



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-8754-TDI/797

A ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS NA BANDA DO UV-B

Abel Antônio da Silva

Tese de Doutorado em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. Volker Walter Johann
Heinrich Kirchhoff, aprovada em 19 de junho de 2001.

INPE
São José dos Campos
2002

551.521.17

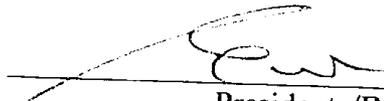
SILVA, A. A.

A espessura óptica de aerossóis na banda do UV-B / A.
A. Silva - São José dos Campos: INPE, 2001.
141p. – (INPE-8754-TDI/797).

1.Radiação ultravioleta. 2.Espessura óptica.
3.Aerossóis. 4.Queimadas. 5.Lei de Beer. I. Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de **Doutor** em
Geofísica Espacial.

Dr. Ênio Bueno Pereira


Presidente/INPE-SJC/SP

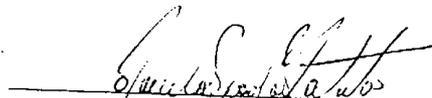
Dr. Volker Walter J. Heinrich Kirchhoff


Orientador/INPE-SJC/SP

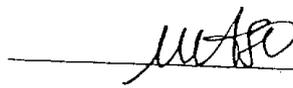
Dr. Polinaya Muralikrishna


Membro da Banca/INPE-SJC/SP

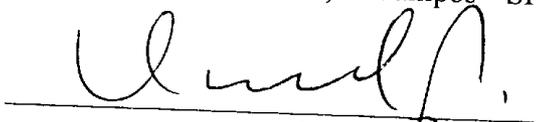
Dr. Paulo Prado Batista


Membro da Banca/INPE-SJC/SP

Dr^a Maria Auxiliadora Silva de Oliveira


Membro da Banca
Convidada ITA, SJCampos - SP

Dr. Cláudio Luiz Messias


Membro da Banca
Convidado UNICAMP, Campinas - SP

Candidato (a): Abel Antônio da Silva

São José dos Campos, 19 de junho de 2001.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Volker W. J. H. Kirchhoff, pela orientação neste trabalho, contribuindo de maneira definitiva para a minha formação científica e profissional.

À CAPEs, pela bolsa de estudos concedida e patrocínio de campanhas e viagens a congressos.

À Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pela bolsa de estudos concedida e facilidades proporcionadas.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), uma instituição de excelência que sempre será uma referência na minha vida.

Ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), pela solicitude e presteza no fornecimento de dados de previsão meteorológica .

À Empresa de Pesquisa e Extensão Rural (EMPAER) do Mato Grosso do Sul, pelo apoio dado na campanha de 1999.

À Prefeitura Municipal de São José dos Campos, pelo passe escolar concedido.

A toda equipe do Laboratório de Ozônio do INPE, doutores, engenheiros e técnicos que sempre foram atenciosos e solícitos.

A todos os funcionários dos diversos setores do INPE, pela sua sempre presente presteza.

Aos Laboratórios de Ozônio de La Paz e Natal, pela sua colaboração.

À minha família, pela fé permanente no que eu faço.

Aos meus amigos, por me terem em seus corações.

Aos meus colegas, pela companhia nesta caminhada.

RESUMO

A radiação solar ultravioleta de 280 a 320 nm (UV-B) que atinge a atmosfera terrestre sofre a influência de vários fatores atmosféricos até chegar à superfície. O ozônio e os aerossóis presentes na atmosfera constituem dois importantes fatores na redução da intensidade do UV-B. Assim, em três locais diferentes da América do Sul – Natal e Campo Grande no Brasil e La Paz na Bolívia – realizou-se uma campanha cujo principal objetivo foi a medição da espessura óptica de aerossóis na faixa do UV-B utilizando as medidas de radiação solar direta (ds) do espectrofotômetro Brewer. Foi desenvolvido também um algoritmo para previsão com até 24 horas de antecedência do índice de radiação UV-B (Índice UV-B) no território brasileiro. Esse algoritmo, denominado de Uvdiag, leva em conta a quantidade de ozônio, o ângulo solar de zênite (ASZ), a altitude, a latitude, a longitude e a cobertura de nuvens local.

THE AEROSOL OPTICAL THICKNESS IN THE UV-B BAND

ABSTRACT

Solar ultraviolet radiation from 280 to 320 nm (UV-B) strikes at Earth atmosphere and is affected by several processes until it reaches the surface. Ozone and aerosols in the atmosphere are important local factors interacting with UV-B. At three sites in South America – Natal and Campo Grande in Brazil, and La Paz in Bolivia – a field campaign was conducted in August 1999. The main goal of the campaign was to measure the aerosol optical thickness at UV-B range using direct sun (ds) measurements of the Brewer spectrophotometer. A 24 hour advanced noon UV-B forecasting algorithm called Uvdiag was developed which takes into account ozone column, solar zenith angle (SZA), height, latitude, longitude and cloud cover in Brazil.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	16
1.2 Objetivo Geral	16
1.3 Objetivos Específicos	17
1.4 Teoria e Conceitos	17
1.4.1 Radiação UV	18
1.4.2 Gases Traço	21
1.4.2.1 Ozônio	22
1.4.2.2 Dióxido de Enxofre	26
1.4.2.3 Dióxido de Nitrogênio	27
1.4.3 Aerossóis	28
1.4.4 Instrumentação: O Espectrofotômetro Brewer	30
1.4.5 Método de Langley	32
1.4.6 Atenuação da Radiação UV-B	35
1.4.7 Modelo de Irradiância UV-B	37
1.4.8 Modelo Meteorológico Eta	43
1.4.9 Previsão do Índice UV-B	45
CAPÍTULO 2 A CAMPANHA DE CAMPO GRANDE-NATAL-LA PAZ	47
2.1 Campanha Para Obtenção de Dados	47
2.2 Tratamento de Dados	49
CAPÍTULO 3 RESULTADOS	51
3.1 Espessuras Ópticas	51
3.1.1 Espessuras Ópticas de O₃ e SO₂	51
3.1.2 Espessura Óptica Atmosférica	60
3.1.3 Espessura Óptica Rayleigh	65
3.1.4 Espessura Óptica de Aerossóis	66

CAPÍTULO 4 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
APÊNDICE A - O CÁLCULO DO ÍNDICE UV-B PARA O BRASIL	93
APÊNDICE B - O PROGRAMA ANALISEB	109
APÊNDICE C - A PROGRAMAÇÃO DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO DA ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS	123
APÊNDICE D - TABELAS DE DADOS	133

LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

ASZ - ângulo solar de zênite

CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

dj - dia juliano

dp - desvio padrão

dpa - desvio padrão amostral

ds - direct sun

fp - fator de ponderação

FDN - filtro de densidade neutra

FTP - file transference protocol

HU - hora universal

IEC - International Electrotechnical Commission

λ - comprimento de onda

L1 - 306,3 nm

L2 - 310,1 nm

L3 - 313,5 nm

L4 - 316,8 nm

L5 - 320,1 nm

NCEP - National Centers for Environmental Prediction

UD - Unidade Dobson

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Sol emite desde partículas até radiação eletromagnética numa ampla faixa de frequências (Coulson, 1975). As radiações na faixa de 280 a 320 nm, chamadas de radiação ultravioleta do tipo B (UV-B) (Kirchhoff, 1995), são de especial interesse uma vez que estão relacionadas com vários fenômenos atmosféricos e biológicos. A radiação UV-B é parcialmente absorvida pela camada de ozônio (O₃) que se encontra na estratosfera (Kirchhoff, 1995). As radiações com comprimento de onda maior que cerca de 300 nm conseguem chegar à superfície terrestre, provocando efeitos biológicos nos seres vivos conforme a exposição e a sensibilidade desses ao UV-B. Há outros fatores que contribuem para a atenuação do UV-B na atmosfera, tais como os aerossóis, o dióxido de enxofre (SO₂) e o dióxido de nitrogênio (NO₂).

A radiação ultravioleta foi descoberta em 1801 por J. W. Ritter (Koller, 1965). Desde então houve um contínuo processo de investigação da natureza dessa radiação e de sua influência sobre vários sistemas. Soube-se logo que ela era capaz de promover reações químicas, por exemplo. Mas foi só bem mais tarde (no início do século 20) é que os primeiros estudos da ação biológica do UV sobre os seres humanos começaram a ser feitos (Hoeve, 1920); câncer de pele, eritema, catarata, fotoceratite e imunossupressão são alguns dos efeitos biológicos associados ao UV (CSA, 1989; Tevini, 1995; WHO, 1994; Kirchhoff, 1995; Kane, 1998).

A radiação UV na atmosfera terrestre passou a ser tema de interesse na década de 1920 com os trabalhos de S. Chapman (1930) e G. M. B. Dobson (1931). Mais tarde, a partir de meados deste século, surgiu o interesse nos efeitos da radiação UV sobre os animais, as plantas e os ecossistemas (McCullough, 1971; WHO, 1994; Ries et al., 2000). Nas últimas décadas a radiação UV vem sendo medida ao longo de todo o mundo, em estações de monitoramento operantes em diversos ambientes com variadas condições

(Thekaekara et al., 1969; Al-Arurl et al., 1988; Scotto et al., 1988; Blumthaler e Ambach, 1990; Seckmeyer et al., 1994; Dias et al., 1996; Bernhard et al., 1997; Ren et al., 1997; Zerefos et al., 1997; Echer et al., 1999a; Silva et al., 1999a), além da medição por satélite que fornece a irradiância UV no topo da atmosfera terrestre (Heath, 1969; Kaye e Miller, 1996; Cebula et al., 1996; Cebula et al., 1998; DeLand e Cebula, 1998; Lubin et al., 1998).

O quanto de radiação UV que chega à superfície é função do que chega no topo da atmosfera e da composição desta, mais precisamente da espessura óptica atmosférica τ_{at} . A espessura óptica de um meio a uma dada radiação é um conceito que foi desenvolvido no século 18. A então chamada lei de Bouguer-Lambert-Beer ou, de maneira mais simples, apenas lei de Beer, como ela será chamada aqui, relaciona a incidência de radiação no topo da atmosfera com a incidência na superfície através de τ_{at} (Coulson, 1975). Os trabalhos pioneiros de S. P. Langley e C. G. Abbot (Coulson, 1975) estabeleceram um método, dito método de Langley, a partir do qual pode-se obter além de τ_{at} o valor da irradiância no topo da atmosfera para um dado comprimento de onda. Vários trabalhos tem sido feitos utilizando o método de Langley em medidas de superfície a partir de diversos tipos de detectores operando em diversos ambientes (Shettle e Green, 1974; Bridgman, 1978; Marengo et al., 1997; Carvalho e Henriques, 2000; Silva et al., 1999b; Silva et al., 2000b), além de trabalhos teóricos que também fazem uma estimativa de τ_{at} (Begun, 1998; Reuder e Schwander, 1999).

A espessura óptica atmosférica é o somatório das contribuições individuais dos agentes atmosféricos. Na faixa do UV-B os efeitos de atenuação na atmosfera são o espalhamento Rayleigh (τ_R), a absorção pelos gases traços ozônio (τ_{O_3}), dióxido de enxofre (τ_{SO_2}) e dióxido de nitrogênio (τ_{NO_2}) além da absorção e espalhamento produzido pelos aerossóis (τ_{ae}) (Bridgman, 1978; Taha e Box, 1999; Marengo et al., 1997; Green et al., 1974; Shettle e Green, 1974; Echer et

al., 1999b; Kirchhoff et al., 2001; Silva et al., 1999b; Silva e Kirchhoff, 2000; Silva et al., 2000a, b). Então,

$$\tau_{at} = \tau_R + \tau_{ae} + \tau_{O_3} + \tau_{SO_2} + \tau_{NO_2} \quad (1.1)$$

Em muitas situações τ_{SO_2} e τ_{NO_2} são desprezíveis.

Desde que os efeitos da radiação UV sobre a biosfera se tornaram notórios, surgiu também a necessidade de fazer algum tipo de previsão da incidência dessa radiação na superfície terrestre. Experimentos para a medida da radiação UV sob diversas condições foram conduzidas inicialmente (Thekaekara et al., 1969; Mentall et al., 1981) junto a várias propostas de modelos de irradiância UV (Green, 1964; Green et al., 1974) onde foram adotadas fórmulas semi-empíricas baseadas em observações atmosféricas. Porém, só após o advento dos computadores é que houve um grande avanço em direção aos modelos de previsão baseados em métodos numéricos associados a dados de observação atmosférica (Plass e Kattawar, 1968; Stamnes, 1986; Stamnes et al., 1988; Dahlback e Stamnes, 1991).

A previsão da radiação UV deve cumprir um papel de informação para a prevenção à exposição excessiva. Assim, é fundamental que a informação de quanta radiação estará presente no ambiente esteja ao alcance das pessoas e em tempo hábil. Na década de 90, com o advento da rede mundial de computadores (a Internet), vários sites foram disponibilizados visando oferecer às pessoas a previsão da radiação UV para o dia seguinte. (EPA, 2000; SBD, 2000). Entretanto, esses sites por mais simplificados que tentem ser ainda são de acesso restrito e sob certa forma voltados para os profissionais que lidam com a radiação UV. Ainda falta uma maneira de atingir o grande público.

A radiação UV-B vem sendo medida há duzentos anos, seja pelo interesse direto, seja pelos efeitos biológicos produzidos, ou para obter informações de gases atmosféricos como o ozônio e o dióxido de enxofre (Dobson, 1931; Koller, 1965; Penkett, 1989; Kirchhoff, 1995; Kane, 1998). A necessidade de

entender como a radiação ultravioleta interage com os componentes atmosféricos abriu caminho para o surgimento de várias áreas de pesquisa científica. O estudo dos modelos de irradiância UV-B (Elterman, 1964; Stamnes, 1986; Dahlback e Stamnes, 1991; EPA, 2000), dos aerossóis e do ozônio atmosféricos (Kirchhoff et al., 1997; Kylling et al., 1998; Kirchhoff et al., 2001) e da cobertura de nuvens (Schaefer e Day, 1981; Holle, 1979; Fernandes, 1979; Black, 1994) são alguns exemplos.

Neste trabalho de Tese de Doutorado é feito um estudo teórico-experimental da radiação solar direta UV-B e sua interação com a atmosfera terrestre, em especial com os gases ozônio e SO₂ e com os aerossóis. Numa campanha que envolveu as cidades de Natal (5,8° S, 35,2° O, 30 m de altitude) no litoral do extremo nordeste brasileiro, Campo Grande (19,2° S, 54,3° O, 532 m de altitude) situada na porção central do Brasil (cerrado) e La Paz (16,5° S, 68,1° O, 3800 m de altitude) capital da Bolívia na cordilheira dos Andes, foi desenvolvido um trabalho experimental simultâneo de medidas de radiação solar direta UV-B (também chamadas de medidas ds) utilizando o espectrofotômetro Brewer (Sci-Tec, 1995). A campanha se deu no mês de agosto de 1999 e a partir das medidas pode-se obter os valores da coluna de ozônio e de dióxido de enxofre e a espessura óptica de aerossóis.

1.1 Motivação

A radiação UV-B é um componente importante da radiação solar devido aos efeitos que produz no meio ambiente. Já os aerossóis atmosféricos tem sido alvo de profundo interesse em função dos efeitos provenientes da sua interação com a radiação solar. O Laboratório de Ozônio do INPE possui toda a infra-estrutura para a realização de um trabalho de medida da radiação solar UV-B em 3 locais diferentes, o que dá condições para a realização de um trabalho de pesquisa sobre a espessura óptica de aerossóis na faixa do UV-B em ambientes variados: de queimadas; de beira mar; e de altitude.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a realização de medidas de radiação solar direta UV-B com o espectrofotômetro Brewer e obtenção dos valores de espessuras ópticas numa campanha envolvendo 3 localidades diferentes.

1.3 Objetivos Específicos

Os aerossóis são uma das causas da variação da radiação UV-B incidente na superfície terrestre. Em diversos ambientes pode-se notar o seu efeito atenuador. Como a radiação UV-B produz alguns efeitos nocivos à biosfera (CSA, 1989; WHO, 1994), poderia parecer à primeira vista que os aerossóis estariam desempenhando o papel de atenuadores de uma radiação letal. Contudo, não se pode esquecer dos outros aspectos que permeiam a relação entre a biosfera e a radiação UV-B (Madronich, 1987; Frederick e Lubin, 1988). Como primeiro objetivo deste trabalho está a determinação da espessura óptica de aerossóis (τ_{ae}) na faixa do UV-B em três locais diferentes na América do Sul – no Brasil em Campo Grande e Natal, e na Bolívia em La Paz - a partir das medidas de radiação solar direta UV-B do espectrofotômetro Brewer aplicadas ao método de Langley nos comprimentos de onda de 306,3 , 310,1 , 313,5 , 316,8 e 320,1 nm.

A exposição excessiva ao UV-B traz malefícios à biosfera terrestre. Portanto, é sem dúvida crucial adotar medidas de proteção contra os efeitos da exposição ao UV-B. Contudo, a melhor proteção é não se expor em excesso, o que traz a necessidade do conhecimento prévio de quanta radiação haverá num ambiente que as pessoas irão frequentar daqui a algumas horas. Em outras palavras: é preciso fazer uma previsão. Um outro objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo de previsão do índice UV-B em todo território brasileiro (IBGE, 2000) com 24 horas de antecedência. Esse modelo leva em conta a quantidade de ozônio na atmosfera, o ASZ, a altitude local, a latitude, a longitude e a cobertura de nuvens prevista pelo modelo meteorológico ETA e está apresentado no Apêndice A.

