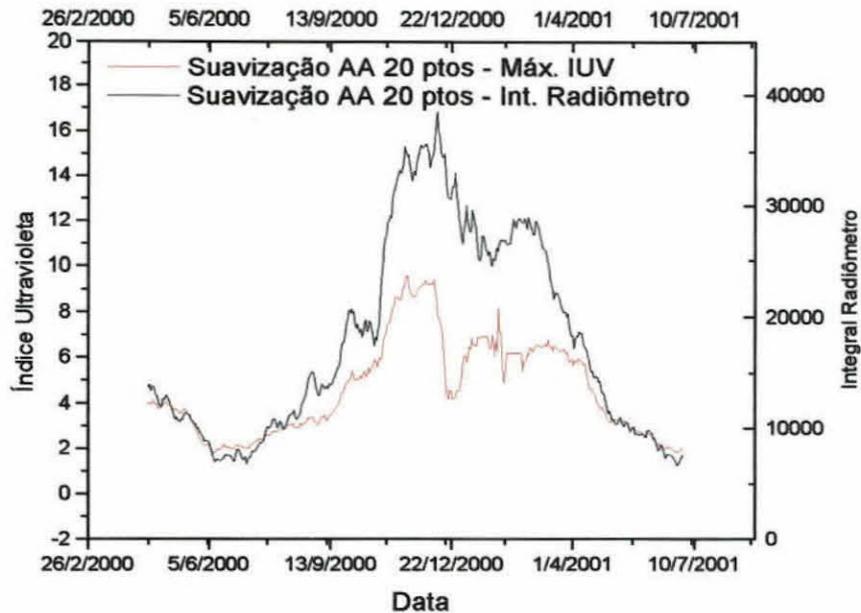


Figura 61: Gráfico mostrando a comparação entre os valores das Integrais do Radiômetro com os valores dos Máximos Índices Ultravioleta do Brewer

Com base nestes resultados, procurou-se uma relação existente entre os valores das integrais do Radiômetro e os valores dos Índices Ultravioleta calculados com o Brewer. Para tanto, procurou-se um período de dados em que houvesse a predominância de sol, para que o efeito das nuvens não afetasse nos resultados. O mês escolhido foi o de Julho de 2000.

Comparou-se os valores dos Índices com os valores das potências que o radiômetro mediu no exato momento em que foi feita a medida do Índice. Isto foi possível pois o radiômetro faz uma medida a cada minuto. A comparação feita encontra-se plotada no gráfico da Figura 62.

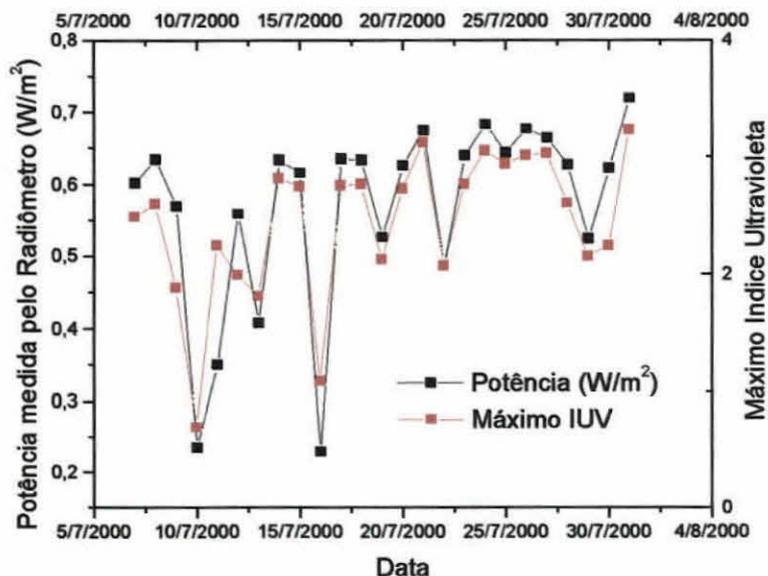


Figura 62: Gráfico mostrando a correlação entre os valores do Máx. IUV obtidos com o Brewer com os valores das potências medidas pelo Radiômetro na hora do Max. IUV.

De acordo com estes valores, o valor da constante encontrado foi de 4,20, aproximadamente, ou seja, ao se multiplicar o valor da potência medida pelo radiômetro por 4,20, chega-se muito próximo ao valor do índice que o Brewer mediu para aquele horário. O grau de correlação pode ser analisado ao fazer-se uma regressão linear dos dados. Esta regressão pode ser vista no gráfico da Figura 63. O valor de R encontrado foi de 0,95.

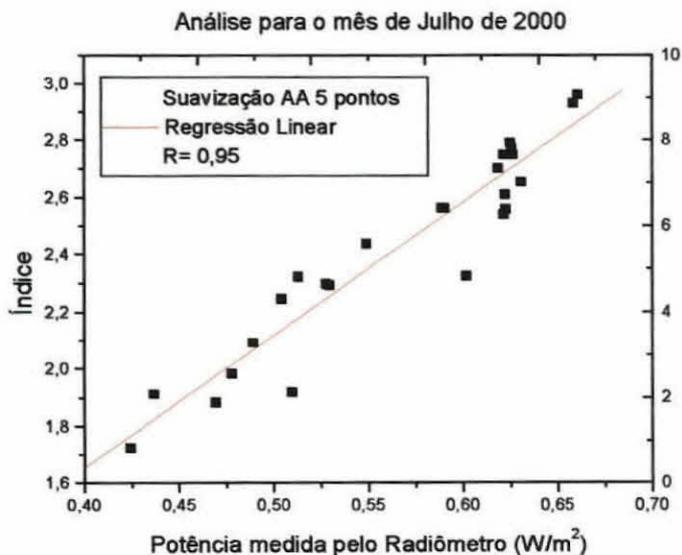


Figura 63: Gráfico mostrando a regressão linear para os dados do Índice x Potência do Radiômetro

Ao analisar-se os dados dos Índices Ultravioleta obtidos pelo Brewer, desconsiderando os dias em que o equipamento esteve com problemas, com os valores estimados pelos dados do Radiômetro, chega-se a uma correlação muito boa. Conforme pode-se verificar no gráfico da Figura 64, o valor de R encontrado foi de 0,98.