1.4 Teoria e Conceitos

Nesta seção é dado o embasamento teórico necessário à compreensão das atividades realizadas e dos resultados apresentados neste trabalho.

1.4.1 Radiação UV

O UV é uma radiação não ionizante (WHO, 1994) e pode ser dividida em 3 regiões segundo o comprimento de onda:

$$100 < \lambda < 280 \text{ nm} \rightarrow \text{UV-C}$$

$$280 < \lambda < 320 \text{ nm} \rightarrow \text{UV-B}$$

$$320 < \lambda < 400 \text{ nm} \rightarrow \text{UV-A.}$$

O Sol é a principal fonte natural de radiação UV para a Terra cuja atmosfera apresenta opacidade a essa radiação dependente do comprimento de onda λ . A Figura 1.1 mostra o quanto a radiação UV é atenuada na atmosfera, sendo que apenas o UV-A e parte do UV-B conseguem chegar à superfície.

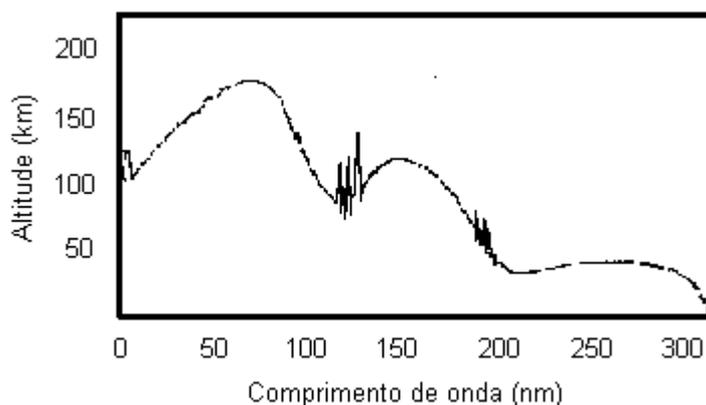


Fig. 1.1 – Altitude de ocorrência da fração 1/e da irradiância UV no topo da atmosfera.

FONTE: Adaptada de Brasseur e Solomon (1984, p. 92).

O UV-C contribui para a formação da ionosfera e da camada de ozônio, enquanto que parte do UV-B é absorvido por esta camada na estratosfera. Parte do UV-B ($\lambda > 300 \text{ nm}$) e o UV-A chegam à superfície terrestre, exercendo grande influência na biosfera. Efeitos sobre os seres vivos como a inibição do

crescimento de plantas, desenvolvimento de catarata em animais e humanos, eritema e câncer de pele em humanos, além de degeneração de materiais orgânicos e inorgânicos fazem parte da longa lista de efeitos produzidos pelo UV. Vale lembrar que o UV-B e o UV-A ativam a síntese de vitamina D no organismo humano (WHO, 1994; Kirchhoff e Nasser, 1996).

A radiação UV emitida pelo Sol vem sendo medida há mais de cem anos em vários locais ao redor do mundo (Stair e Ellis, 1968; Coulson, 1975). Além das medidas de superfície, também sempre foi de grande interesse a medição da radiação UV no topo da atmosfera terrestre. O método de Langley foi a primeira técnica desenvolvida para dar com grande precisão o valor da irradiância no topo da atmosfera. Com o avanço tecnológico das sondagens atmosféricas por balão, avião (Gates, 1966; Thekaekara et al., 1969), foguete (Mentall et al, 1981) e satélite (Heath, 1969) outras técnicas além do método de Langley foram desenvolvidas. As medidas de UV por satélite, por exemplo, se encontram num estágio bastante avançado. A Figura 1.2 mostra a radiação UV no topo da atmosfera medida na missão ATLAS 3 (Atmospheric Laboratory for Applications and Science) em novembro de 1994 na faixa de 304 a 321 nm (Cebula et al., 1996; Kaye e Miller, 1996).

A variabilidade da irradiância solar ao longo de um ciclo solar de 11 anos está em torno de 0,1%. Considerando apenas a faixa do UV-B a variação é de cerca de 1% no mesmo período (Lean, 1991; Hood 1999; Reid, 1999; Rottman, 1999), o que implica numa taxa de 0,1% ao ano em média. A Figura 1.3 mostra a irradiância no topo da atmosfera para 5 comprimentos de onda tomada nas 3 missões ATLAS; ATLAS 1 em março de 1992, ATLAS 2 em abril de 1993 e ATLAS 3 em novembro de 1994. A variação em cada comprimento de onda se mostra maior que os 0,1% ao ano para a faixa do UV-B nos três anos das missões. Embora a faixa do UV-B tenha uma taxa de variação superior a taxa de variação de todo o espectro solar ($\approx 120 \text{ nm}$ a $8 \mu\text{m}$), ela corresponde a menos de 2% da energia incidente total. Sabe-se que a variação de intensidade do espectro solar modula diversos processos atmosféricos,

principalmente nas camadas superiores da atmosfera. Por outro lado, as variações do UV-B são observadas principalmente na estratosfera onde ele é fortemente absorvido: em nível troposférico ainda há várias dúvidas sobre a existência de algum efeito observável.

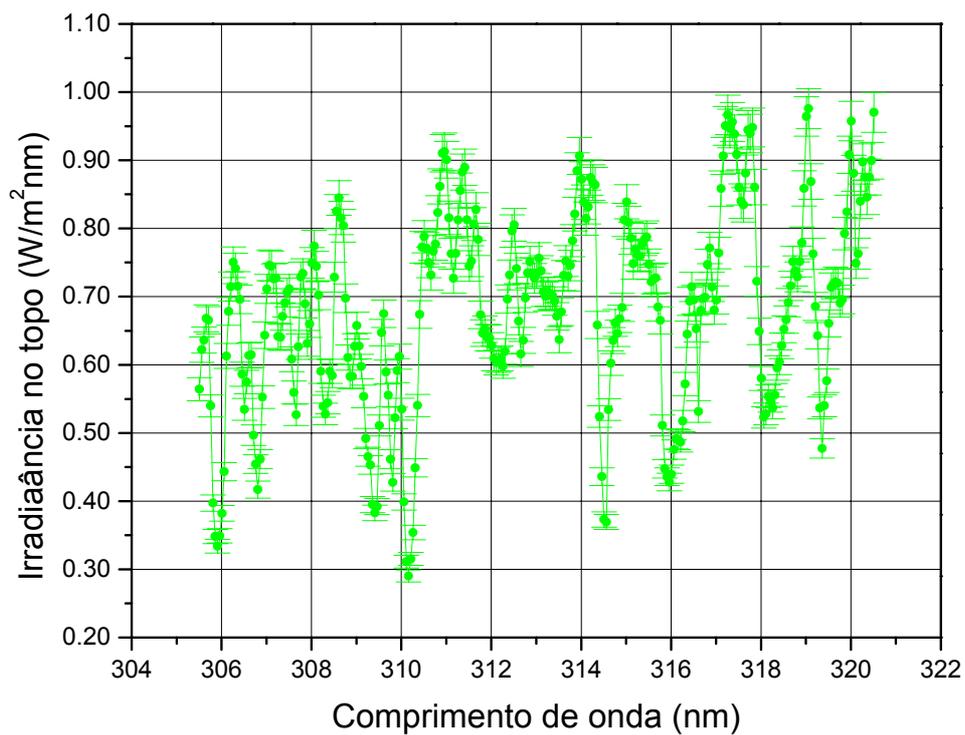


Fig. 1.2 – Irradiância solar no topo da atmosfera obtida na missão ATLAS 3.
FONTE: NRL (1999).

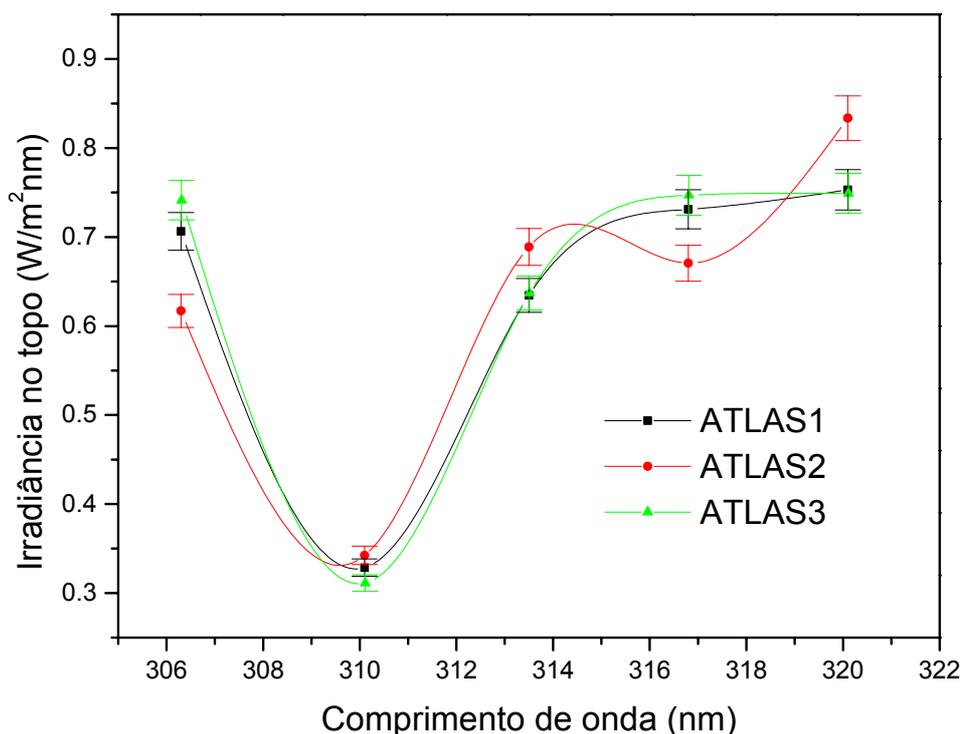


Fig. 1.3 – Irradiância solar em 306,3 , 310,1 , 313,5 , 316,8 e 320,1 nm obtida nas missões ATLAS 1, 2 e 3.

FONTE: NRL (1999).

1.4.2 Gases Traço

A atmosfera terrestre é constituída basicamente de N_2 e O_2 . Além desses gases majoritários ainda são encontrados aerossóis, vapor d'água e gases traço (Walker, 1977). Os gases traço ozônio (O_3), dióxido de enxofre (SO_2) e dióxido de nitrogênio (NO_2) são os gases atmosféricos que mais absorvem a radiação UV-B. A Figura 1.4 mostra as seções de choque de absorção para esses gases em alguns comprimentos de onda na faixa do UV-B (Molina e Molina, 1986; McGee e Burris Jr, 1987; Davidson et al., 1988).

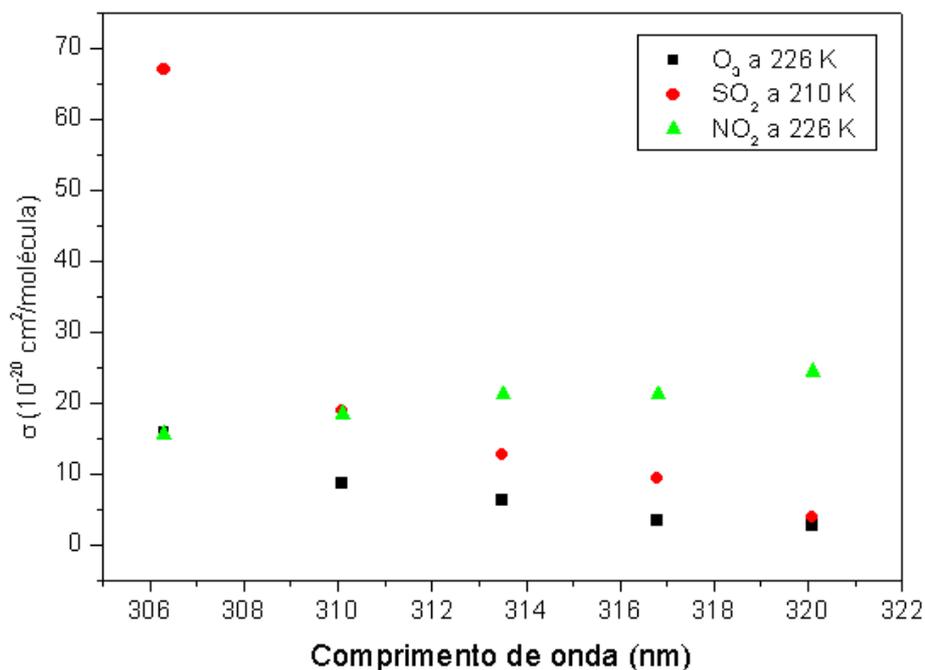


Fig. 1.4 – Seção de choque de absorção do O₃, SO₂ e NO₂ em cinco comprimentos de onda na faixa do UV-B.

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

Abaixo estão as quantidades integradas típicas desses gases na atmosfera (Walker, 1977):

- O₃ → 3,3 Tkg
- SO₂ → 2,3 Gkg
- NO₂ → 8,1 Gkg.

A quantidade de ozônio em relação aos outros dois gases faz com que ele seja de longe o mais eficiente dos três na absorção do UV-B, embora ele apresente os menores valores de seção de choque de absorção.

1.4.2.1 Ozônio

O ozônio está intimamente relacionado com a radiação UV-B. Ele é um gás triatômico de oxigênio descoberto em 1840 pelo químico suíço C. F. Schönbein

(Whitten e Prasad, 1985) e presente na atmosfera terrestre desde cerca de 1,5 bilhões de anos atrás (Walker, 1977; Lovelock, 1988; Mészáros, 1993); é provável que há 500 milhões de anos já houvesse ozônio em quantidade suficiente na atmosfera para blindar a radiação UV de forma eficaz, permitindo que a vida pudesse se expandir na superfície terrestre. A Terra é o único planeta conhecido onde se encontra o ozônio.

Ainda no século 19 provou-se que o ozônio era um constituinte atmosférico e que era um forte absorvedor de UV. No início do século 20 comprovou-se a existência do ozônio em nível estratosférico, sendo que na década de 30 deu-se início à investigação atmosférica desse gás a partir de instrumentação em solo e sondagens com balões que podiam atingir algumas dezenas de quilômetros (Chapman, 1930; Dobson, 1931).

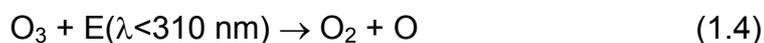
Durante muitas décadas o estudo do ozônio ficou restrito às técnicas desenvolvidas nos anos 30. Entretanto, a corrida espacial trouxe o advento dos foguetes e satélites. Orbitando a centenas de quilômetros de altitude, esses mecanismos tornaram-se altamente eficientes na determinação da quantidade de ozônio na atmosfera ao redor de todo o planeta (Kane e Sahai, 1998). Além dos satélites houve também o desenvolvimento das tecnologias de medição a partir do solo com equipamentos cada vez mais sensíveis e automatizados (Brewer, 1973; Sci-tec, 1995).

Cerca de 10% do ozônio é encontrado na troposfera, enquanto que quase 90% se encontra na estratosfera formando a camada de ozônio, cujo máximo está em cerca de 25 km. Ainda há um pequeno montante de O₃ que é encontrado na mesosfera. O perfil de ozônio é resultado da atividade fotoquímica e dinâmica na atmosfera (Whitten e Prasad, 1985; Warneck, 1988)

Na estratosfera encontra-se o principal mecanismo formador de ozônio;



sendo E a energia de um fóton de radiação UV, O^* um átomo de oxigênio excitado e M um terceiro átomo. Ainda na estratosfera a radiação UV-B elimina moléculas de ozônio:



Por volta de 1930 foi iniciada a sondagem de ozônio atmosférico através balões. Esses dispositivos ainda são muito utilizados hoje, só que com tecnologias mais sofisticadas (Kirchhoff et al., 1981; Kirchhoff et al., 1991; Vis Manufacturing Company-VMC, 1999). A Figura 1.5 mostra o perfil médio de ozônio em Natal nos meses de junho do período de 1979 a 1997: note o pico de ozônio por volta dos 25 km de altitude e a altitude máxima próxima dos 42 km.

O ozônio apresenta uma variação sazonal que no hemisfério Sul resulta em um mínimo na coluna de ozônio no outono e um máximo na primavera. A Figura 1.6 exemplifica isso. A variação em torno da média anual é de cerca de 15% no hemisfério Sul.