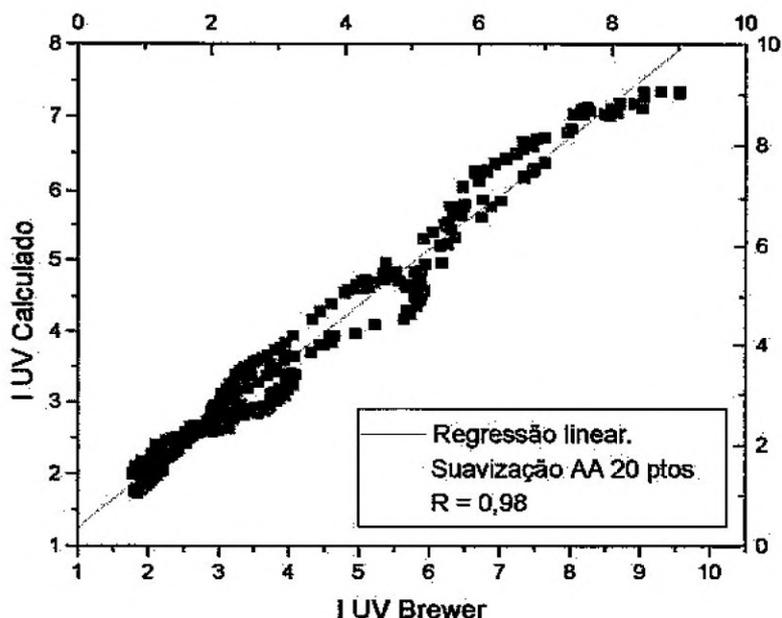


Figura 64: Gráfico mostrando a boa correlação entre os dados dos Índices Ultravioleta obtidos com o Brewer com os valores estimados com dados do Radiômetro.

Em virtude desta correlação, talvez possa-se utilizar o radiômetro para fazer uma **estimativa** do valor do Índice Ultravioleta.

6.5 CORRELAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE OZÔNIO DO BREWER E DO TOMS

O Espectrofotômetro Brewer instalado no OES, e o equipamento TOMS a bordo do Satélite Earth Probe da NASA, medem a Coluna Total de Ozônio Atmosférico por técnicas bastante semelhantes, sendo que ambas são indiretas e baseadas em medidas de radiação ultravioleta em diferentes comprimentos de onda.

A partir dos bancos de dados da quantidade total de ozônio atmosférico para os equipamentos TOMS e Brewer, são efetuadas correlações para atestar a confiabilidade das medidas deste último. Comportamentos diferentes, podem ser indicio de problemas ou de calibração "vencida" no Espectrofotômetro. Esses comportamentos podem também ser causados por problemas no satélite.

O gráfico da Figura 65 mostra os pontos correspondentes as medidas da coluna total de ozônio para o Brewer e para o TOMS desde a instalação do

Brewer em Abril de 2000, até Junho de 2001. O eixo das abscissas representa os dias julianos. Pode-se observar, não muito claramente, um comportamento assemelhado dos conjuntos de dados dos dois equipamentos.

A fim de observar mais claramente o comportamento da Coluna Total de Ozônio medida pelos dois equipamentos, efetuou-se uma suavização das curvas dos dois aparelhos, resultando no gráfico da Figura 66.

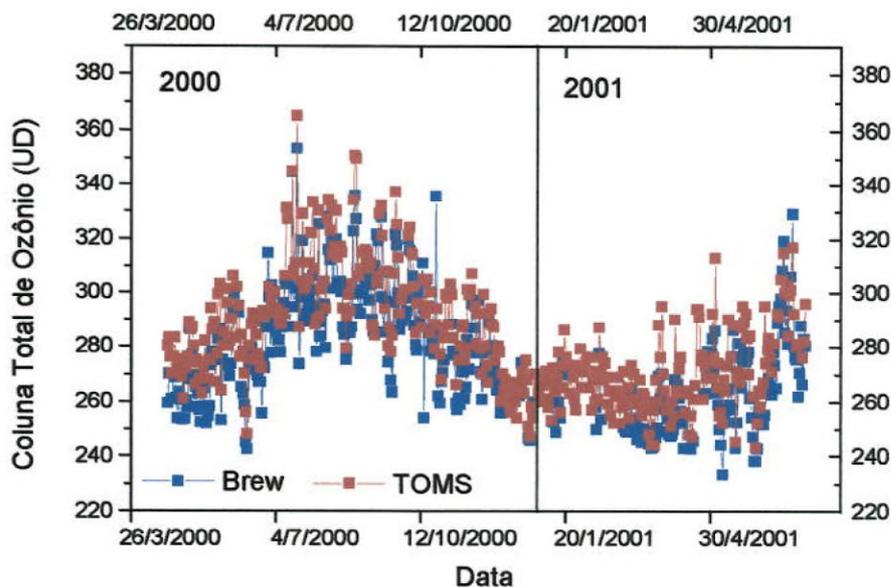


Figura 65: Coluna Total de Ozônio em Unidades Dobson medida pelo Espectrofotômetro Brewer e pelo equipamento TOMS - NASA.

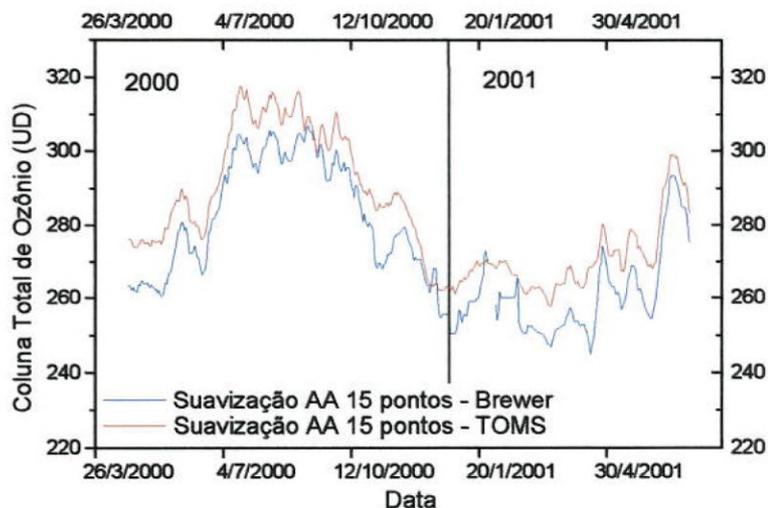


Figura 66: Gráfico mostrando as curvas suavizadas de Coluna Total de Ozônio medida pelo Brewer e pelo TOMS.

Os dados da Coluna Total de Ozônio medidos pelo Brewer, foram plotados contra os dados de mesma espécie do TOMS. O resultado foi o gráfico mostrado na Figura 67. A linearidade das medidas é evidente, significando uma correlação satisfatória. O Índice de Correlação assumiu o valor $R = 0,90771$ e $R^2 = 0,82394$.