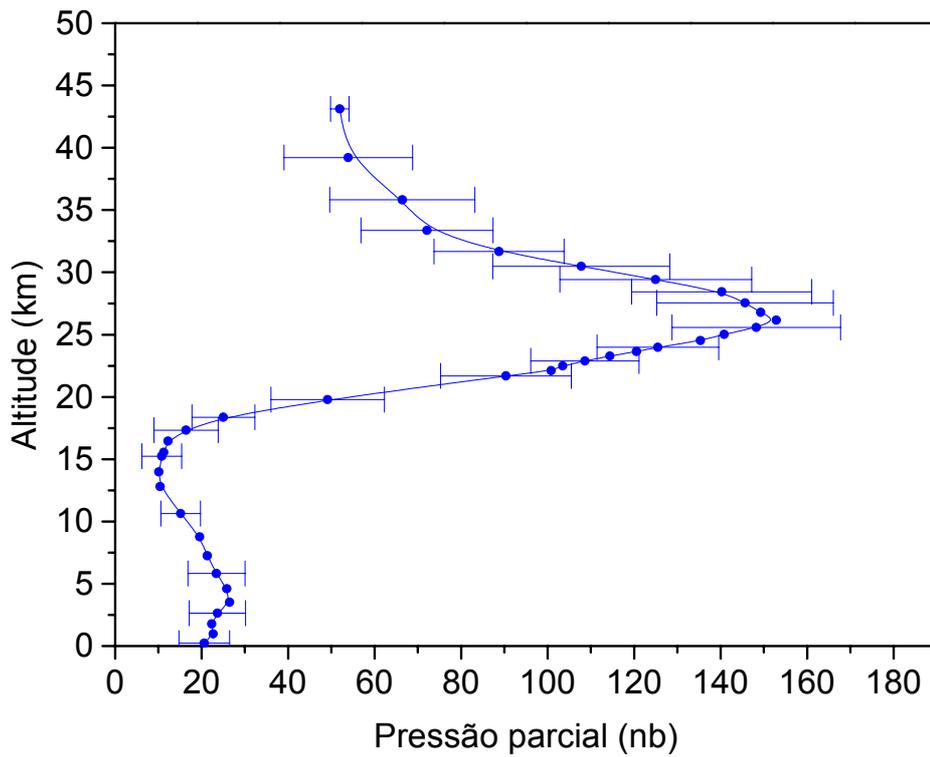


Fig. 1.5 – Perfil médio de ozônio em Natal nos meses de junho de 1979 a 1997.
 FONTE: Kirchhoff (1998).

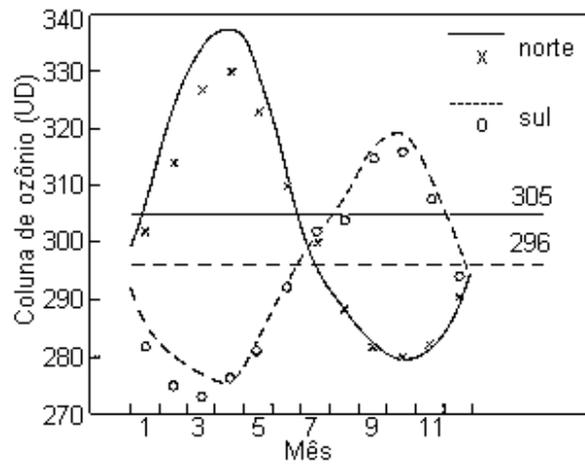


Fig. 1.6 – Variação sazonal hemisférica da coluna de ozônio. Os círculos e cruzeiros indicam medidas feitas por satélite de 1970 a 1977, enquanto que as linhas cheia e tracejada indicam medidas de solo de 1958 a 1980. Os valores 305 e 296 UD (Unidades Dobson) indicam médias.
 FONTE: Whitten e Prasad (1985, p.40).

1.4.2.2 Dióxido de Enxofre

As principais fontes de SO₂ para a atmosfera são a emissão antropogênica proveniente da queima de combustível fóssil, a emissão natural resultante das erupções vulcânicas e a produção a partir da oxidação de sulfetos orgânicos (Warneck, 1988; Fioletov et al., 1998).

Em áreas não poluídas o montante de SO₂ é menor que 2 UD, enquanto que nas regiões urbanas poluídas os valores são em torno de 4 a 6 UD, podendo em casos extremos chegar a 20 UD. Nos casos de erupção vulcânica há registros de até 600 UD nas cercanias do vulcão (Fioletov et al., 1998); diferente do SO₂ de origem antropogênica que se situa na troposfera, o de origem vulcânica é lançado a grandes altitudes se estabelecendo na estratosfera em torno dos 20 km. O SO₂ ainda desempenha um papel importante dando origem a núcleos de condensação para a formação de aerossóis (Mészáros, 1993). A Figura 1.7 mostra o perfil atmosférico do SO₂. Comparando com o perfil de O₃ (Figura 1.5) pode-se ver que este é centenas de vezes mais concentrado que o SO₂, além de possuir um perfil atmosférico mais extenso (para converter da unidade de nb para ppbv pode-se utilizar a expressão

$$\text{ppbv} = 1000P(\text{nb})/P_{\text{at}}(\text{mb}) \quad (1.5)$$

onde $P(\text{nb})$ é a pressão parcial do gás traço em nanobar e $P_{\text{at}}(\text{mb})$ é a pressão atmosférica em milibar).

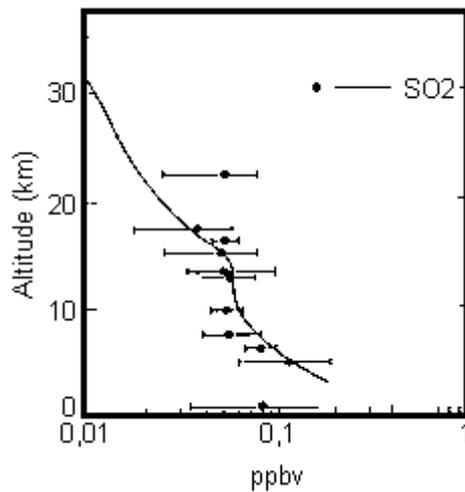


Fig. 1.7 - Perfil atmosférico típico para o SO₂: a linha e os pontos correspondem a trabalhos de autores diferentes.

FONTE: modificada de Warneck (1998, p. 122).

1.4.2.3 Dióxido de Nitrogênio

A molécula de NO₂ pode resultar da oxidação do NO nas camadas superiores da estratosfera (Summers, 1999), ou produzida na troposfera a partir da combustão em alta temperatura de combustível fóssil e da ocorrência de relâmpagos (Walker, 1977). O solo e o oceano também são fontes importantes de óxidos de nitrogênio oriundos da nitrificação realizada por microrganismos (Kinzig e Socolow, 1994). Em geral o NO e o NO₂ são os principais produtos desses processos: o NO é posteriormente oxidado transformando-se em NO₂.

O dióxido de nitrogênio apresenta o máximo de absorção em torno dos 400 nm. Contudo, como mostra a Figura 1.4, ele apresenta valores de seção de choque de absorção superiores às do O₃ a partir dos 307 nm, e só não é tão importante quanto este na absorção do UV por apresentar-se em muito menor quantidade na atmosfera. A Figura 1.8 mostra o perfil atmosférico para o NO₂. Acima dos 35 km a quantidade de NO₂ diminui por causa da diminuição do O₃.

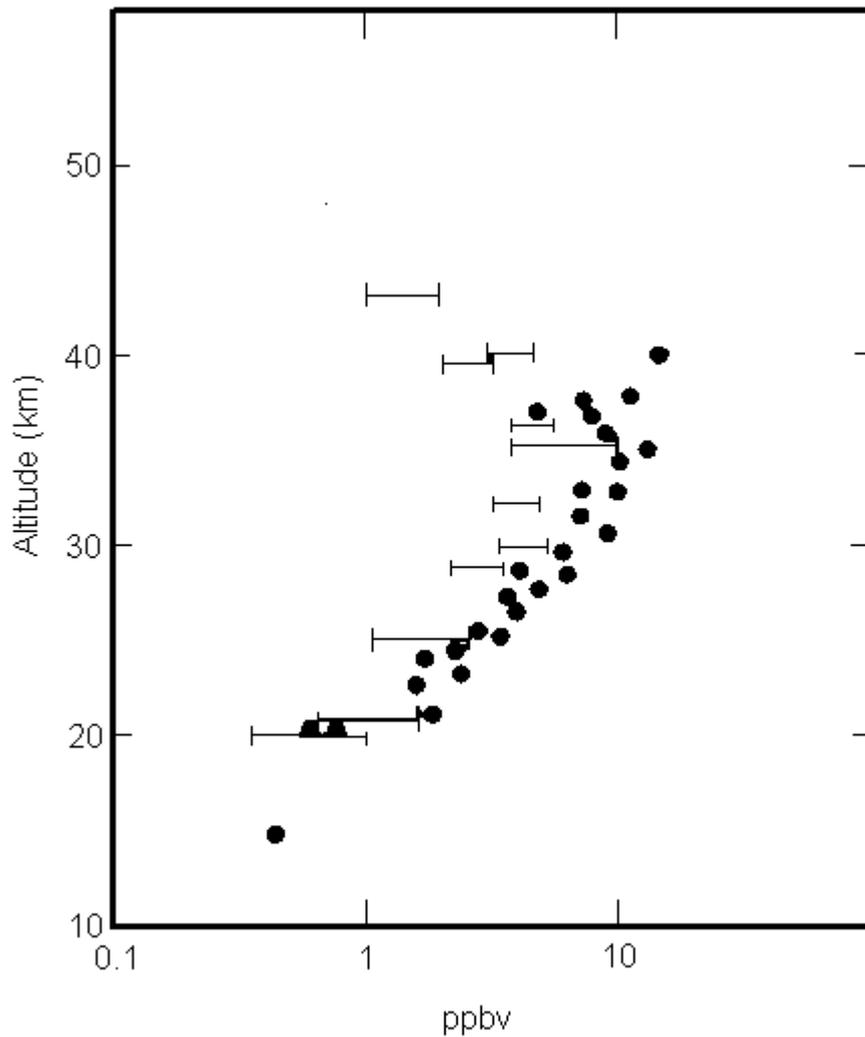


Fig. 1.8 – Perfil atmosférico típico para o NO₂: as barras e os pontos correspondem a trabalhos de autores diferentes.
 FONTE: modificada de Warneck (1988, p.108).

1.4.3 Aerossóis

Os aerossóis atmosféricos possuem tamanhos que, em geral, variam de cerca de 0,01 a 10 μm de diâmetro. Podem ser de origem natural como da ação erosiva dos ventos sobre o solo e a superfície oceânica, ou da conversão gás-

partícula ocorrida entre moléculas numa reação química. Podem ter também origem antropogênica como da emissão de particulados da combustão de combustível fóssil (Seinfeld, 1985).

As características dos aerossóis atmosféricos dependem de sua origem e idade. Em geral eles podem viajar por grandes distâncias transportados pelas correntes de ventos (Trosnikov e Nobre, 1996), podendo ser classificados a partir de sua origem. Assim, tem-se os aerossóis marinhos que representam o maior montante de aerossóis na atmosfera, os aerossóis urbanos com características dadas pela atividade antropogênica nos grandes centros populacionais, os aerossóis rurais que tem partículas da atividade orgânica vegetal ou mesmo da queima de biomassa e os aerossóis continentais com características globais típicas de uma grande área.

O perfil atmosférico dos aerossóis pode ser representado por um modelo como na Figura 1.9, onde um perfil básico troposférico é superposto por um perfil marinho ou por um continental na baixa troposfera. A camada de aerossóis na atmosfera pode ser representada pela espessura óptica de aerossóis, τ_{ae} . Quando a radiação solar incide sobre uma camada de aerossóis ela é atenuada por um valor que depende de τ_{ae} .

Os aerossóis tem grande influência no clima uma vez que eles aumentam a quantidade de radiação refletida para o espaço (efeito albedo) ao mesmo tempo que, como núcleos formadores de gotículas d'água, levam à formação de nuvens que ajudam a concentrar a radiação infravermelha na troposfera (efeito estufa) (Twitty e Weinmam, 1971; McCartney, 1976; Michelangeli et al., 1992; Lorente et al., 1994). Recentemente o estudo da distribuição de aerossóis ao longo da atmosfera ganhou um grande impulso com as medidas de satélite (Hsu et al., 1996; Herman et al., 1997).

Um dos maiores interesses nos aerossóis está na determinação do impacto que eles provocam sobre a radiação UV-B, uma vez que há a expectativa de aumento dessa radiação no futuro.

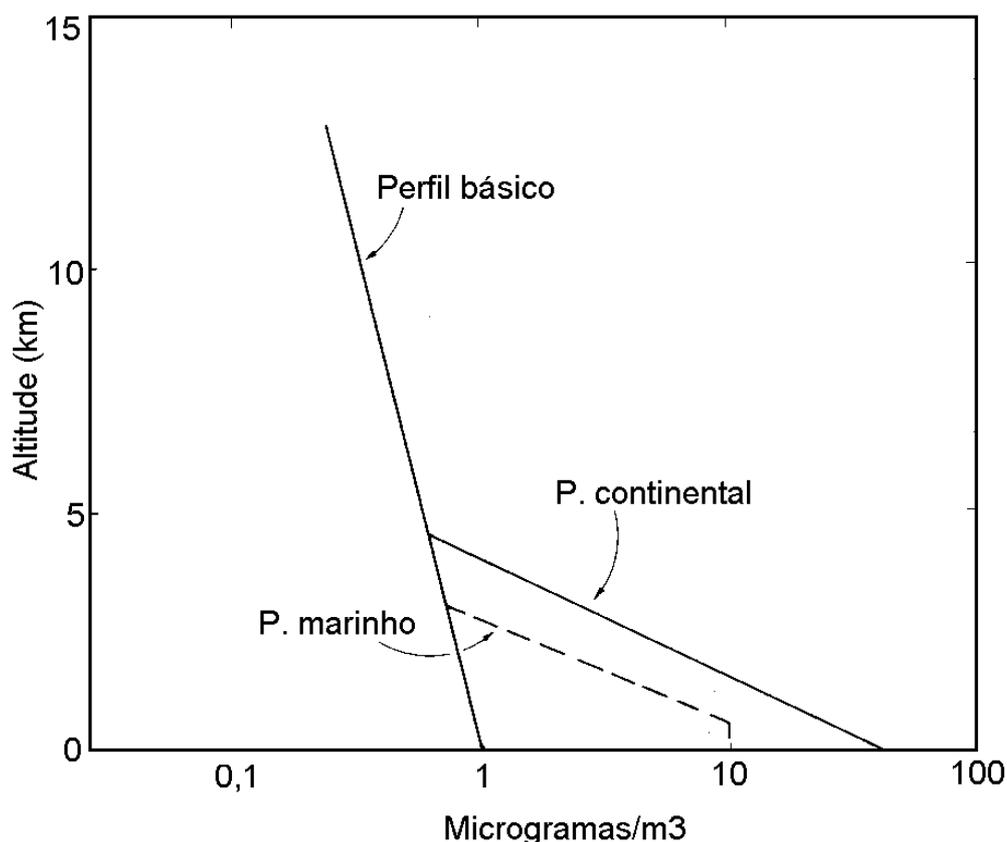


Fig. 1.9 – Modelo de perfil atmosférico para os aerossóis.

FONTE: Warneck (1988).

1.4.4 Instrumentação: O Espectrofotômetro Brewer

O espectrofotômetro Brewer é um aparelho capaz de fazer medidas da radiação UV-B global (ou irradiância) e radiação solar direta entre outros tipos de medida (Sci-Tec, 1995) A Figura 1.10 mostra um dos Brewers utilizados pelo Laboratório de Ozônio do INPE. O Brewer surgiu como um substituto automatizado do espectrofotômetro Dobson (Dobsom, 1931; Brewer, 1973).



Fig. 1.10 – Espectrofotômetro Brewer numa das estações de medida da radiação UV do Lab. de Ozônio do INPE.

Na Figura 1.11 pode-se ver um diagrama interno do espectrofotômetro Brewer MKII. A radiação solar medida pelo instrumento é admitida pelo domo de quartzo na parte superior ou pela janela de quartzo lateral. Ela passa por um conjunto de lentes, filtros atenuadores e selecionadores de radiação, colimadores, fendas seletoras, espelhos e rede de difração para ir incidir num tubo fotomultiplicador que transforma o feixe de luz de comprimento de onda λ num sinal elétrico interpretado como pulso pela cadeia eletrônica do Brewer.

Um tipo de medida feita pelo Brewer é o de radiação direta (denominada em geral de medida ds em razão de *direct sun measurement*) (Sci-Tec, 1995). Nas medidas ds o aparelho se posiciona com sua janela lateral diretamente para o sol. A radiação que entra por essa janela é registrada em 5 comprimentos de onda: 306,3 , 310,1 , 313,5 , 316,8 e 320,1 nm com resolução de 0,64 nm. As

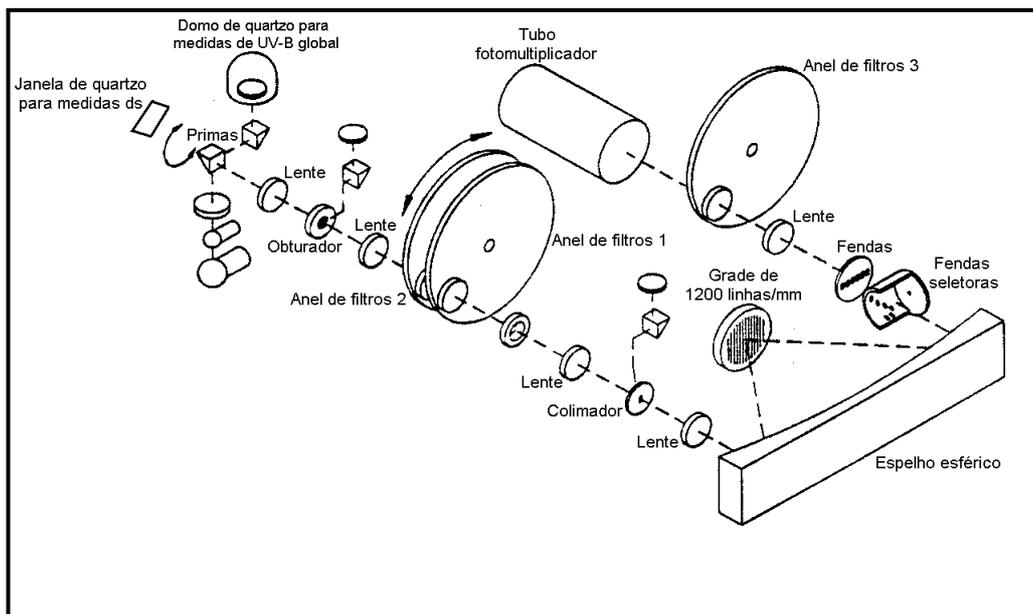


Fig. 1.11 - Diagrama interno do espectrofotômetro Brewer.

FONTE: modificada de Sci-Tec (1995).

medidas ds duram cerca de 3 minutos e ocorrem sob o preciso posicionamento do Brewer de forma que ele colete exatamente o feixe de radiação solar direta. Essas medidas são utilizadas no cálculo das colunas de ozônio e de SO_2 . Mais precisamente, o Brewer gera um arquivo denominado Bddy.### onde várias informações sobre as medidas ds e os valores de O_3 e SO_2 ficam armazenadas.

Por definição uma medida ds implica na não obstrução do feixe solar por nuvens. Embora nos cálculos das colunas de O_3 e SO_2 os algoritmos do Brewer sejam capazes de “perceber” a presença de nuvens e consigam ainda fornecer valores da quantidade desses gases traço, nas aplicações das medidas ds feitas neste trabalho os casos com suspeita de interferência por nuvens foram eliminados.

1.4.5 Método de Langley

No final do século 19 Samuel Pierpont Langley (Coulson, 1975) introduziu um método a partir do qual foi possível determinar a constante solar e a espessura óptica atmosférica. Esse método, denominado método de Langley, é uma aplicação da lei de Beer (Yavorsky e Detlaf, 1980) na atmosfera terrestre irradiada pela luz solar. Assim, pode-se tomar a lei de Beer na forma

$$I = I_0 \exp(-\tau_{at}m), \quad (1.6)$$

sendo I e I_0 as irradiâncias na superfície e no topo da atmosfera para um dado λ , τ_{at} a espessura óptica atmosférica e m a massa óptica de ar (ou apenas massa de ar) cujo valor é similar ao da secante do ASZ para valores de ângulos menores que 60° (Kasten e Young, 1989; Lenoble, 1993; Young, 1994; Sci-Tec, 1995; Marquard et al., 2000). O logaritmo da eq. (1.6) leva à expressão

$$\ln I = \ln I_0 - \tau_{at}m. \quad (1.7)$$

Uma vez que I_0 tem uma taxa de variação de cerca de 0,1 % ao ano na faixa do UV-B (Lean, 1991; Hood, 1999; Reid, 1999; Rottman, 1999), pode-se fazer medidas de I para vários valores de m enquanto τ_{at} for constante, ou seja, enquanto a atmosfera mantiver sua composição, sensível ao UV-B, constante. Assim sendo, tem-se que $\ln I$ mantém uma relação linear com m . Aplicando a regressão linear ao conjunto de pontos $(m, \ln I)$, obtém-se uma reta média ajustada a eles cuja inclinação é igual a $-\tau_{at}$ e o termo independente igual a $\ln I_0$, ou seja, o logaritmo da irradiância no topo da atmosfera é igual ao valor extrapolado na regressão linear para $m = 0$. Note que m , a massa de ar, é uma distribuição não normalizada do caminho óptico relativo seguido pelo feixe de radiação. Portanto, m pode variar de 1 (ASZ = 0) até um valor M ($M = \infty$ para uma atmosfera plano-estratificada e $M \gg 1$ para uma atmosfera esfero-estratificada) e pode também ter um valor nulo em equivalência a idéia de que $I = I_0$ no topo da atmosfera.

A linearização feita no último parágrafo constitui o método de Langley. Ele será utilizado neste trabalho para o cálculo da espessura óptica atmosférica, τ_{at} . A Figura 1.12 mostra um exemplo de aplicação do método de Langley em dois dias numa localidade: o negativo das inclinações das retas são os valores de τ_{at} e os termos independentes são o logaritmo do valor extrapolado I para um dado λ .

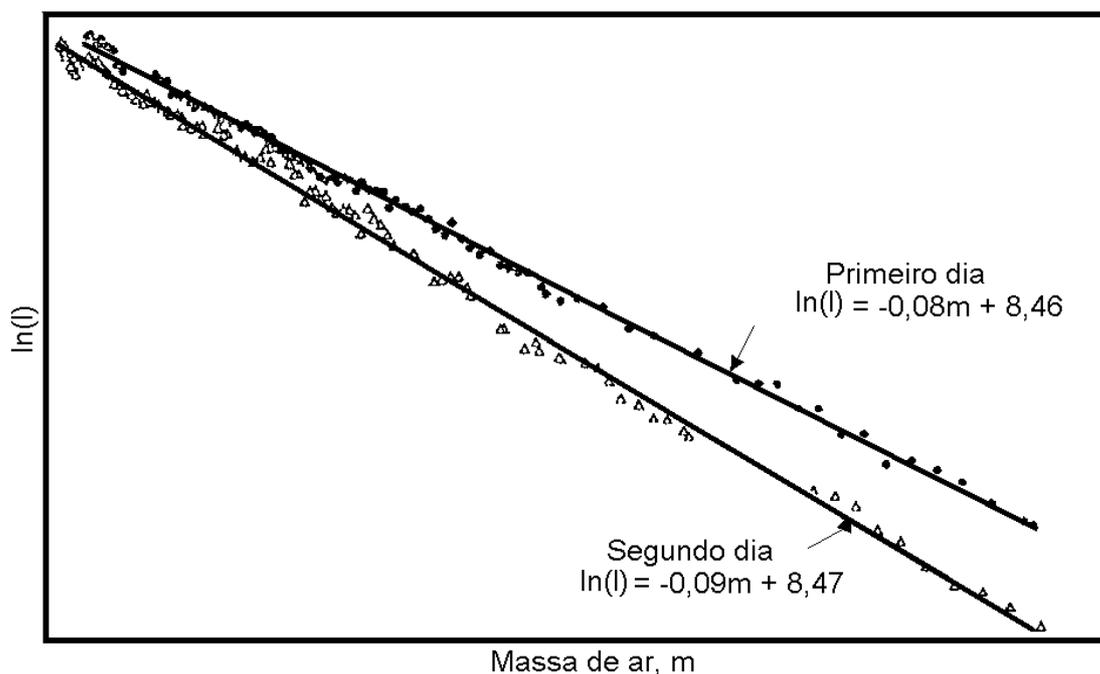


Fig. 1.12 - Exemplo de aplicação do método de Langley em dois dias diferentes num dado local.

FONTE: modificada de Liu et al. (1991).

É interessante notar que a atmosfera terrestre não é apenas absorvedora para λ na faixa do UV-B. Na verdade, fora a absorção pelo ozônio para valores de λ menores (L1 e L2) e alguma absorção pelos aerossóis o restante da radiação é espalhada; τ_{at} é agora um coeficiente de atenuação (absorção + espalhamento) em lugar de apenas absorção.

A inclusão do processo de espalhamento atmosférico não invalida a lei de Beer e nem o método de Langley. Embora uma parte da radiação espalhada se

propague na mesma direção e sentido do feixe incidente devido ao espalhamento para frente, e uma outra parte que sofre espalhamento múltiplo acabe retomando a direção de propagação do feixe original, o somatório dessas partes é um valor muito pequeno em comparação com a parte que é excluída do feixe em definitivo (McPeters e Green, 1976; Bais, 1997; Dick, 1998).

1.4.6 Atenuação da Radiação UV-B

A radiação UV-B pode ser atenuada por absorção pelo ozônio (Green, 1964; Molina e Molina, 1986), em menor quantidade pelo SO₂ (McGee e Burris Jr, 1987) e NO₂ (Davidson et al., 1988) e pelos aerossóis (Seinfeld, 1985; Yamasoe et al., 1998), ou por espalhamento Rayleigh (Teillet, 1990) nas moléculas de ar e espalhamento nas partículas de aerossóis (Green et al., 1974; Wiscombe, 1980; Coulson, 1988; Martins et al., 1998).

A atenuação da radiação UV-B por gases ou partículas pode ser medida de forma indireta através da espessura óptica. No caso da absorção pelos gases O₃, SO₂ e NO₂ a expressão

$$\tau_{\text{gás}} = \sigma N(2,69 \times 10^{16}) \quad (1.8)$$

relaciona a espessura óptica do gás para um dado λ com a seção de choque de absorção (cm²/molécula) σ e com a coluna integrada N do gás (unidades Dobson); $2,69 \times 10^{16}$ é a milésima parte do número de Loschmidt. A Figura 1.4 mostra as seções de choque de absorção para o O₃, SO₂ e NO₂. Contudo, como já foi visto, o valor de N na atmosfera para o O₃ é centenas ou milhares de vezes maior que para os outros dois gases, enquanto que as seções de choque de absorção dos três não chegam a ter uma ordem de grandeza de diferença entre si na faixa do UV-B. Portanto, o ozônio acaba sendo o gás mais importante em termos de absorção nessa faixa de radiação.

A espessura óptica para o espalhamento Rayleigh pode ser calculada pela expressão

$$\tau_R = 0,008569\lambda^{-4}(1 + 0,0113\lambda^{-2} + 0,00013\lambda^{-4})p/1013 \quad (1.9)$$

(Teillet, 1990) onde λ é dado em μm e p é a pressão atmosférica em mb na altitude local.

A espessura óptica atmosférica é igual ao somatório das espessuras ópticas para o O_3 , SO_2 e NO_2 , mais a espessura óptica para o espalhamento Rayleigh e mais a espessura óptica de aerossóis (Green et al., 1974; Bridgman, 1978);

$$\tau_{at} = \tau_{\text{O}_3} + \tau_{\text{SO}_2} + \tau_{\text{NO}_2} + \tau_R + \tau_{ae} \quad (1.10)$$

A espessura óptica de aerossóis inclui os fenômenos de espalhamento e absorção. Rearranjando a eq. (1.10) obtém-se a expressão para a espessura óptica de aerossóis

$$\tau_{ae} = \tau_{at} - (\tau_{\text{O}_3} + \tau_{\text{SO}_2} + \tau_{\text{NO}_2} + \tau_R) \quad (1.11)$$

A Figura 1.13 mostra o padrão de espalhamento de radiação por parte de uma partícula esférica. Pode-se notar o lóbulo frontal proeminente indicando uma forte componente de espalhamento para frente. Contudo, esse é o padrão típico de espalhamento para uma única partícula. Num meio atmosférico o padrão resultante depende de um processo de polidispersão, ou seja, o resultado do espalhamento conjunto por um número muito grande de partículas: no caso de uma atmosfera poluída por fumaça de queimadas a densidade de partículas é da ordem de 4×10^5 partículas/ cm^3 (Ji et al, 1996). A Figura 1.14 mostra um padrão de espessuras ópticas atmosférica, Rayleigh, ozônio e aerossóis na faixa do UV-B.

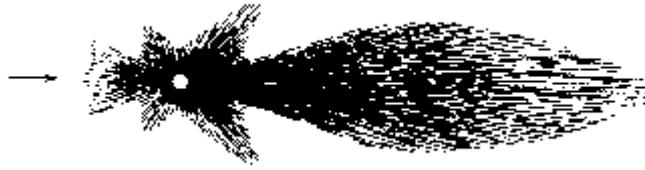


Fig. 1.13 - Padrão de espalhamento de radiação a partir de uma única partícula. A seta indica a direção de incidência do feixe de radiação.
 FONTE: modificada de McCartney (1976, p. 21).

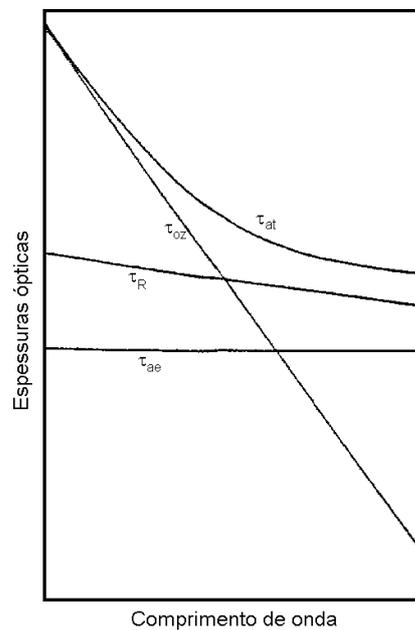


Fig. 1.14 - Padrão de espessura óptica atmosférica, Rayleigh, O₃ e aerossóis na faixa do UV-B.
 FONTE: modificada de Green et al. (1974).

1.4.7 Modelo de Irradiância UV-B

Define-se a irradiância (espectral) como sendo a quantidade de radiação incidente por unidade de área, tempo e comprimento de onda sobre uma superfície horizontal plana (Madronich, 1987):

$$I = \int d\varphi \int L(\theta, \varphi) \cos\theta \sin\theta d\theta \quad \varphi \in (0, 2\pi), \theta \in (0, \pi) \quad (1.12)$$

onde $L(\theta, \varphi)$ é a radiância (espectral) incidindo num ponto P do espaço a partir de todas as direções definidas pelos ângulos azimutal φ e polar θ .

O desenvolvimento de modelos matemáticos e métodos computacionais formaram uma poderosa ferramenta no estudo da irradiância UV-B (Chandrasekhar, 1960; Lenoble, 1985). A intensidade de fótons com frequência ν , num ponto P numa posição \mathbf{r} , direção \mathbf{n} e num instante t é igual a

$$I(\mathbf{r}, \mathbf{n}, \nu, t) = ch\nu f(\mathbf{r}, \mathbf{n}, \nu, t) \quad (1.13)$$

(Stamnes, 1986) sendo c a velocidade da luz no vácuo, h a constante de Planck e f a função de distribuição de fótons. Aplicando f à equação de Boltzmann para um gás de fótons -

$$\partial f / \partial t + \nabla_{\mathbf{r}}(\mathbf{v}f) + \nabla_{\mathbf{v}}(\mathbf{a}f) = Q(\mathbf{r}, \mathbf{n}, \nu, t) \quad (1.14)$$

(Eisberg e Resnick, 1986) onde \mathbf{v} é a velocidade, \mathbf{a} a aceleração e Q os pontos de absorção, espalhamento e emissão de fótons - resulta na equação de transferência radiativa

$$\begin{aligned} \mu \partial I(\tau, \mu, \varphi) / \partial \tau = & I(\tau, \mu, \varphi) - [1 - \omega(\tau)] B(\tau) + \\ & - [\omega(\tau) / 4\pi] \int d\varphi' p(\tau, \mu, \varphi; \mu', \varphi') I(\tau, \mu', \varphi') d\mu' + \\ & - [\omega(\tau) I^{\text{inc}} / 4\pi] p(\tau, \mu, \varphi, -\mu_0, \varphi_0) e^{-\tau/\mu_0} \end{aligned} \quad (1.15)$$

$$\varphi \in (0, 2\pi), \mu' \in (-1, 1)$$

onde μ é o cosseno do ângulo polar, $\omega(\tau)$ o albedo por espalhamento simples, que é a razão entre os coeficientes de espalhamento e de atenuação, e $p(\tau, \mu, \varphi; \mu', \varphi')$ a função de fase de espalhamento nas direções μ', φ' da radiação incidente no ponto P(τ, μ, φ) na direção μ, φ . Veja a Figura 1.15. Os termos do lado direito da eq. (1.15) tem a seguinte definição: o primeiro é a incidência de radiação num ponto P(τ, μ, φ); o segundo indica a emissão térmica da atmosfera dada pela equação de Planck para um corpo negro, $B(\tau)$; o terceiro termo calcula o espalhamento nas direções μ', φ' da radiação incidente na

direção μ , φ no ponto $P(\tau, \mu, \varphi)$; o último termo fornece o espalhamento do feixe de radiação solar num ponto $P(\tau, -\mu_0, \varphi_0)$ após ter sido atenuado desde o topo da atmosfera do seu valor de incidência I^{inc} no ponto $A(0, -\mu_0, \varphi_0)$. A eq. (1.15) associada às condições de contorno atmosféricas, ou seja, τ , $\rho(\tau, \mu, \varphi; \mu', \varphi')$ e a temperatura T pode ser resolvida de várias maneiras (Lenoble, 1985).