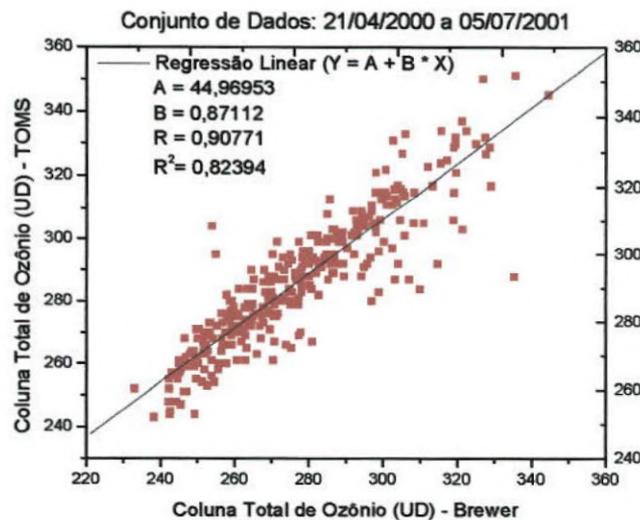


Figura 67: Brewer X TOMS. Coluna Total de Ozônio (UD).

6.6 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE OZÔNIO E RADIAÇÃO UV

A comparação entre medidas da Coluna Total de Ozônio e da Radiação Ultravioleta incidente, trata-se na realidade de uma ANTICORRELAÇÃO de dados, devido ao fato de que o Ozônio é um elemento atenuante da Radiação Ultravioleta, e logo, essas grandezas são inversamente proporcionais.

A observação da Anticorrelação dessas medidas é, em geral, difícil, e os resultados não são muito satisfatórios. Vários são os fatores que interferem nessa comparação, mas dois deles são de grande importância: as condições do tempo e o fator geométrico.

As condições do tempo interferem pois a presença de nuvens colabora na atenuação da radiação solar, podendo haver valores diferentes de radiação para a mesma coluna total de Ozônio. O fator geométrico trata da posição do Sol no céu, ou melhor, do Ângulo Zenital Solar. Quanto maior for o ângulo em relação ao zênite, maior será a espessura da camada de ar, e logo, de ozônio, atravessada pela radiação proveniente do Sol. Assim a taxa de energia da radiação solar assume valores diferentes ao longo do dia, e é isso que faz com que a radiação ultravioleta, tenha o comportamento diário mostrado na Figura 57. Isso acarreta diferentes medidas de radiação ultravioleta para uma coluna de ozônio razoavelmente estável no intervalo de um dia.

Para desviar o problema do fator geométrico, pode-se escolher apenas medidas de potência de radiação ultravioleta em um ângulo fixo. Assim, as

medidas utilizadas correspondem sempre aos dados gerados em um único ângulo solar zenital. Deve-se portanto, escolher um ângulo que ocorra ao longo de todo ano, para que se possa ter um conjunto de dados mais abrangente.

O Espectrofotômetro Brewer foi o equipamento adotado para realizar tal correlação, utilizando-se tanto as potências de radiação UV em ângulo fixo como os valores da Coluna Total de Ozônio por ele calculados.

A fim de determinar o valor do ângulo a ser adotado, plotou-se o gráfico da Figura 68, mostrando o ângulo solar de todas as medidas UV efetuadas pelo Brewer desde a sua instalação. Pela observação do gráfico, constata-se que na adoção de ângulos inferiores a 53° , não existirão medidas UV utilizáveis durante os dias em torno do solstício de inverno, devendo-se adotar ângulos maiores.

Adotou-se o ângulo zenital solar de $55,5^\circ$ como ângulo fixo das medidas UV, com variação de $\pm 0,5^\circ$. No software UV Brewer 2.1, foi aplicado o espectro de ação eritema, a fim de observar a anticorrelação do ozônio com a energia biologicamente ativa sobre a pele humana. Foi então gerado um arquivo de saída com os valores das potências eritematosas e com os ângulos solares em que as medidas foram efetuadas. Foram excluídos todos os dados de ângulos fora do intervalo entre $55,00^\circ$ e $55,99^\circ$.

Em dias em que havia duas medidas para o mesmo ângulo, adotou-se o valor em que a potência era maior, pois assim sendo estaria-se fugindo um pouco de dados coletados no momento em que havia nuvens. Dados de potência eritematosa abaixo de 10 mW/m^2 foram desconsiderados, pois provavelmente estes valores de potências foram medidos num momento em que haviam nuvens ou estava chovendo.

Obtidas as potências eritematosas com seus respectivos ângulo solar zenital, dia e hora de medida, bastou fazer um levantamento dos dados de Ozônio medidos pelo mesmo equipamento.

Em seguida, plotou-se os dados de potência eritematosa em ângulo fixo de 55° contra os dados das medidas da Coluna Total de Ozônio. O resultado foi o gráfico da Figura 69.

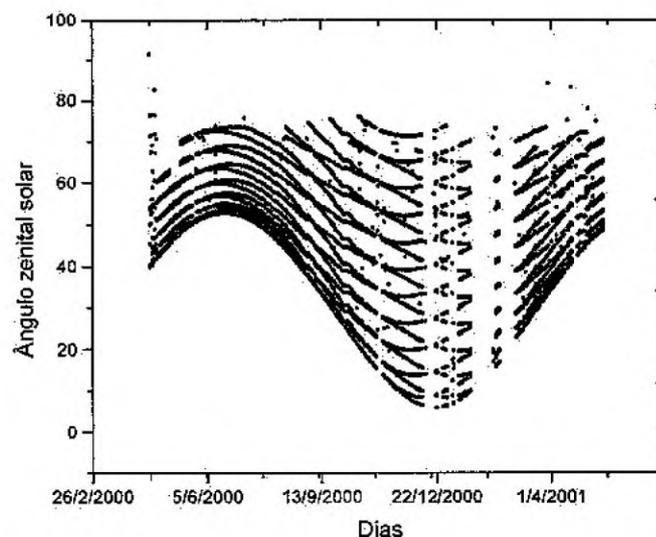


Figura 68 - Gráfico mostrando os ângulos zenitais solares das medias UV efetuadas pelo Brewer.

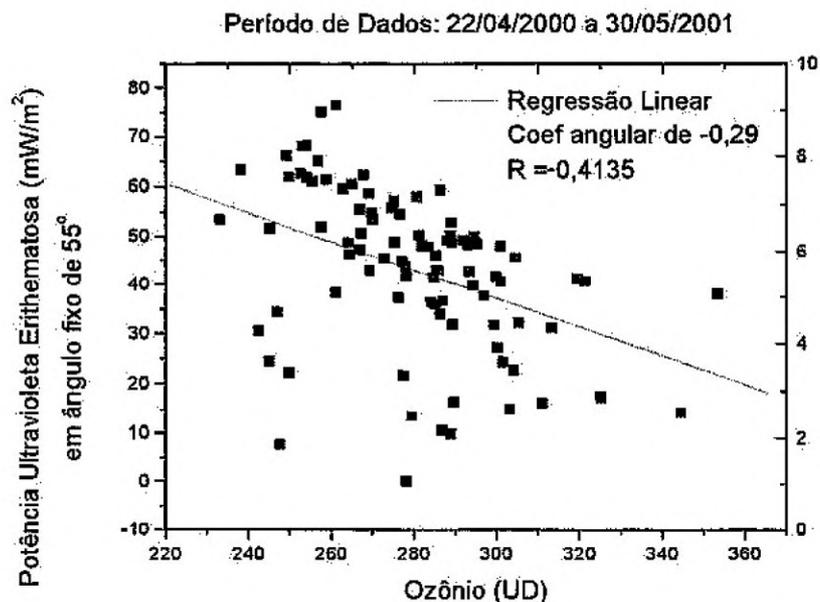


Figura 69 - Gráfico mostrando o comportamento inversamente proporcional da radiação ultravioleta incidente e da Coluna Total de Ozônio medidos pelo Brewer.