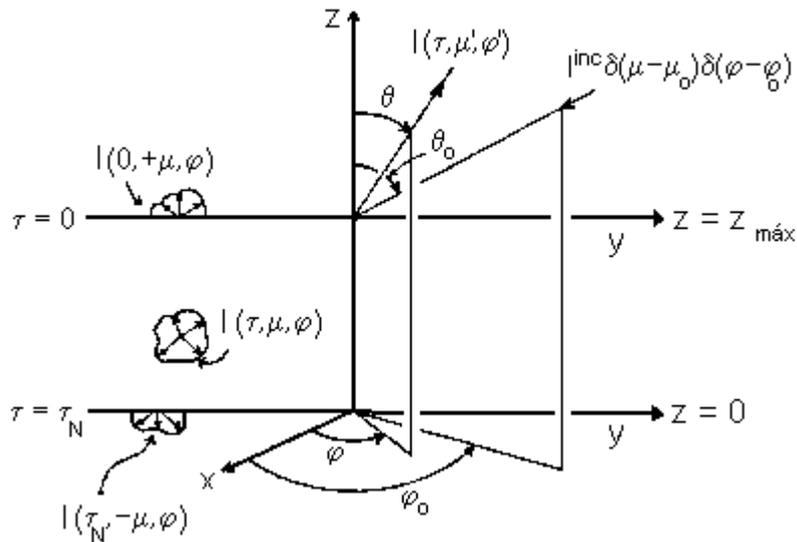


Fig. 1.15 - Diagrama atmosférico para aplicação da equação de transferência radiativa.

FONTE: modificada de Stamnes (1986).

Stamnes (1986) utilizou o método da ordenada discreta (Chandrasekhar, 1960; Lenoble, 1985; Stamnes et al., 1988; Dahlback e Stamnes, 1991) para resolver a eq. (1.15) e, assim, calcular a irradiância UV-B na superfície da Terra, em nível do mar, para uma atmosfera padrão plano-estratificada e sem nuvens (Elterman, 1964; USAF, 1976). No método da ordenada discreta toma-se $I(\tau, \mu, \varphi)$ como uma série cosseno de Fourier com $2N$ coeficientes,

$$I(\tau, \mu, \varphi) = \sum I_m(\tau, \mu) \cos[m(\varphi_0 - \varphi)] \quad m \in [0, 2N-1], \quad (1.16)$$

$\rho(\tau, \mu, \varphi; \mu', \varphi')$ expandida numa série de $2N$ polinômios de Legendre e uma atmosfera plano-estratificada infinita dividida em N partes, cada uma com seus

parâmetros de contorno. Veja a Figura 1.16. O sistema de equações formado pode ser resolvido por métodos numéricos aplicados em rotinas de computador.

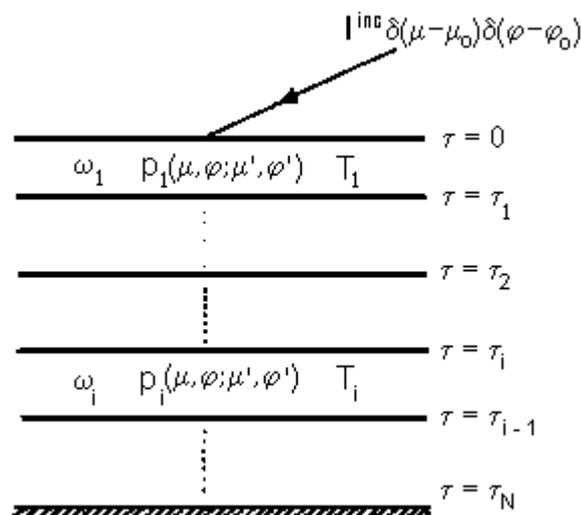


Fig. 1.16 - Atmosfera plano-estratificada infinita com N partes e respectivos parâmetros de contorno.

FONTE: modificada de Stamnes (1986).

Dahlback et al. (1989) utilizaram o mesmo método de Stamnes (1986) para obter as irradiâncias UV numa rotina para o cálculo da dose e da taxa de dose UV. Considerou-se a atmosfera plano-estratificada, sem nuvens e sem aerossóis, a superfície em nível do mar e albedo de superfície igual a 0,2; Mezaros (1993) recomenda um valor de 0,3 como média global. A camada de ozônio assim como as coordenadas geográficas são próprias da localidade escolhida. Os valores de dose e de taxa de dose calculados pela rotina de Dahlback et al. (1989) estão em unidade ponderada de irradiância (J/m^2 e W/m^2). A irradiância ponderada resulta da aplicação do espectro de ação IEC (International Electrotechnical Commission) (Parrish et al., 1982; McKenzie et al., 1991; Madronich, 1992; de Gruijl e Van der Leun, 1994; Kirchhoff, 1995), que é a distribuição espectral do efeito biológico relativo produzido pela radiação UV, à irradiância espectral UV na superfície. O efeito biológico em

questão é o eritema (envermelhecimento da pele devido a radiação UV), e se diz relativo por ser uma medida comparativa da ação biológica dos λ s na faixa do UV sobre a pele. A Figura 1.17 mostra o espectro de ação IEC, sendo que ele pode ser representado pelo sistema de inequações (1.17).

$$\begin{aligned}
 \lambda \leq 298 \text{ nm} & \quad f_p = 1 \\
 298 \leq \lambda \leq 328 \text{ nm} & \quad f_p = e^{[0,2164(298 - \lambda)]} \\
 328 \leq \lambda \leq 400 \text{ nm} & \quad f_p = e^{[0,0345(139 - \lambda)]}
 \end{aligned} \tag{1.17}$$

f_p é o fator de ponderação. Note que os comprimentos de onda em direção a 400 nm são cada vez menos capazes de produzir eritema em relação aos comprimentos na faixa dos 300 nm.

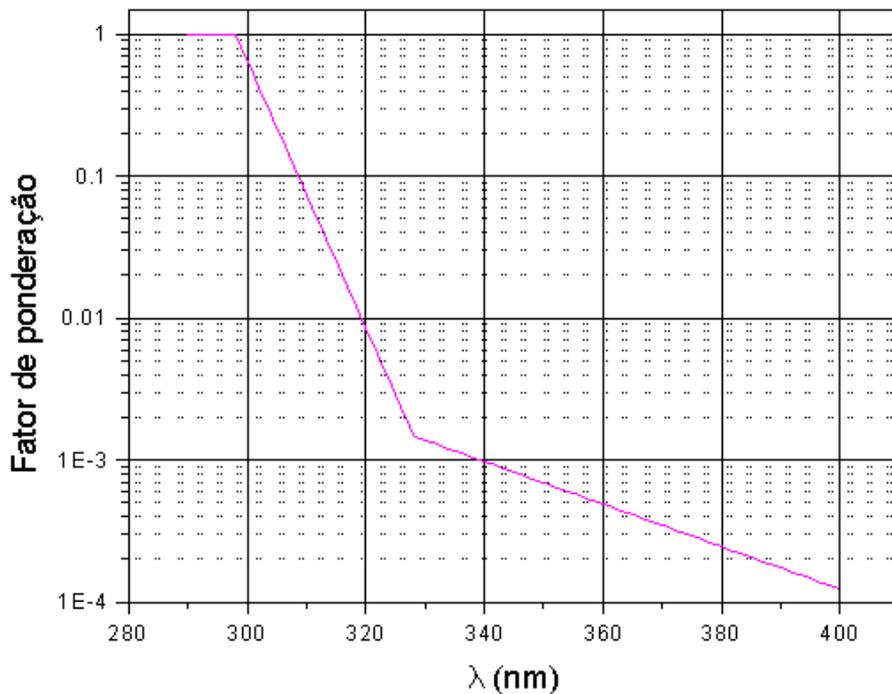


Fig. 1.17 - Espectro de ação eritematoso IEC.
 FONTE: Dahlback et al. (1989).

Então, se $A(\lambda)$ é o espectro de ação e $I(\lambda)$ a irradiância UV, a taxa de dose é dada pela expressão

$$dD/dt = \int A(\lambda)I(\lambda)d\lambda \quad \lambda \in [290, 400]nm, \quad (1.18)$$

enquanto a dose é igual a

$$D = \int dt \int A(\lambda)I(\lambda)d\lambda \quad \lambda \in [290,400] nm, t \in [0, T], \quad (1.19)$$

sendo T o tempo de exposição. O limite inferior das integrais em λ depende da espessura da camada de ozônio. Em eventos onde as reduções de ozônio são da ordem de 70%, o limite de integração pode ser reduzido de 290 para 220 nm (Dahlback et al., 1989).

A medida do efeito biológico, ou do risco biológico, em unidade de dose é, para o público em geral, algo estranho e de difícil assimilação. Por isso, vários parâmetros tem sido adotados numa tentativa de popularizar o conhecimento em torno dessa questão, que é, antes de mais nada, um problema de saúde publica. O índice UV-B é um desses parâmetros.

Pode-se dividir os tipos de pele humana em 4 grupos conforme a Tabela 1.1 (CSA, 1989; IRPA, 1991; Kirchhoff, 1995).

TABELA 1.1 - TIPOS DE PELE E OS EFEITOS DEVIDO AO UV-B

Tipo	Cor	Efeito da exposição
I	branca	queima sempre
II	morena clara	bronzeia e queima
III	morena escura	bronzeia e às vezes queima
IV	negra	bronzeia e raramente queima

Para a pele do tipo I a dose eritematosa mínima (MED) para produzir algum efeito é igual a $100 J/m^2$ * (o asterisco indica que a dose é ponderada pelo

espectro de ação), o que corresponde a uma unidade do índice UV-B. O valor máximo do índice UV-B é 15 (alguns autores adotam o valor 16) (Kirchhoff, 1995), correspondendo a uma dose de 1500 J/m² que é o limite máximo para alguns indivíduos de pele negra acima da qual bronzeamento e queimadura seriam observados com certeza. Pode-se classificar o índice UV-B em termos do grau de exposição conforme mostra a Tabela 1.2 (Kirchhoff, 1995; SBD, 2000; EPA, 2000).

TABELA 1.2 - ÍNDICE UV-B E O GRAU DE EXPOSIÇÃO

Índice UV-B	Grau de exposição
≤ 4	baixo
5 a 6	moderado
7 a 9	alto
≥ 10	muito alto

1.4.8 Modelo Meteorológico Eta

Além do Sol, do ASZ e das características atenuadoras dos gases e partículas atmosféricas, a irradiância UV-B depende também da altitude local, do albedo de superfície e da cobertura de nuvens (Blumthaler et al., 1994; Schafer et al., 1996; McKenzie e Paulin, 1998). Para uma atmosfera padrão a irradiância UV-B aumenta em cerca de 6%/km com a altitude na baixa troposfera (EPA, 2000), sendo que esse valor pode ser muito diferente na presença de aerossóis. O albedo de superfície assume valores com forte dependência do tipo de cobertura que o solo possui e provoca o aumento da irradiância UV-B. A cobertura de nuvens atua de forma variada sobre a irradiância e com maior intensidade que os aerossóis.

Parâmetros como a cobertura de nuvens podem ser previstos com 24 horas de antecedência pelo modelo meteorológico Eta (Black, 1994; Zhao et al., 1997). Esse modelo cria uma variável vertical para a atmosfera em termos da pressão compensada pelas variações do relevo, o que implica numa superfície mais uniforme do que o relevo propriamente dito e em função da pressão. Assim, com a atmosfera escalonada pela pressão compensada, cria-se 50 superfícies de pressão a partir de um ponto de referência (1000 hPa) até um ponto de altitude máxima (25 hPa), enquanto que no plano horizontal forma-se uma rede com quadrados de 200 km de lado ao longo da área de previsão (em torno de todo o planeta). O modelo Eta é um modelo de mesoescala que cobre áreas continentais mas é capaz de fazer previsões regionais (40 x 40 km). Aos vértices dos quadrados da rede em escala global são associadas informações sobre a velocidade dos ventos, enquanto que aos centros desses quadrados são associadas informações sobre a temperatura, umidade e razão de mistura água-gelo para as nuvens na área daquele quadrante. Todas essas informações são obtidas diariamente pelos National Centers for Environmental Prediction (NCEP) nos Estados Unidos por meio de satélites, sondas meteorológicas e observações diárias em todo o mundo. Todas as informações são utilizadas como condições de inicialização e contorno em um sistema de equações da dinâmica e continuidade atmosféricas. Isso constitui o modelo de previsão Eta. Duas vezes ao dia o NCEP fornece a rede de dados em escala global (200 x 200 km) de todo o mundo. No Brasil o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) em Cachoeira Paulista aplica os dados do NCEP ao modelo Eta, fornecendo 2 vezes ao dia a previsão para a cobertura de nuvens a cada 6 horas de 0 até 60 horas para todo o território brasileiro. A partir da previsão do índice de cobertura de nuvens é possível prever o índice UV-B (Green et al., 1974).

1.4.9 Previsão do Índice UV-B

Pode-se, para fins de modelagem, considerar o espectro de irradiância solar no topo da atmosfera terrestre constante, uma vez que na faixa do UV-B a

variação é de 0,1% ao ano excluindo a variação devido à distância Sol-Terra, e igual ao espectro de irradiância para a distância média Sol-Terra (Coulson, 1975). Dahlback et al. (1989) desenvolveram um modelo para o cálculo da dose UV a partir da irradiância numa atmosfera padrão livre de nuvens e aerossóis, superfície em nível do mar, albedo de superfície igual a 0,2 e valores de coluna de ozônio de até 700 UD.

Na baixa troposfera a irradiância UV-B aumenta em 6% por km de elevação (Piazena, 1996; Dvorkin e Steinberger, 1999; Reuder e Schwander, 1999; EPA, 2000). Com a informação do relevo é possível corrigir o modelo de Dahlback et al para a altitude local. Com relação às nuvens Green et al (1974) aplicaram a expressão

$$F = 1 - 0,056C \quad (1.20)$$

para calcular a fração F de irradiância de um dia com cobertura C em número de décimos em relação a um dia de céu claro. Por exemplo: se a cobertura de nuvens é de 6 décimos num dado dia, então nesse dia a irradiância UV-B será 66,4% a irradiância de um dia de céu claro. Reunindo o modelo de Dahlback et al, o mapa topográfico de uma dada região e a previsão de cobertura de nuvens é possível montar um modelo de previsão da dose UV-B: esse modelo, contudo, não leva em conta os aerossóis presentes na atmosfera, o que em regiões poluídas pode representar uma redução de cerca de 30% (Piazena, 1996) na irradiância UV-B.

A quantidade de ozônio presente na atmosfera é outra informação muito importante para a previsão do índice UV-B. Valores diários podem ser disponibilizados para uso em previsões, ou mesmo os valores médios sazonais. A coluna de O₃ média anual para o Brasil pode ser tomada como sendo igual a 270 UD (Kirchhoff et al., 1991; Sahai et al., 2000).

CAPÍTULO 2

A CAMPANHA DE CAMPO GRANDE - NATAL - LA PAZ

2.1 Campanha Para Obtenção de Dados

Campo Grande (19,2° S, 54,3° O, 532 m, 600.000 habitantes) é uma cidade na região do cerrado brasileiro. Sua economia é baseada na atividade agrícola e durante os meses de junho a outubro aquela região passa por um período de seca. Como resultado a massa vegetal ressecada entra em combustão espontânea por ação do sol ou é ateado fogo a ela com o objetivo de limpeza de áreas para plantio. Grandes quantidades de aerossóis de queima de biomassa são ejetados para a atmosfera, e não só em Campo Grande como em todo o cerrado brasileiro.

Medindo a radiação solar direta UV-B com o espectrofotômetro Brewer e aplicando o método de Langley sobre essas medidas, permite obter a espessura óptica atmosférica além das espessuras ópticas do ozônio e do SO₂. Aplicando a equação (1.11) sobre essas espessuras mais o conhecimento da espessura óptica Rayleigh, obtém-se a espessura óptica de aerossóis (τ_{ae}) num certo intervalo de tempo, por exemplo, no turno da manhã ou da tarde.

Uma vez que Campo Grande é um sítio onde se espera que valores elevados de τ_{ae} ocorram no mês de agosto, seria interessante comparar esses valores com valores obtidos nesse mesmo mês em outros sítios. Natal (5,8° S, 35,2° O, 30 m, 656.000 habitantes) no litoral nordestino do Brasil, e La Paz (16,5° S, 68,1° O, 3800 m, 1.100.000 habitantes) nos Andes bolivianos seriam dois outros sítios com características distintas do cerrado brasileiro. Como se comporta τ_{ae} diariamente nesses locais na época das queimadas em Campo Grande? Para responder a essa questão idealizou-se uma campanha para medição da radiação UV-B nesses 3 locais do dia juliano (dj) 209 (28 de julho) ao 237 (25 agosto) de 1999. Em cada um dos sítios havia um espectrofotômetro Brewer, com o qual séries diárias de medidas ds e UV-B

global foram feitas: em La Paz e Natal o Laboratório de Ozônio do INPE conta com espectrofotômetros Brewer instalados em regime permanente, enquanto que em Campo Grande foi instalado um no período da campanha.

As medidas iniciavam-se com o nascer do Sol. Uma vez que o principal objetivo da campanha era determinar τ_{ae} , para evitar o uso de diferentes valores de massa de ar para a atmosfera, o ozônio e os aerossóis adotou-se uma faixa de ASZ inferiores a 60° para as medidas ds. Fora dessa faixa foram realizadas medidas diversas mas sem interesse para os objetivos da campanha. As medidas foram realizadas no turno da manhã e da tarde, sendo as medidas ds feitas nos ASZ de $-60,00^\circ$ a $-41,00^\circ$ no turno da manhã e de $42,70^\circ$ a $60,00^\circ$ no turno da tarde. O intervalo de ângulos entre $-41,00^\circ$ e $42,70^\circ$ foi preenchido com medidas UV-B global. Esse procedimento foi seguido da mesma forma nas 3 localidades de medição. Os ASZ utilizados para as medidas ds foram os mesmos pela manhã e tarde exceto pelo ângulo de $-41,80^\circ$.