O ajuste de uma reta na Figura 69 objetivou, além da melhor visualização da anticorrelação, a obtenção do Índice de Correlação para a comparação efetuada. Tal índice assumiu valores $R = -0,4135$. O valor negativo de R (Índice de Correlação) reforça o comportamento inverso dos dois tipos de medida, reforçando que a comparação é na realidade uma Anticorrelação.

Em função do resultado não ter sido muito bom, pode-se sugerir que outro equipamento seja utilizado para a realização deste trabalho. O maior problema encontrado é com relação à falta de medidas de radiação em determinados ângulos, pois às vezes um período muito grande de dias ficou sem apresentar medida para o ângulo de 55°, em função do Schedule que o Brewer executava.

Com a finalidade de melhor observar o comportamento das duas espécies de medidas ao longo do tempo, instituiu-se duas grandezas percentuais: **Delta Ozônio** e **Delta UV**. Os valores de *Delta* correspondem à diferença percentual de cada medida em relação à média do período e podem ser representados por:

$$\text{Delta} = \frac{(\text{Medida}) - (\text{Média do período})}{(\text{Média do período})}$$

Por exemplo, o Delta Ozônio para o dia Juliano 256 é dado por:

$$\text{Delta Ozônio (dia 256)} = \frac{(\text{Medida no dia 256}) - (\text{Média do período})}{(\text{Média do período})}$$

Assim, são plotados os valores de Delta Ozônio e Delta UV ao longo dos dias do período. Aplicando-se uma suavização sobre as curvas de cada *Delta*, obtém-se o gráfico apresentado na Figura 70.

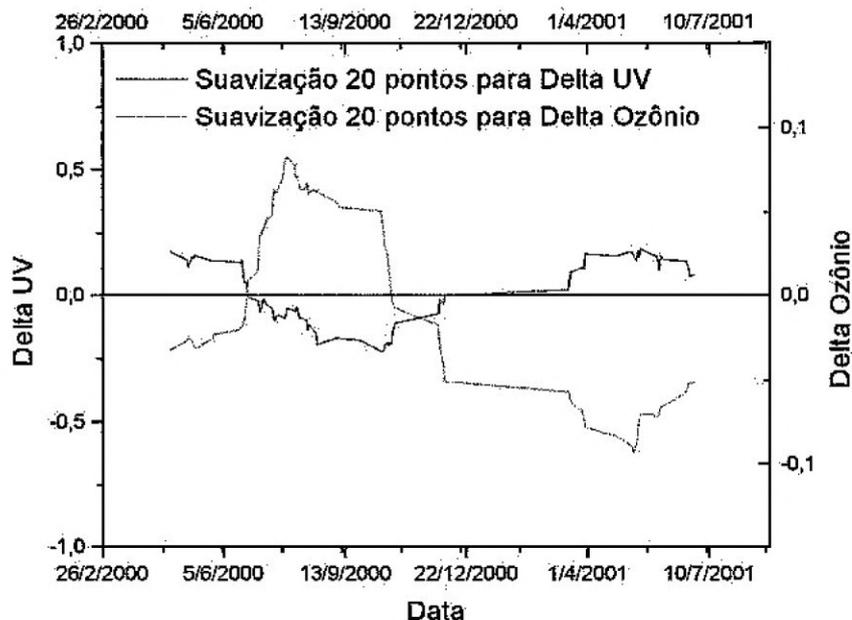


Figura 70 - Gráfico mostrando o comportamento oposto existente entre as medidas de ozônio e radiação UV em ângulo fixo.

Observando o gráfico percebe-se, na maioria dos pontos, o comportamento inverso das duas curvas plotadas. Os eixos das ordenadas contêm os valores de Delta Ozônio e Delta UV em escalas diferentes, uma vez que as variações existentes não possuem a mesma proporção, mas apenas comportamentos inversos.

6.7 ELABORAÇÃO DE TABELAS PARA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Com a finalidade de melhorar a organização dos dados disponíveis e facilitar análises matemáticas futuras, os dados foram tabelados em planilhas do Excel. À medida que os dados foram sendo reduzidos, foi-se acrescentando os mesmos a essas planilhas. Além dos dados que foram analisados nesse trabalho, tabelou-se também os dados para os anos de, 1998 e 1999.

Gerou-se ainda uma tabela na qual contém todos os arquivos de calibração que foram utilizados para gerar os arquivos com os dados exportados, utilizando-se o *Brewer Spectrophotometer UV Data Files Analysis Program v.2.1*.

6.8 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE OZÔNIO COLETADOS COM O BREWER E COM ESTIMATIVAS DE DADOS DE SONDAGENS

Estudou-se o perfil vertical da Camada de Ozônio atmosférico, obtido por sondagens atmosféricas realizadas durante o período de novembro de 1996 a abril de 1998. Analisou-se dados de 34 sondagens.

Fez-se uma estimativa da coluna total de Ozônio, utilizando a Climatologia de McPeters. Estes valores foram comparados com os dados da coluna total de Ozônio coletados pelo Espectrofotômetro Brewer # 081 e pelo instrumento TOMS. Somente analisou-se os dados dos dias em que os três instrumentos estavam operacionais. Esta comparação é apresentada no gráfico da Figura 71.

Observa-se uma boa correlação estatística entre os dados. A maior diferença entre os dados do TOMS e das sondagens ocorre no dia 12 de novembro de 1996, 13 %. Comparando-se com os dados do Brewer a maior diferença ocorre no dia 18 de abril de 1997, 11%. Em ambos os casos, os valores obtidos com os dados das sondagens são menores. O conjunto dos dados analisados mostra maior correlação dos dados do Brewer com os dados das sondagens, com diferença média de 3,5%. Em relação aos dados do TOMS, com os dados das sondagens, a diferença média é de 6%.

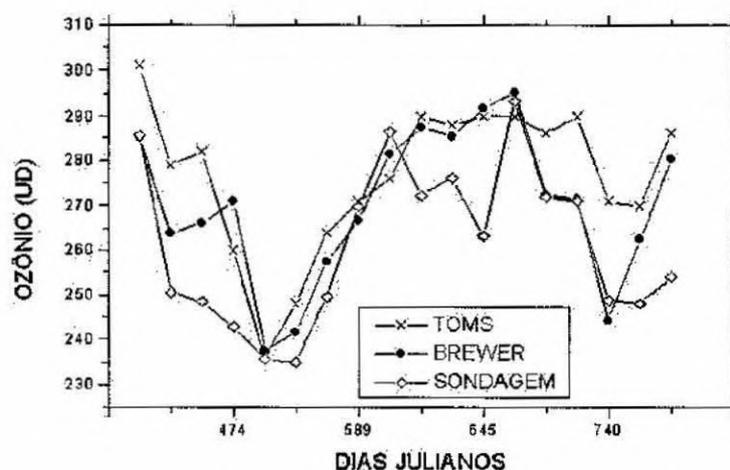


Figura 71: Comparação dos dados da coluna total de Ozônio coletados pelo Espectrofotômetro Brewer #081, pelo instrumento TOMS e por sondagens na Região Central do Rio Grande do Sul.

6.9 MONITORAMENTO DA CAMADA DE OZÔNIO

Durante o período efetuou-se ainda o acompanhamento do comportamento da Camada de Ozônio para a região central do Rio Grande do Sul, sendo que os valores não apresentaram variações significativas, se comparados com os dados de anos anteriores.

7 CONCLUSÕES

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. A popularização do Índice Ultravioleta ajudará o público a determinar os tempos seguros de exposição ao Sol, bem como o fator de proteção que deve ser utilizado.

O espectrofotômetro Brewer, apesar de sensível e de manutenção delicada, apresenta-se como um dos melhores equipamentos, no que diz respeito à medição de Radiação Ultravioleta em comprimentos de onda particulares, possibilitando a aplicação de diversos espectros de ação, como o Eritema, e permitindo o cálculo dos Índices Ultravioleta. Além disso, a medição da coluna total de ozônio por este equipamento, processa-se com grande precisão.

As boas correlações encontradas entre o Espectrofotômetro Brewer e o Radiômetro, indicam que os equipamentos apresentam respostas muito semelhantes quando ambos estão bem calibrados e sofrendo manutenção periódica, atestando a confiabilidade dos dados de UV. A comparação entre as curvas das integrais dos equipamentos pode servir de parâmetro para diagnosticar e verificar defeitos nos equipamentos, assim como foi verificado nesse trabalho, quando graças a uma comparação feita entre as integrais, verificou-se que o arquivo de calibração que vinha sendo utilizado era incorreto.

Baseando-se nas análises feitas, apesar de a estimativa do Índice Ultravioleta feita com os dados do Radiômetro parecer muito boa, esta deve ser cuidadosamente interpretada e merece maiores estudos. Isto se deve ao fato do Radiômetro não fazer nenhum tipo de ponderação nas medidas de UV – B efetuadas.

A boa correlação encontrada entre os valores de ozônio coletados com o Brewer, com os valores do satélite TOMS e com os valores estimados utilizando dados de sondagem, demonstram a boa qualidade dos dados das sondagens feitas. Pode-se justificar esta afirmativa baseando-se na boa correlação existente entre os dados de ozônio do Brewer e do TOMS.

As correlações realizadas entre os dados de coluna total de ozônio entre o Brewer e o TOMS apresentaram resultados satisfatórios, atestando a confiabilidade dos dados de ozônio do Brewer, para o período em que o mesmo não apresentava problemas técnicos, o mesmo ocorrendo para os dados de Radiação UV, quando comparado com os dados do Radiômetro.

A Radiação Ultravioleta, na maior parte do período estudado, mostrou-se com um comportamento normal. O problema ocorrido com o Espectrofotômetro Brewer durante boa parte do verão prejudicou um pouco as análises feitas, principalmente a análise da correlação entre os dados da Radiação e os dados de Ozônio. A correlação entre Ozônio e Radiação Ultravioleta, como já se esperava, mostrou-se como uma ANTICORRELAÇÃO. Pode-se observar claramente os comportamentos opostos entre as duas espécies de medidas.

O Espectrofotômetro Brewer parece não ser o instrumento ideal para fazer este tipo de comparação, quando não se estiver usando um *Schedule* específico para realizar esta análise, pois nem sempre o equipamento efetuou medidas de UV no ângulo que foi determinado para realizar o estudo. O melhor seria utilizar

os dados do Radiômetro, pois este equipamento efetua medidas a cada minuto, de forma que seria mais fácil fazer a anticorretação, pois existiriam mais dados para serem analisados. Além disso, não foram desconsiderados deste trabalho dias com nuvens e com chuvas. Dias nublados ou chuvosos atrapalham neste tipo de análise, pois a radiação incidente é menor nesses dias, o que é causado justamente pelo espalhamento da radiação.

O tabelamento dos dados em planilhas eletrônicas foi muito útil, uma vez que praticamente todos os gráficos tiveram que ser refeitos. Além disso, a organização dos dados torna-se melhor e uma análise torna-se mais fácil e rápida de ser feita.

8 AGRADECIMENTOS

O bolsista agradece ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, e à sua sub-unidade, Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE), bem como ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT/UFSM) e ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, pela disponibilização de sua infra-estrutura e dos recursos existentes, para a execução dos trabalhos relativos à bolsa em questão.

Um agradecimento ao CNPq e ao programa PIBIC/INPE pelo amparo financeiro, e pelo apoio e incentivo às atividades de pesquisa em nosso País.

É importante mencionar a colaboração de toda a equipe que compõe o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico - PMOA, bem como aqueles colaboradores que, embora afastados por motivo de especialização, nunca se negaram a prestar auxílio. A estes, e a todos os demais colegas e funcionários que compõe o CRSPE e o LACESM, o seu reconhecimento.

Um agradecimento especial ao Dr. Nelson Jorge Schuch, coordenador do CRSPE/INPE, pelos conselhos, sugestões e apoio, e pela sua atuação como um co-orientador durante as atividades realizadas, bem como na edição do presente relatório.

9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Brasseur, G. and Solomon, S. **Aeronomy of Middle Atmosphere**, Dordrecht, Holanda, D. Reidel Publishing Company, 1986.
- Echer, E. **Observação da radiação ultravioleta solar tipo B em banda larga**, (Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial) – INPE-7254-TDI/697 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- Goody, R. **Principles of Atmospheric Physics and Chemistry**. Oxford University Press, New York, United States, 1995.
- 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.
- Kirchhoff, V. W. J. H. **Ozônio e Radiação UV-B**. Transtec Editorial, São José dos Campos, São Paulo, 1995.
- Kirchhoff, V. W. J. H. **Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa**. Editora Contexto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil), São José dos Campos, São Paulo, 1992.
- Kirchhoff, V. W. J. H., Schuch, N. J., Pinheiro, D. K.; Harris, J. M. **Evidence for an ozone hole perturbation at 30° South**. *Atmospheric Environment*, v. 30, n. 9, p. 1481-1488, 1996.
- Waite, R. P. **Chemistry of Atmospheres - second edition**. Clarendon Press - Oxford, New York, United States, 1991.
- 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.
- Casaccia, C. **Observações do buraco de ozônio em Punta Arena – Chile** (Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE-6344-TDI/596, 1996.
- Molina, L. T., and Molina, M. J. **Absolute Absorption Cross Sections of Ozone in the 185 to 350 nm Wavelength Range**, *J. Geophys. Res.* V.91, n. D13, 14501-14508, Dez. 1986.
- 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.