No Apêndice C estão listadas as 3 programações utilizadas em cada uma das cidades envolvidas na campanha. Observa-se que a única diferença entre as programações é o número de medidas UV-B global feitas em torno do meio-dia de uma programação para outra. Assim, a programação Tipo1, utilizada do dj 209 ao 221, aponta medidas UV-B global até o ASZ mínimo de $-39,40^\circ$, a Tipo2, utilizada do dj 222 ao 231, aponta medidas UV-B global até $-35,91^\circ$, e a Tipo3, utilizada do dj 232 ao 237, aponta medidas UV-B global até $-32,70^\circ$. O número de medidas UV-B global cresce de 4 na Tipo1, para 19 na Tipo2 e para 23 na Tipo3. O motivo desse aumento progressivo é fato dos dias irem se tornando cada vez maiores à medida que se caminha para o solstício de verão. Embora as medidas UV-B global não sejam importantes para os objetivos deste trabalho, elas foram feitas como uma rotina padrão do Laboratório de Ozônio do INPE.

Como o Brewer é um equipamento que executa as programações automaticamente, coube aos operadores de cada uma das 3 localidades apenas a tarefa de conferir diariamente os parâmetros de rotina do espectrofotômetro Brewer. Contudo, em Campo Grande foi feita também a observação da cobertura de nuvens no exato momento das medidas.

2.2 Tratamento de Dados

As medidas ds feitas pelo Brewer são disponibilizadas no arquivo bruto Bdddy.###. O arquivo B contem as informações necessárias para a análise de τ_{ae} . Contudo, essas informações devem ser obtidas dentro do arquivo B, e de uma campanha sempre há um número considerável desses arquivos. Por essa razão foi criado o programa ANALISEB cuja descrição e operação se encontram no Apêndice B. O ANALISEB requer para sua execução os arquivos B devidamente formatados e os arquivos de inicialização NOME DSL.DAT (para obter os arquivos LIdddyy.DAT e DSIIdddyy.DAT) ou NOME O.DAT (para obter o arquivo OIdddyy.DAT). Uma vez gerados os arquivos de resultados do ANALISEB, esses podem ser tratados em qualquer editor gráfico (Microcal Origin, Grapher ou Excel) para obter os gráficos das medidas ds em taxas de contagem ao longo de um dia para os 5 λ s, como mostra a Figura 3.6, ou aplicar o método de Langley obtendo τ_{at} no turno da manhã ou da tarde, conforme a Figura 1.12, e a partir das equações (1.8), (1.9) e (1.11) obter τ_{ae} .

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 Espessuras Ópticas

A campanha para medida da espessura óptica de aerossóis foi baseada nas medidas ds do espectrofotômetro Brewer. As medidas ds são programadas para a obtenção das colunas de O₃ e SO₂: usar as medidas ds para aplicação do método de Langley e obtenção da espessura óptica de aerossóis foi uma idéia que exigiu uma profunda investigação do Brewer, uma vez que essas medidas não são disponibilizadas automaticamente.

Os valores de espessura óptica obtidas do método de Langley são de boa qualidade. Uma prova disso é a aplicação dos valores de τ_{at} e as respectivas medidas ds à equação (1.6) para obter os valores de irradiância no topo da atmosfera: as taxas de contagens podem ser convertidas para unidade de irradiância através dos fatores de conversão da Tabela B.8. A Figura 3.1 mostra os valores calculados de irradiância no topo da atmosfera e que podem ser comparados aos valores das missões ATLAS mostrados na Figura 1.3: vale lembrar que os valores de irradiância no topo calculados neste trabalho foram obtidos a partir de uma atmosfera muito poluída, ao contrário das medidas orbitais das missões ATLAS.

3.1.1 Espessuras Ópticas de O₃ e SO₂

As medidas ds do Brewer são tratadas por um programa específico (Sci-Tec, 1995) para determinação dos valores das colunas de O₃ e SO₂ (Dobson, 1931; IGY, 1957). Em cada um dos 3 sítios da campanha cada medida ds resultou num valor de O₃ e SO₂. Foram considerados todos os valores de O₃ com desvio padrão igual ou inferior a 0,75%. As Figuras 3.2a,b,c mostram os valores de O₃ obtidos ao longo do dj 215 de 1999 em Campo Grande, Natal e La Paz.

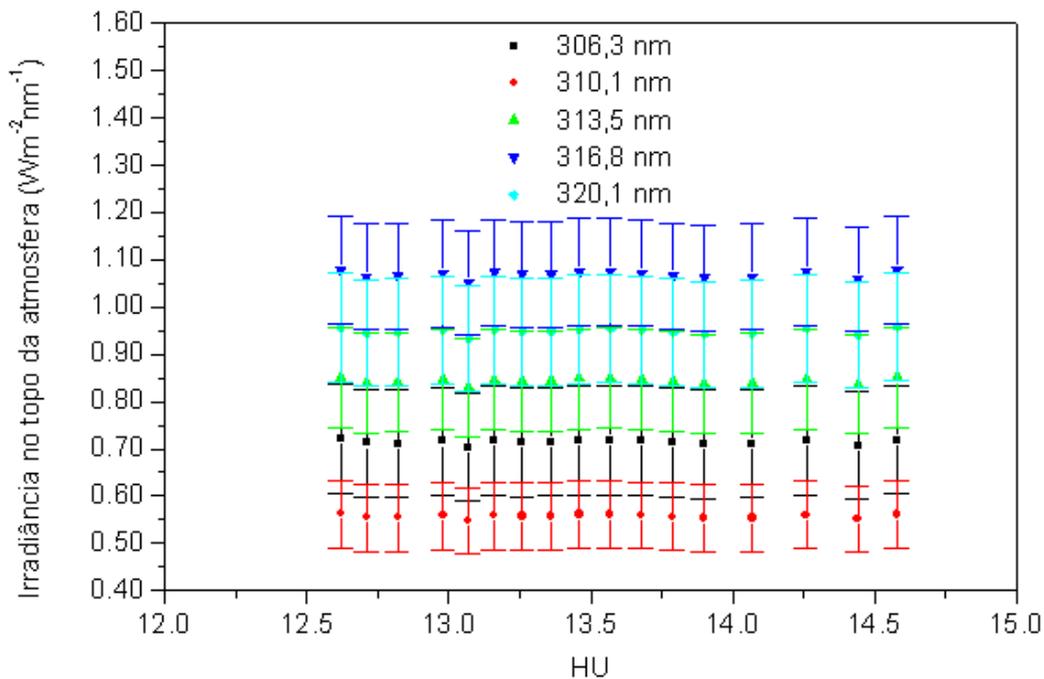


Fig. 3.1 - Irradiâncias no topo da atmosfera para os 5 comprimentos de onda obtidas a partir da aplicação da lei de Beer às medidas ds do dj 215 de 1999 em Campo Grande.

Para os valores da coluna de SO_2 não foi feita nenhuma restrição quanto ao desvio padrão, mas apenas foram considerados os valores positivos: na rotina de cálculo do Brewer o montante desse gás é o resultado da subtração entre dois valores de mesma grandeza, portanto, em situações atmosféricas comuns (coluna de $\text{SO}_2 \approx 1$ UD) (Fioletov et al., 1998) pode ocorrer do valor da coluna de SO_2 ser negativo e próximo de 0. As Figuras 3.3a,b,c mostram os valores de SO_2 ao longo do dj 215 de 1999 para os 3 sítios.

Para cada dia da campanha tem-se um conjunto de valores de coluna de O_3 e SO_2 . As Figuras 3.4a,b,c e 3.5a,b,c mostram os valores médios por turno (manhã e tarde) para esses gases ao longo da campanha nos 3 sítios.

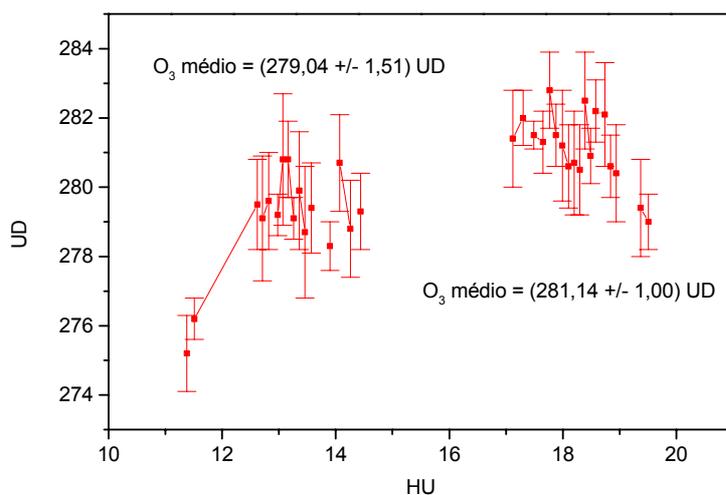


Fig. 3.2a - Valores da coluna de O_3 ao longo do dj 215 de 1999 em Campo Grande obtidas com as medidas ds. Os valores médios para o turno da manhã e da tarde estão indicados.

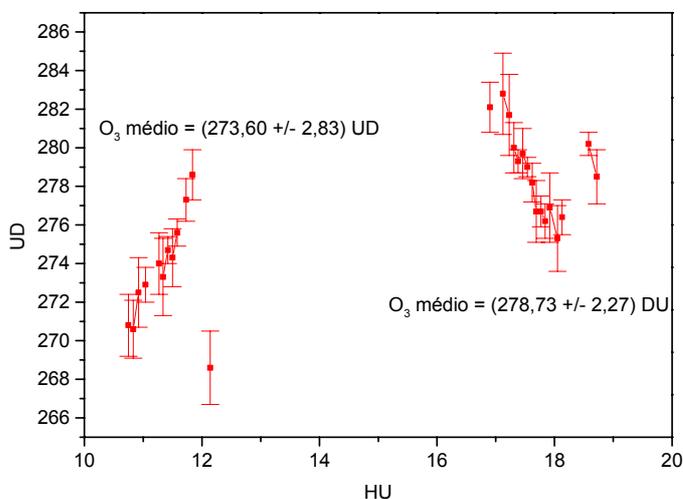


Fig. 3.2b - Valores da coluna de O_3 ao longo do dj 215 de 1999 em Natal obtidas com as medidas ds. Os valores médios para o turno da manhã e da tarde estão indicados.

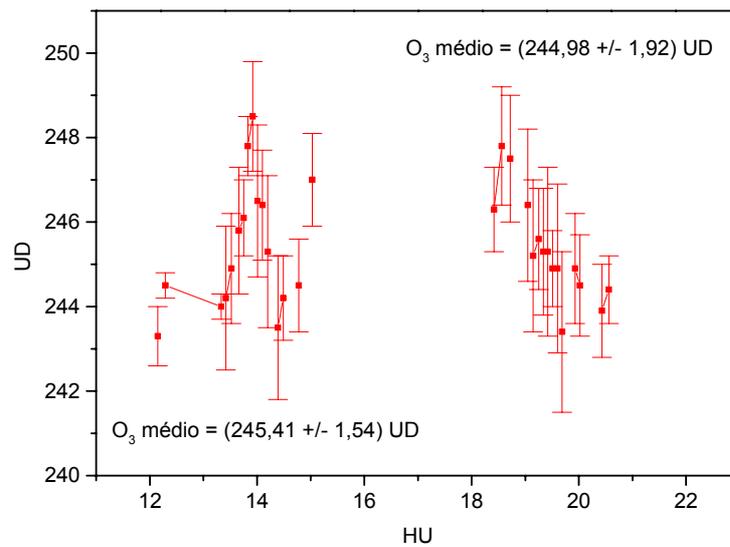


Fig. 3.2c - Valores da coluna de O_3 ao longo do dj 215 de 1999 em La Paz obtidas com as medidas ds. Os valores médios para o turno da manhã e da tarde estão indicados.

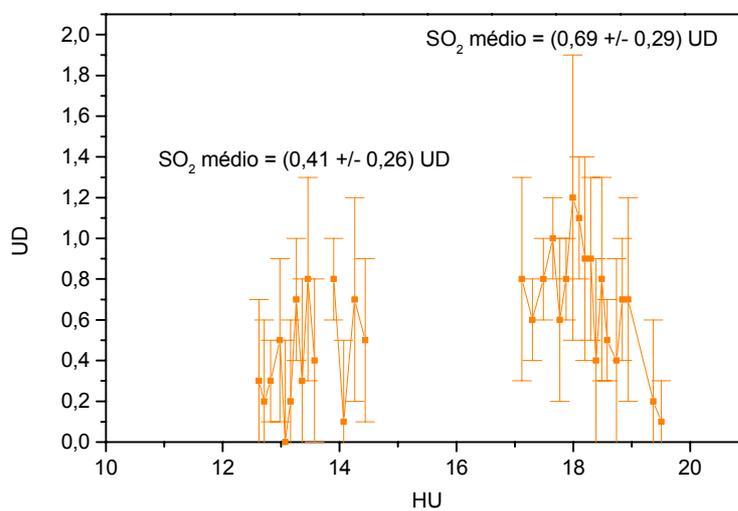


Fig. 3.3a - Valores da coluna de SO_2 ao longo do dj 215 de 1999 em Campo Grande obtidas com as medidas ds. Os valores médios para o turno da manhã e da tarde estão indicados.

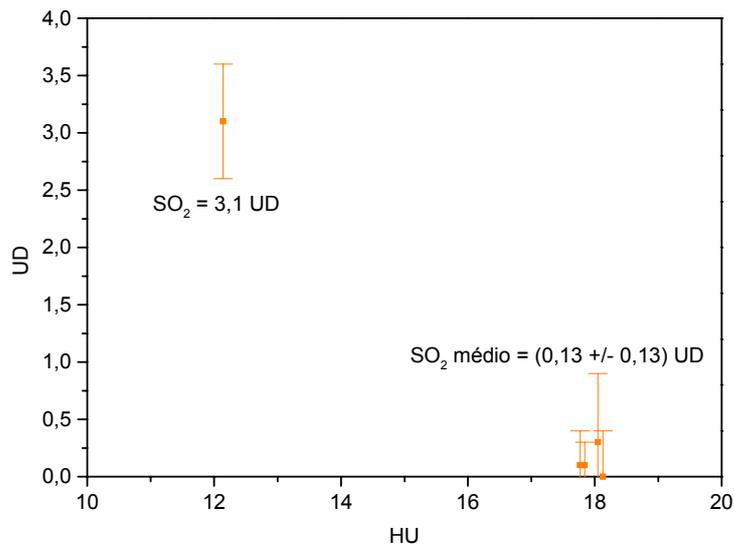


Fig. 3.3b - Valores da coluna de SO₂ ao longo do dj 215 de 1999 em Natal obtidas com as medidas ds. Os valores médios para o turno da manhã e da tarde estão indicados.

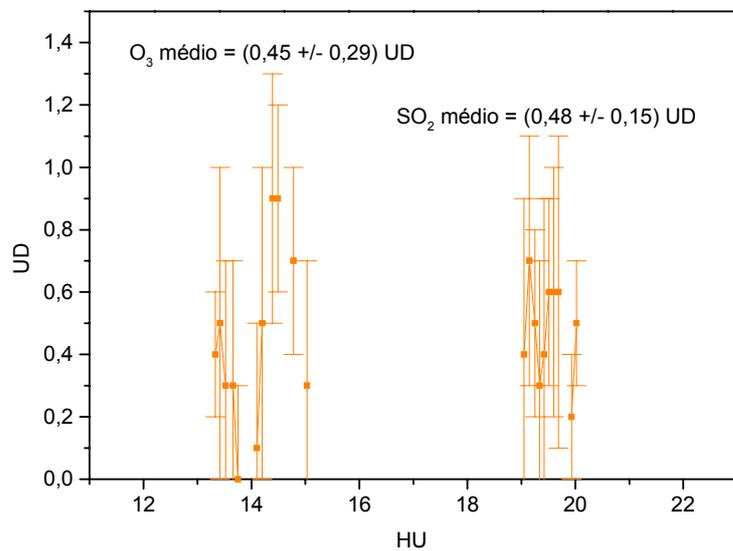


Fig. 3.3c - Valores da coluna de SO₂ ao longo do dj 215 de 1999 em La Paz obtidas com as medidas ds. Os valores médios para o turno da manhã e da tarde estão indicados.