Pinheiro, D. K. **O Fenômeno do “Buraco de Ozônio Antártico”** (Trabalho da Disciplina de Geofísica Espacial I) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio de 1999.

Zambon, G. A. **Estudo da Radiação Ultravioleta na Região Central do Rio Grande do Sul** (Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica – FAPERGS. Orientação: Augusta Maria Passaglia Schuch); Santa Maria, janeiro de 2000.

BREWER OZONE SPECTROPHOTOMETER ACCEPTANCE MANUAL

BREWER OZONE SPECTROPHOTOMETER MAINTENANCE MANUAL

BREWER OZONE SPECTROPHOTOMETER OPERATOR'S MANUAL

METEOROLOGICAL PROCESSING SYSTEM W-9000 – OPERATOR MANUAL

METEOROLOGICAL PROCESSING SYSTEM W-9000 – REFERENCE MANUAL

METEOROLOGICAL PROCESSING SYSTEM W-9000 – THEORY OF OPERATION

<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

<http://stimpny.chem.selu.edu/nasa/spectrum.gif>

http://see.gsfc.nasa.gov/edu/SEES/strat/class/S_class.htm

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere>

10 ANEXOS

ANEXO 1

ROTEIRO SEGUIDO PARA CORREÇÃO DO PROBLEMA NO SISTEMA W 9000

Detectou-se um problema junto ao sistema de sondagem e fez-se diversos contatos com técnicos e pesquisadores do INPE, colegas do PMOA, técnicos da UFSM, bem como com técnicos da empresa brasileira que representa a empresa da qual foi adquirido o Sistema, chegou-se ao defeito e corrigiu-se o mesmo. Neste anexo, encontra-se o roteiro seguido para detectar e resolver o problema. O objetivo deste anexo é facilitar a resolução de problemas futuros, para promover o conserto de algum dos componentes do sistema em alguma eventual falha.

Após digitar o comando **START**, a seguinte seqüência de informações aparecia no monitor do Computador:

"Sistem Configuration" - Aparecem rapidamente as configurações do Sistema.

ZEEMET RACK Configuration - Aparece uma seqüência de mensagens no rodapé do monitor, que na ordem é a seguinte:

*"- Cheking for connection to GPS Decoder Module
- Determining Status os ZEEMET RACK
- Select module to load. Press Enter to download, Esc to continue."*

Após isto, apareceram as seguintes informações:

*"GPS Module download
Interface download
403 Receiver download"*

Sendo que os demais parâmetros não estão em uso. Teclando-se **Esc** para continuar, na última opção acima, apareceu a seguinte mensagem:

*" Press <Esc to exit do DOS, <R to Retry, <C to Continue
Error 254, Prog: CHKZRACK.BAS, No Interface Module Found."*

Teclando **C** apareceu a seguinte mensagem:

*" Press <Esc to exit to DOS, any other key to retry
Error: 240, Prog: MASTER.BAS, ZEEMET Rack Init. Failed on IS Request."*

Com relação ao Programa do Sistema, estes foram os primeiros passos adotados. Entrou-se em contato com o técnico da empresa que presta assistência técnica e chegou-se à conclusão de que o problema poderia estar em um dos seguintes setores:

- Cabo de interconexão entre o Computador e o GPS

- Porta Serial COM1: do computador
- Porta Serial GJ1: do módulo GPS (bastidor de ZEEMET)

A conexão que envolve as partes acima é apresentada na figura 1-1, no Capítulo 1 do W-9000 GPS Supplement 9010-812. Na figura o cabo é mostrado como uma linha (RS232) interligando as unidades.

Com este quadro começou-se os testes pelo cabo de Interligação:

1- Certificou-se de que não havia problema de mal contato nos conectores que estão ligados as duas portas (COM1: no computador e GJ1: no módulo GPS)

2 - Teste de rompimento do Cabo. Este é um cabo para conexão serial RS232, com código ASCII à 9000 Bauds de velocidade.

Portanto o seu teste de continuidade nos soquetes mostraria continuidade nos seguinte pinos:

COM1:Pino 5	-----	retorno comum	-----	Pino 5GJ1:
COM1:Pino 3	-----	RX/TX	-----	Pino 2GJ1:
COM1:Pino 2	-----	RX/TX	-----	Pino 3GJ1:

Como o sistema não necessita "handshake", o cabo pode ser substituído por qualquer um com esta configuração.

3 -Teste da Porta Serial (COM1:) do computador.

Aqui é bom testar todas as possibilidades de erro.

Primeiramente verificou-se se a porta COM1: está habilitada na configuração do SETUP/CMOS do computador.

A configuração normal (vista no relatório da BIOS) deve ser a seguinte:
Serial Port (COM1:) - 3F8 - IRQ 4

No presente caso é necessário estar atento ao fato de que mesmo que a porta física (o chip de saída) do computador esteja danificada o teste com o comando MODE, do D.O.S. dará um resposta positiva.

O teste mais rápido neste caso seria instalar um MOUSE na Porta e verificar se há interação do computador com ele.

Fez-se a verificação do cabo, sendo que o cabo estava OK, instalou-se um MOUSE e o mesmo funcionou bem.

Como isto não resolveu o problema, teve que se fazer alguns testes no bastidor ZEEMET (no módulo GPS).

Em outra visita ao OES, fez-se nova verificação no cabo, sendo que estava funcionando bem. Verificou-se também a porta serial com computador, sendo que estava configurada de forma correta, ou seja, Serial Port (COM1) - 3F8 - IRQ 4. O que não foi nenhuma surpresa, pois conforme já havia sido verificado ao instalar-se um MOUSE na porta e funcionou.

De acordo com todas as informações da tela ZEEMET Rack Configuration descritas até o momento indicam que o problema estava localizado no Bastidor de Telemetria.

Inclusive as mensagens do rodapé são idênticas a quando o computador está desconectado do bastidor.

Como existia a possibilidade de haver um problema envolvendo todo o Bastidor ZEEMET (por exemplo Fonte de Força), fez-se alguns testes preliminares, de acordo com as instruções técnicas passadas:

Com o bastidor de telemetria ligado:

1 - Observar se no módulo Controle de Antena, o mostrador digital (LED) indicador de posição angular das antenas de UHF está funcionando e se aceita o controle da chave CW / CCW, do módulo.

Estava tudo funcionando bem, tanto o mostrador digital, bem como o controle da chave CW/CCW do módulo.

2 - Observar se é possível ouvir algum ruído (chiado estático) oriundo do módulo receptor de UHF ou se, com uma radiossonda MarkII em operação é possível escutar o áudio da Sonda.

Tanto o chiado estático oriundo do módulo quanto o ruído característico quando uma radiossonda MarkII está em operação, foram verificados.

3 - Tirando um painel branco que fica junto do módulo GPS, poderão ser vistos os LED's deste que contam o número de satélites recebidos. Um piscada vermelha (start) e tantas piscadas verdes quanto sejam o número de satélites recebidos. Observar se esta havendo esta operação

Também verificou-se. Contou-se o número de satélites recebidos.

4 - Caso nenhum dos testes acima dê resultado positivo é necessário que medidas das tensões retificadas pela fonte de força do Bastidor seja feitas. Deverão ser encontrados os seguintes valores:

+ 5 volts, + 15 Volt e - 15 Volt todos $\pm 1\%$ de tolerância.

Fez-se as medidas das tensões, sendo que os valores encontrados foram os seguintes, e parecem estar OK:

+ 5,03 volts, + 15,17 e - 15,21.

Como os testes deram resultado positivo, teve que se partir para os testes dos módulos inteligentes.

Os 3 (três) módulos inteligentes do Bastidor são:

O Receptor de UHF, o Interfaceador e o Módulo GPS.

São Módulos que operam com programas dedicados e que podem ser recarregados a partir do programa W-9000, no Computador.

Como o cabo que vem de COM1, no computador é ligado direto a porta GJ1 do módulo GPS, (conexão normal para operação de Radiossonda) se esta porta estiver com defeito ou se o módulo GPS não estiver carregado com o programa, todo fluxo de comunicação com o Computador estará prejudicado.

Neste caso a tela ZEEMET Rack Configuration no monitor vai apresentar o "Status" de todos os módulos na condição "Download", como vinha acontecendo até o momento.

*"GPS Module download
Interface download
403 Receiverdownload"*

(Veja a Figura 4-7, no Capítulo 4 do Operator's Manual, Ver. 4.2 - 9010-412.)

Portanto começou-se uma seqüência de testes para verificar as duas possibilidades:

- Se o programa do módulo GPS está corrompido (Arq. GD100.HEX), ou
- Se a Porta GJ1 do módulo está defeituosa.

Começou-se verificando se o programa do módulo GPS está corrompido.

Mantendo as conexões normais do Sistema (como usado para operação) e ligando-o como se fosse fazer uma sondagem - digitando START

Ao aparecer a tela ZEEMET Rack Configuration, observou-se a seqüência de mensagens no rodapé do monitor.

*"- Cheking for connection to GPS Decoder Module
- Determining Status os ZEEMET RACK
- Select module to load. Press Enter to download, Esc to continue."*

Escolheu-se a opção Press Enter to download.

Ao aparecer as instruções de rodapé dizendo o seguinte:

" Connect COM1 cable to GPS Module GJ1 port."

Digitou-se Enter porque o Sistema já está conectado nela.

Normalmente o Sistema deve mostrar uma mensagem dizendo "Checking connection" e em seguida (quando não ha defeito) inicia o "download" do programa GPS que é o D100.HEX.

Após a carga do programa ele pede para desligar momentaneamente o bastidor e inicia novo teste de conexão.

Após isto o "Status" de todos módulos aparecem na condição "match".

Isto deverá ocorrer com o Sistema caso o problema venha a ser apenas corrupção do programa do módulo GPS.

Fez-se todo este procedimento. No entanto, o problema de comunicação persistia, emitindo mensagem de não conexão, como segue.

Verificando defeito na porta GJ1 do Módulo GPS

No caso de haver defeito na Porta GJ1, após o "Checking connection" ele vai emitir uma mensagem "Not connected to GPS Module" e vai pedir para religar o cabo.

Além dos testes acima (através da tentativa de carga módulo) feito dentro do programa de sondagem, pode-se fazer testes para verificação dos 3 módulos inteligentes.

TESTE COM O PROGRAMA CAPTURE (Conversando com os módulos inteligentes)

Procurou-se no Operator's Manual, Seção 9.5, as informações sobre o programa CAPTURE. Este program permite conversar com cada módulo individualmente desde que voce ligue o cabo COM1:, do Computador às portas de entrada de cada módulo, nas seguintes condições:

- Modulo GPS ----- Porta GJ1
- Modulo Receptor de UHF ----- Porta RJ1
- Modulo Interface ----- Porta IJ1

A partir do prompt do D.O.S. (C:\) digitou-se CAPTURE [Enter]. Apareceu a tela da figura 9-10 do Operator's Manual (pg. 9-12). Na tela, escolheu-se a opção 1. Simulated Terminal Using COM 1 Vai aparecer a tela da Figura 9-11 do Operator's Manual.

Por exemplo, com o Recetor de UHF.

Supondo que se queira testar o Receptor de UHF, conecta-se o cabo COM1 do Computador na Porta RJ1 do Receptor .

Observe que o cabo desta porta é (normalmente) ligado a porta GJ2 do GPS e não faz mal se o cabo ficar solto durante o teste.

Em seguida digita-se o sinal [/] ou [?] para interrogar o módulo. A tela vai mostrar o programa carregado no Receptor.

O mesmo procedimento pode ser feito com o Módulo de Interface. Conecta-se o cabo COM1 do Computador na Porta IJ1 do Interface.

O teste do módulo GPS pode ser feito direto, uma vez que esta é a conexão normal do sistema.

As respostas que aparecem na tela Simulated Terminal 1 Using COM 1 do programa CAPTURE, é uma lista dos títulos dos comandos citados no Capítulo 8, do Manual GPS Supplement (9010-812) seguidos da sua ação. Referente obviamente, ao módulo interrogado.

Com o programa CAPTURE fez-se os seguintes testes:

1 - Interrogou-se os 3 módulos.

2 - Após interrogar o módulo GPS usando os comandos [/] ou [?]. Independente da resposta digitou-se o seguinte comando [GDV] em letras maiúsculas.

Os módulos estavam respondendo quando requisitados, exceto o Módulo GPS, que enviava um sinal de ruído, ao que parecia, pois enchia a tela de V maiúsculos. Devido a este fato, não foi possível digitar o comando GDV.

3 - Mantendo a tela Simulated Terminal 1 Using COM 1 e o cabo COM1 ligado ao módulo à porta GJ1 do GPS (conexão normal) fez-se o seguinte teste:

Desligou-se o Bastidor ZEEMET por cerca de 5 segundos e ligou-se novamente.

Observou-se na tela uma mensagem informando as versões dos programas monitores dos módulos.