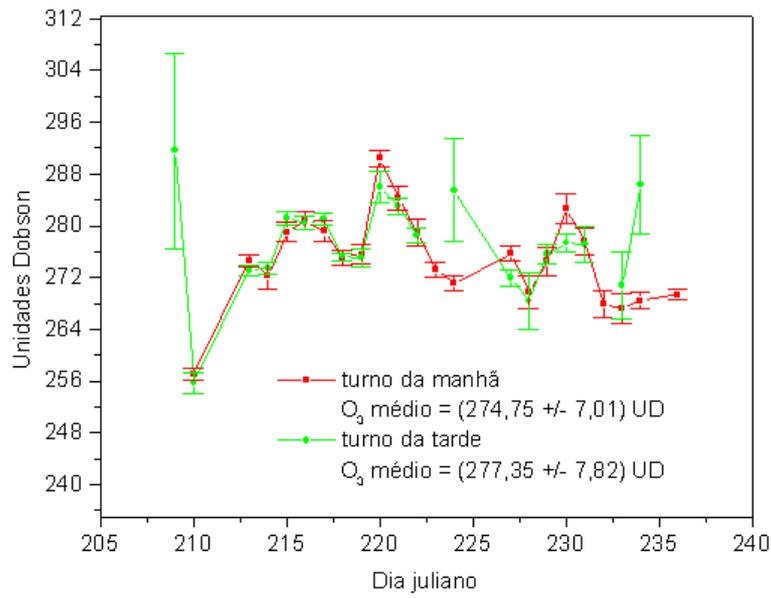


Fig. 3.4a - Valores médios por turno da coluna de O_3 ao longo da campanha em Campo Grande.

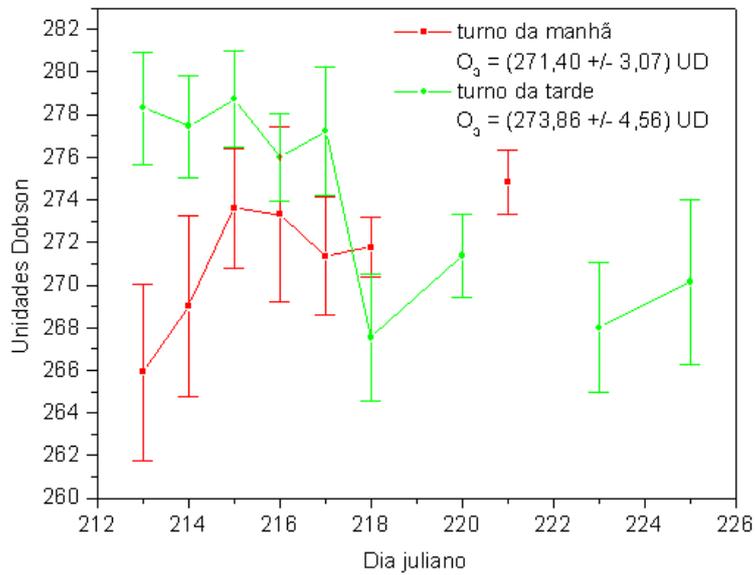


Fig. 3.4b - Valores médios por turno da coluna de O_3 ao longo da campanha em Natal.

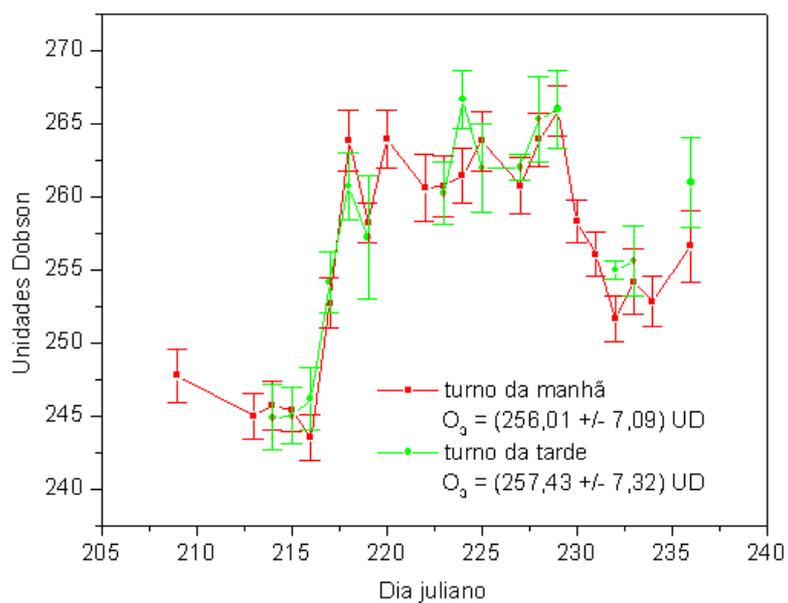


Fig. 3.4c - Valores médios por turno da coluna de O_3 ao longo da campanha em La Paz.

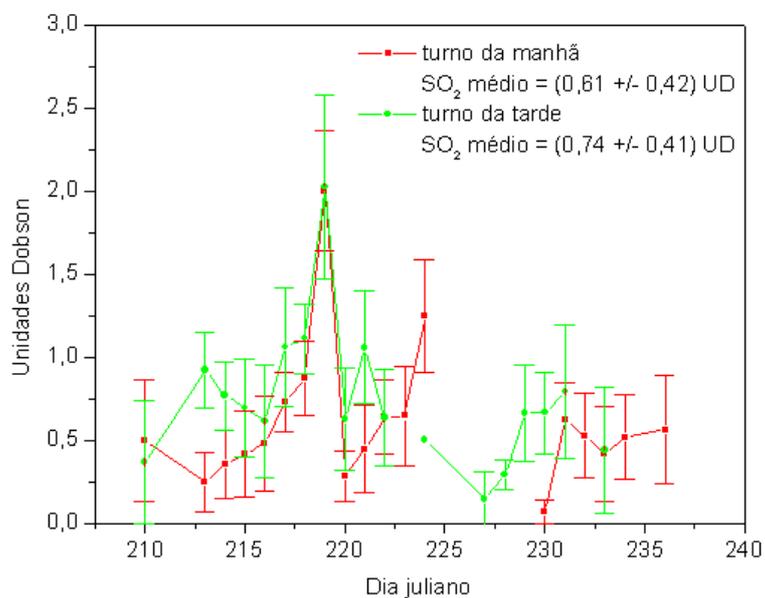


Fig. 3.5a - Valores médios por turno da coluna de SO_2 ao longo da campanha em Campo Grande.

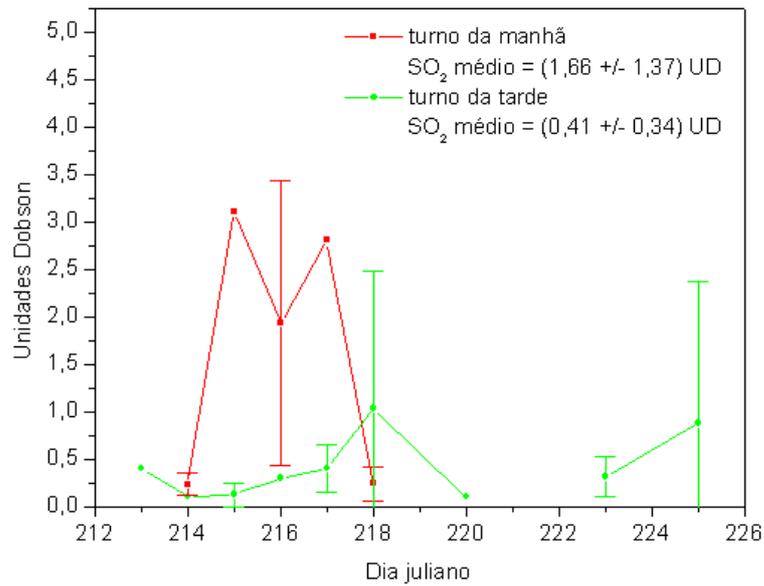


Fig. 3.5b - Valores médios por turno da coluna de SO_2 ao longo da campanha em Natal.

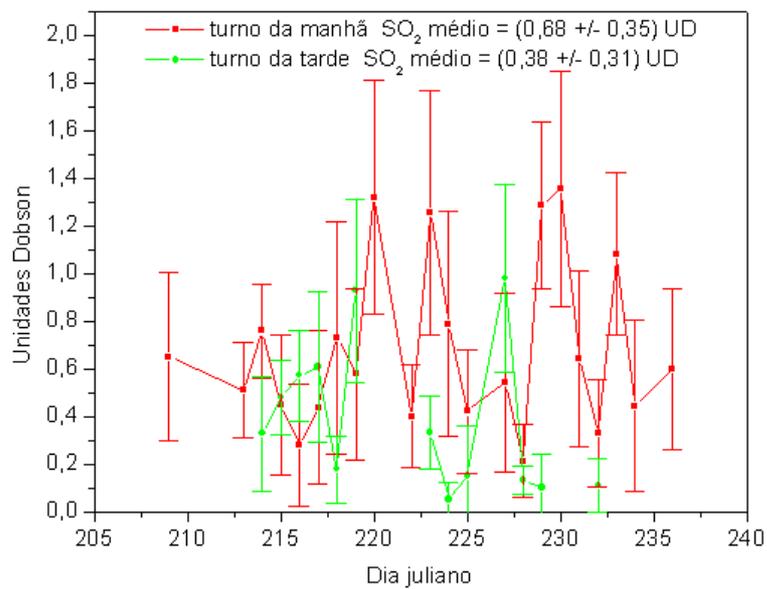


Fig. 3.5c - Valores médios por turno da coluna de SO_2 ao longo da campanha em La Paz.

Nas Figuras 3.4a,b,c nota-se que a coluna de O₃ em La Paz é cerca de 7% em média menor que a dos outros 2 sítios, o que pode ser um efeito da grande altitude de La Paz. Os valores médios da coluna de SO₂ nas Figuras 3.5a,b,c são similares entre si, a não ser pelo valor de (1,66 ± 1,37) UD no turno da manhã em Natal. Contudo, nesse caso pode-se ver que há um número bastante reduzido de medidas em relação aos outros 2 sítios, o que empobrece a qualidade do valor médio. Os dados que deram origem a essas figuras estão no Apêndice D.

A conversão dos dados de O₃ e SO₂ das Tabelas D.1A,B,C para valores de espessura óptica pode ser feito aplicando a eq. (1.8). Os valores de seção de choque de absorção (Molina e Molina, 1986; McGee e Burris Jr, 1987) estão listados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - SEÇÕES DE CHOQUE DE ABSORÇÃO PARA O O₃ E SO₂

λ (nm) ±0,5 (O ₃) ±0,3 (SO ₂)	σ_{O_3} (10 ⁻²⁰ cm ² /molécula) ± 1% (226 K)	σ_{SO_2} (10 ⁻²⁰ cm ² /molécula) (210 K)
306,3	15,71	67,02 ± 0,83
310,1	8,572	18,76 ± 1,07
313,5	6,169	12,70 ± 0,36
316,8	3,351	9,32 ± 0,24
320,1	2,680	3,86 ± 0,24

O valores de σ_{O_3} , exceto em 313,5 nm, foram obtidos por interpolação. A Figura 1.4 mostra as seções de choque de absorção para o O₃ e SO₂ nos 5 comprimentos de onda das medidas ds do Brewer. Tendo em vista os perfis atmosféricos do O₃ e SO₂ mostrados nas Figuras 1.5 e 1.7 além do perfil de temperatura da atmosfera padrão (USAF, 1976), as temperaturas de 226 e 210 K são as mais adequadas dentre as disponíveis como temperaturas de referência para a obtenção dos valores de σ desses gases traços.

Aplicando a eq. (1.8) aos dados das Tabelas D.1A,B,C e 3.1 obtêm-se as espessuras ópticas de ozônio e de dióxido de enxofre (τ_{O_3} e τ_{SO_2}) nos turnos da manhã e da tarde ao longo da campanha nos 3 sítios. Os valores de τ_{O_3} e τ_{SO_2} calculados estão associados a uma incerteza que depende das incertezas explícitas nas variáveis da eq. (1.8). Assim, a partir da teoria de propagação de erros (Knoll, 1979) a incerteza para cada uma das espessuras desses gases é igual a

$$\delta_{\tau_{\text{gás}}} = 2,69 \times 10^{16} [(N\delta_{\sigma})^2 + (\sigma\delta_N)^2]^{0,5}, \quad (3.1)$$

onde δ_{σ} é a incerteza no valor de σ e δ_N a incerteza no valor de N .

3.1.2 Espessura Óptica Atmosférica

As medidas ds do Brewer são em taxa de contagem. A Figura 3.6 mostra as medidas ds (veja a Tabela B.6) feitas ao longo do dj 215 de 1999 em Campo Grande: esse foi um dia inteiro de céu sem nuvens mas com fumaça de queimadas. Pode-se converter essas taxas de contagens em unidade de $Wm^{-2}nm^{-1}$ através dos fatores de conversão para medidas ds que estão listados na Tabela B.8.

O método de Langley independe da unidade em que a radiação foi medida. Aplicado o método às taxas de contagens no turno da manhã e da tarde, obtêm-se um conjunto de valores para a espessura óptica atmosférica (τ_{at}) e para o valor extrapolado que corresponde à irradiância no topo da atmosfera. As Tabelas D.2A,B,C apresentam os valores de τ_{at} por turno ao longo da campanha e as Figuras 3.7a,b , 3.8a,b e 3.9a,b exibem esses valores. Dos 3 sítios o que apresenta os maiores valores e também as maiores variações em τ_{at} é o de Campo Grande seguido por La Paz e Natal, sendo que esses dois últimos se assemelham mais entre si do que com os resultados do primeiro. As medidas em Campo Grande contaram com condições meteorológicas estáveis com a maioria dos dias com céu sem nebulosidade: durante toda a campanha houve observação da cobertura de nuvens durante as medidas nesse sítio. A Fig. 3.6 mostra um exemplo de taxas de contagem para um dia de céu sem

cobertura. Por outro lado, em La Paz e em Natal não houve observação das condições de cobertura. Em Natal, principalmente, sabe-se a partir de relatórios meteorológicos que houve vários dias chuvosos no período da campanha.

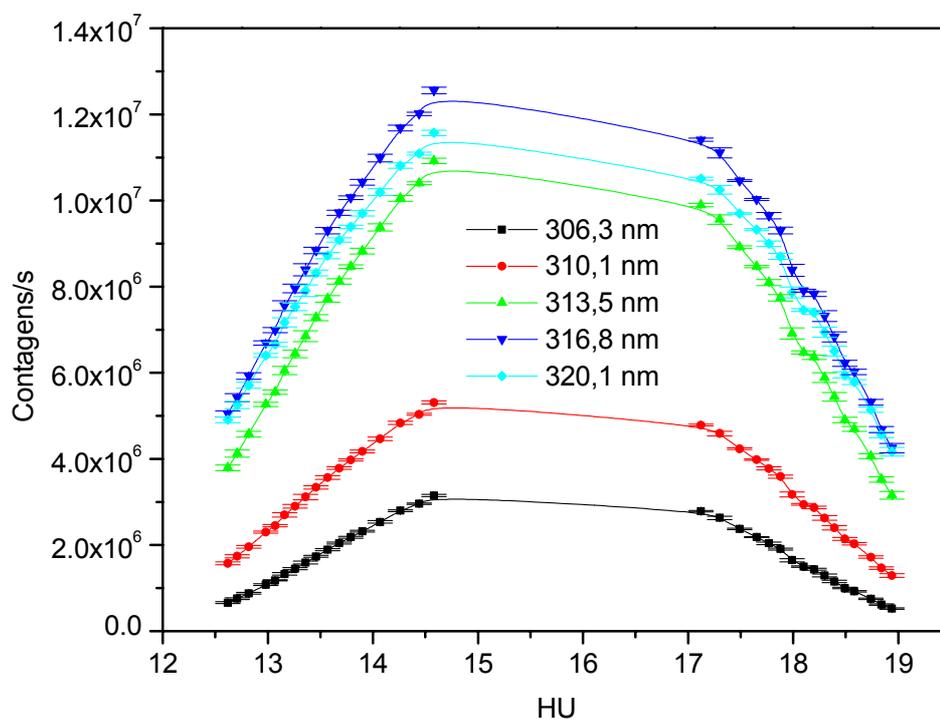
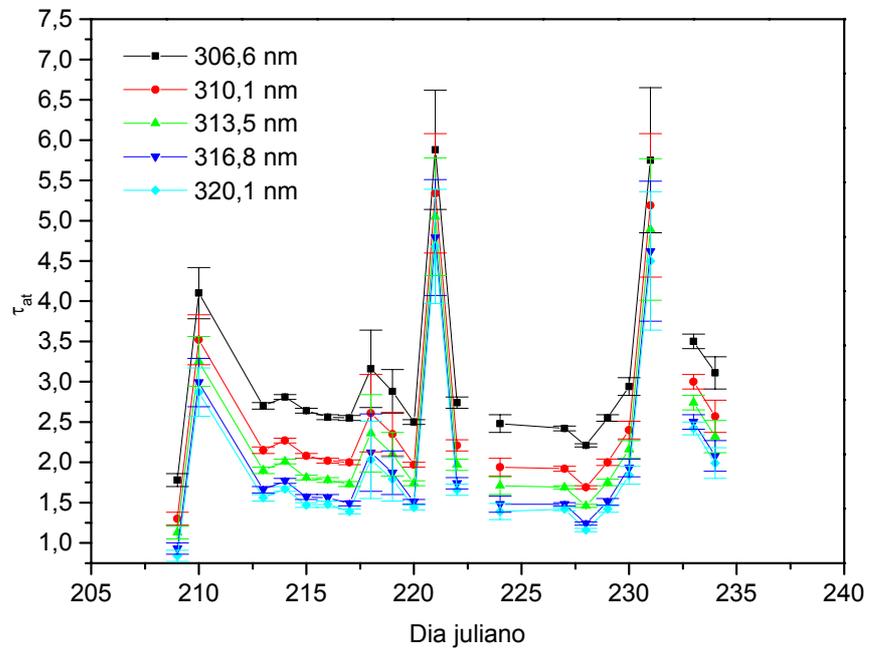
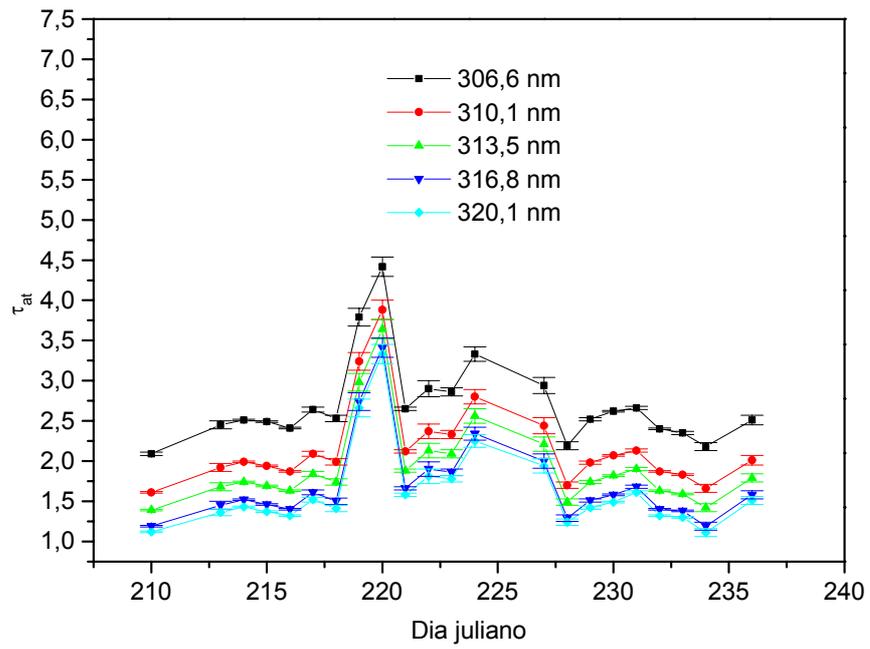


Fig. 3.6 - Medidas ds em taxas de contagens feitas em Campo Grande no dj 215 de 1999.