Por fim, desparafusou-se o módulo GPS e o sacou-se o mesmo fora. A intenção era verificar se havia algo de anormal que pudesse ser visível, ou verificar as conexões internas do Módulo, bem como as conexões dos integrados nas placas. Ao colocar-se o Módulo novamente Bastidor, o mesmo funcionou, sendo que o programa entrou normalmente e tudo funcionou corretamente. Parece,

desta forma, que o problema estava relacionado com algum mau contato interno no Módulo.

ANEXO 2

ESQUEMA DE IDAS AO OES PARA COLETA DE DADOS E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

As idas ao OES serão realizadas, em princípio, nas sextas-feiras, usando-se a condução da UFSM, sendo que se alguma atividade não puder ser desenvolvida deverá ser efetuada na semana seguinte, impreterivelmente. Se houver algum problema de condução, deve-se entrar em contato a administração para conseguir uma condução via INPE.

DATA	CALIB. UL	CZ	SR	SC	RADIÔMETROS	POLIMENTO	DEMAIS PROCEDIMENTOS
MAIO							
03/05	X						X
04/05					X		X
11/05			X	X			X
18/05	X						X
25/05		X	X			X	X
JUNHO							
01/06	X				X		X
08/06			X	X			X
15/06	X						X
22/06		X	X			X	X
29/06	X						X
JULHO							
06/07			X	X	X		X
13/07	X						X
20/07		X	X			X	X
27/07	X						X
AGOSTO							
03/08			X	X	X		X
10/08	X						X
17/08		X	X			X	X
24/08	X						X
31/08			X	X			X
SETEMBRO							
07/09	X				X		X
14/09		X	X			X	X
21/09	X						X
28/09			X	X			X
OUTUBRO							
05/10	X				X		X
12/10		X	X			X	X
19/10	X						X
26/10			X	X			X

NOVEMBRO							
02/11	X				X		X
09/11		X	X			X	X
16/11	X						X
23/11			X	X			X
30/11	X						X
DEZEMBRO							
07/12		X	X		X	X	X
14/12	X						X
21/12			X	X			X
28/12	X						X

A ÚLTIMA COLUNA REFERE-SE AOS OUTROS PROCEDIMENTOS QUE SÃO EXECUTADOS COM RELAÇÃO À MANUTENÇÃO DO BREWER A CADA VISITA AO OES, TAIS COMO VERIFICAÇÃO DE DATA, HORA, SCHEDULE, ENTRE OUTROS, CONFORME ESTÁ DISCRIMINADO NA TABELA ABAIXO.

1ª SEMANA	2ª SEMANA	3ª SEMANA	4ª SEMANA
Trocar as sílicas	Trocar as sílicas	Trocar as sílicas	Trocar as sílicas
Limpar as janelas	Limpar as janelas	Limpar as janelas	Limpar as janelas
Acertar o relógio usando: ti	Acertar o relógio usando: ti	Acertar o relógio usando: ti	Acertar o relógio usando: ti
re	re	re	re
prsi	prsi	prsi	prsi
az	az	az	az
Fazer calibração de UVB usando as lâmpadas: 263, 264 e 265	prb1schg, com um ângulo entre 66 e 48 ⁰ e com céu limpo.	Fazer calibração de UVB usando as lâmpadas: 263 e 264	prhgczhg (máximo em 2967,28)
Copiar os dados	Repetir: prb1schg	Copiar os dados	Polimento do Brewer
	Fazer prsr + limpeza do tracker		fazer prsr + limpeza do tracker
	azsr		azsr

ANEXO 3

ROTEIRO PARA A TRANSFERÊNCIA DE DADOS DO DATA LOGGER PARA O PC.

Para fazer a cópia dos dados de radiação UV-B do UV-B Radiometer instalado no Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra, existe um procedimento padrão, que é descrito a seguir:

- Conectar o adaptador (db 25/9) na saída I/O do notebook.
- Ligar o notebook conectando o transformador.
- Acessar a pasta C:\Users\Nome_do_Usuário\Ls3.bat
- OK
- Acessar o menu Control. Aparecerá a seguinte mensagem:

*" Baud rate is 4800 bps at COM2
Please check connection of cable.
Don't operate Datamark keyboard during communication. "OK.*

- Ocorrerá erro #4. OK
- Acessar o menu Utility e clicar em set COM Port. Mudar para COM 1. OK.
- Esc
- Voltar para o menu Control. Verificar se está funcionando. Aparecerá a seguinte mensagem:

*" Baud rate is 4800 bps at COM 1
Please check connection of cable.
Don't operate Datamark keyboard during communication. " OK*

"DATAMARK

Status: *in operation*
Datalogged: *aparece um número*
Internal clock: *aparece hora". OK*

- Acessar a opção Stop.

"DATAMARK is operating now. Stop?" Yes.

"DATAMARK

Status: *in finished*
Datalogged: *aparece um número*
Internal clock: *aparece hora". OK*

- Yes. Vai tornar inoperante
- Selecionar Retrieve data

- Selecionar File name *uvyymmdd*. Seleciona o dia em que está fazendo a coleta dos dados. OK. Pede confirmação. OK. Inicia-se a transferência de dados. Aparece a quantidade de transferência na tela de espera
- Acessar o menu System
- Selecionar o DOS Shell
- Verificar através do comando DIR para confirmar que a gravação foi efetuada com sucesso. Verificar a existência do arquivo criado anteriormente: *uvyymmdd.DT2*
- Exit
- Esc
- Acessar o menu Control. OK.OK.
- Selecionar a opção Operation
- Current header
- Master
- Alterar: Title colocando o dia atualizado
Logging start na opção start by key. OK. OK.
- Accept settings.
- Yes. OK
- Create a header file? Yes. OK
- Real time monitor e verificar se as medidas estão sendo feitas. OK
- Esc
 - System
 - Quit.

OBS.: Transferir os arquivos gerados *.DT2 e *.HD2 para a pasta C:\Users\Nome_do_Usuário\Dados. Acrescentar no arquivo Files_&_Periods.txt o período correspondente aos dados gravados no arquivo que acabou de ser gerado. Coloca-se o primeiro e o último dia em que aquele arquivo contém dados.

ANEXO 4

Arquivos de calibração e períodos de dias de aplicação:

Arquivo de calibração (UVRdddaa.056)	Dia do início do período	Dia do final do período
UVR07600.056	15/04/2000	28/04/2000
UVR15000.056	29/04/2000	29/06/2000
UVR18200.056	30/06/2000	16/08/2000
UVR23000.056	17/08/2000	31/08/2000
UVR24500.056	01/09/2000	07/09/2000
UVR25200.056	08/09/2000	21/09/2000
UVR26600.056	22/09/2000	05/10/2000
UVR28000.056	06/10/2000	19/10/2000
UVR29400.056	20/10/2000	29/03/2001
UVR08901.056	30/03/2001	02/05/2001
UVR12301.056	03/05/2001	17/05/2001
UVR13801.056	18/05/2001	07/06/2001
UVR15901.056	08/06/2001	30/06/2001