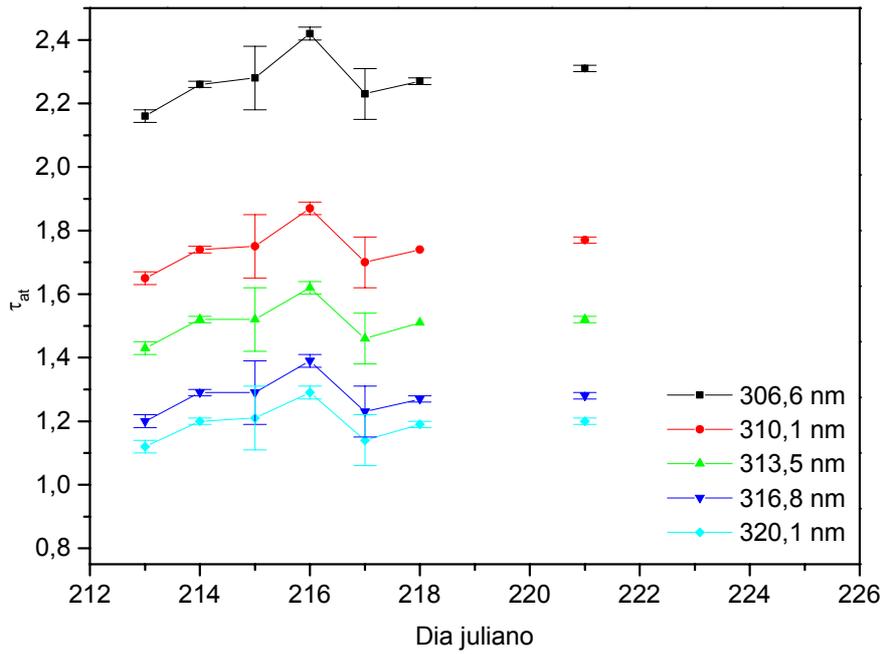


Fig. 3.8a - τ_{at} para as manhãs de Natal durante a campanha.

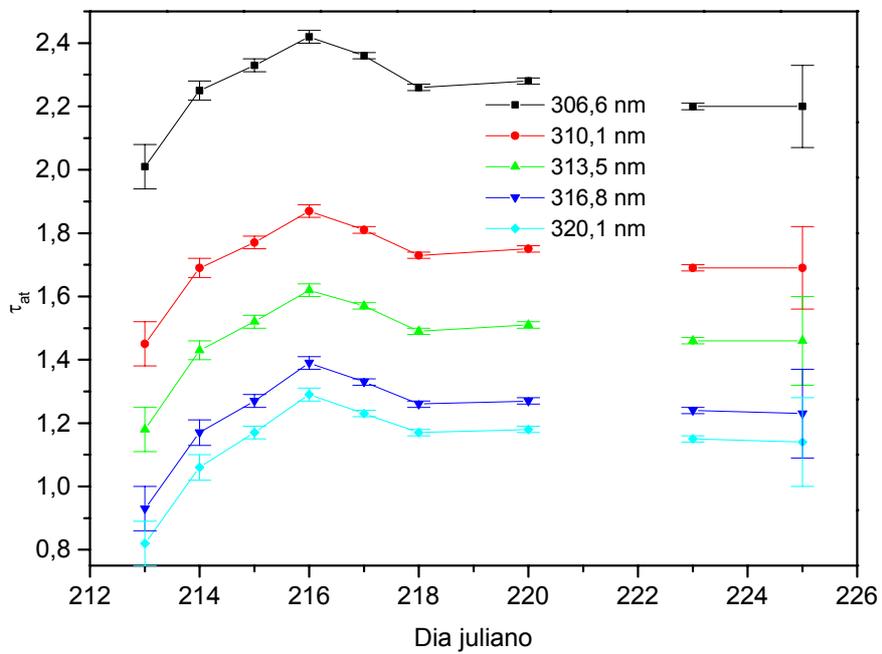


Fig. 3.8b - τ_{at} para as tardes de Natal durante a campanha.

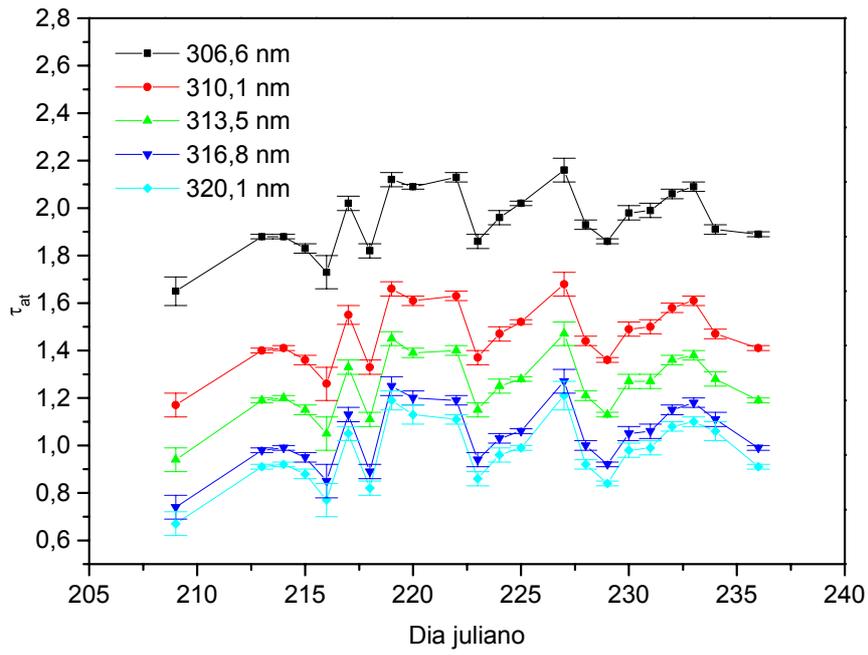


Fig. 3.9a - τ_{at} para as manhãs de La Paz durante a campanha.

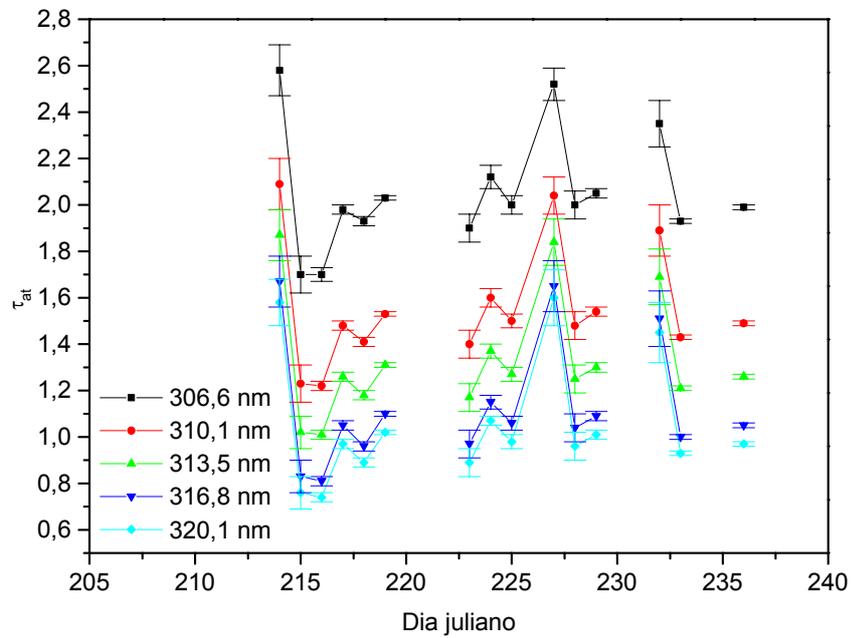


Fig. 3.9b - τ_{at} para as tardes de La Paz durante a campanha.

3.1.3 Espessura Óptica Rayleigh

A eq. (1.9) fornece o valor da espessura óptica Rayleigh (τ_R). Além de λ , a principal fonte de variação em τ_R está na pressão atmosférica. Para os 3 sítios envolvidos na campanha adotam-se os valores de pressão mostrados na Tabela 3.2. Os valores de τ_R para os 3 sítios e em todos os comprimentos de onda das medidas ds do Brewer estão apresentados na Tabela D.3, enquanto a Fig. 3.10 mostra esses valores.

TABELA 3.2: PRESSÃO ATMOSFÉRICA NOS 3 SÍTIOS DA CAMPANHA

Local	Pressão atmosférica (hPa) $\pm 1\%$
Campo Grande	960
Natal	1000
La Paz	660

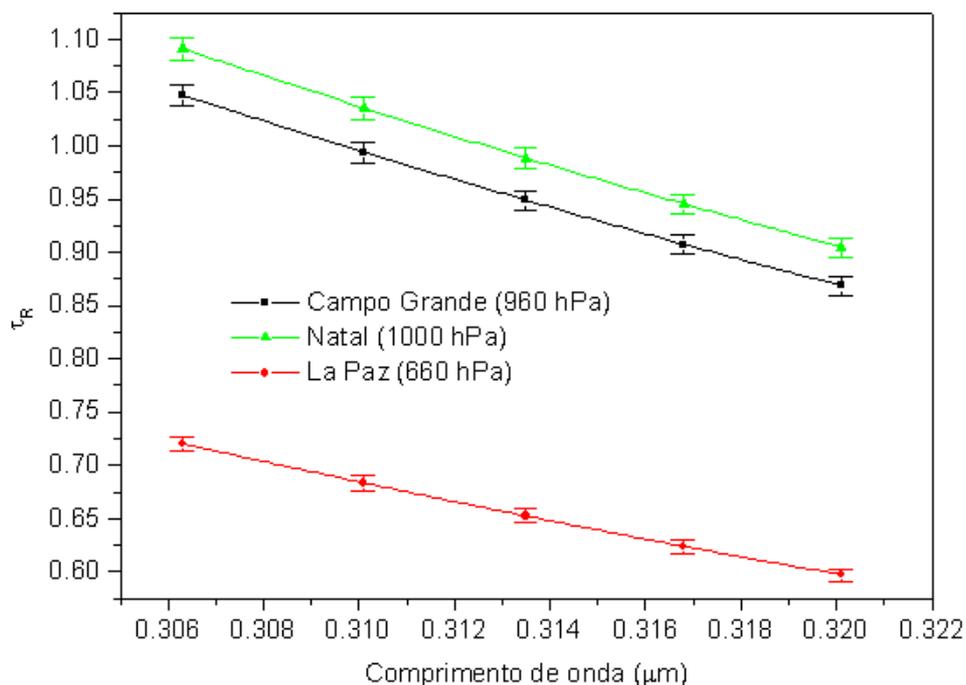


Fig. 3.10 - Espessura óptica Rayleigh nos 3 sítios da campanha.

3.1.4 Espessura Óptica de Aerossóis

Uma vez que já foram calculados todos os valores de espessura óptica indicados no lado direito da equação (1.11), agora é possível calcular os valores de espessura óptica de aerossóis, que é o principal objetivo deste trabalho.

De acordo com a eq. (1.11) a espessura óptica de aerossóis é a diferença entre a espessura óptica atmosférica e a espessura óptica dos gases atmosféricos:

$$\tau_{ae} = \tau_{at} - (\tau_{O_3} + \tau_{SO_2} + \tau_R).$$

O termo referente a τ_{NO_2} não está presente desde que o NO_2 não foi medido em nenhum dos 3 sítios da campanha. Isso não resulta em um erro considerável uma vez que a quantidade de NO_2 na atmosfera é muito menor que a de O_3 e é comparável à de SO_2 , embora a seção de choque de absorção desse gás traço seja maior do que a do O_3 e do SO_2 em parte da faixa do UV-B (Fig. 1.4). Para cada turno de dia da campanha e em cada sítio foi obtido um conjunto de valores de espessuras ópticas atmosférica, de ozônio, de SO_2 , Rayleigh e aerossóis. Como exemplo pode-se ver na Figura 3.17 as espessuras ópticas para a manhã do dj 215 de 1999 em Campo Grande: nota-se que a contribuição do SO_2 é, na prática, desprezível, como seria a do NO_2 também. As Tabelas D.4A,B,C apresentam os valores de τ_{ae} para os turnos da manhã e tarde nos 3 sítios da campanha, enquanto que as Figuras 3.11a,b, 3.12a,b e 3.13a,b mostram esses valores. A incerteza no valor de τ_{ae} (Knoll, 1979) é igual a

$$\delta_{ae} = (\delta_{at}^2 + \delta_{O_3}^2 + \delta_{SO_2}^2 + \delta_R^2)^{0,5}. \quad (3.3)$$

A Tabela 3.3 apresenta os valores médios mensais de τ_{ae} por turno e sítio da campanha. O sítio com maiores valores de τ_{ae} , correspondendo ao mais poluído, é Campo Grande, seguido de La Paz e depois Natal. O desvio padrão dos valores médios é uma medida do quanto varia τ_{ae} durante a campanha. Observam-se os maiores valores de desvio padrão e de τ_{ae} no turno da tarde nos 3 sítios.

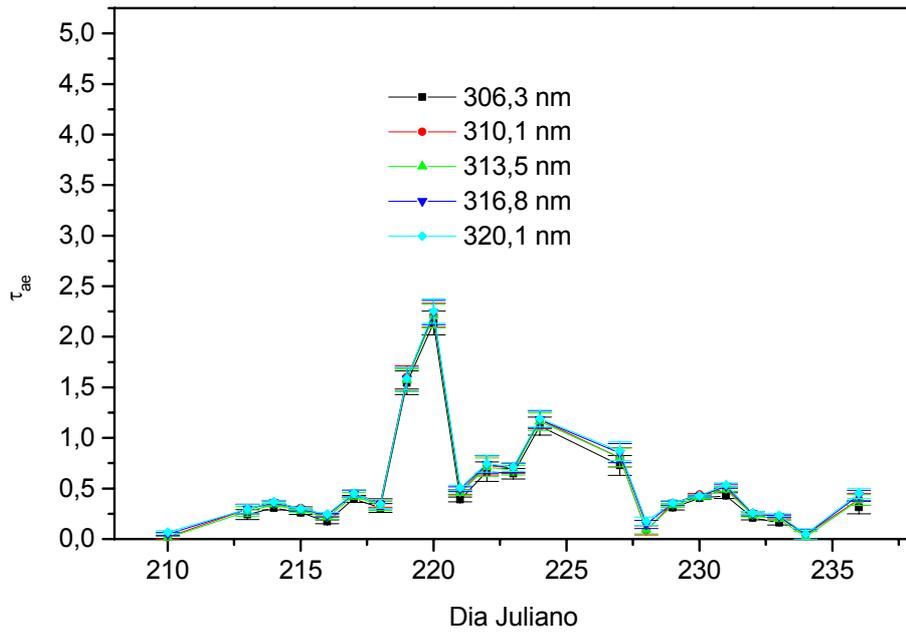


Fig. 3.11a - τ_{ae} para as manhãs de Campo Grande durante a campanha.

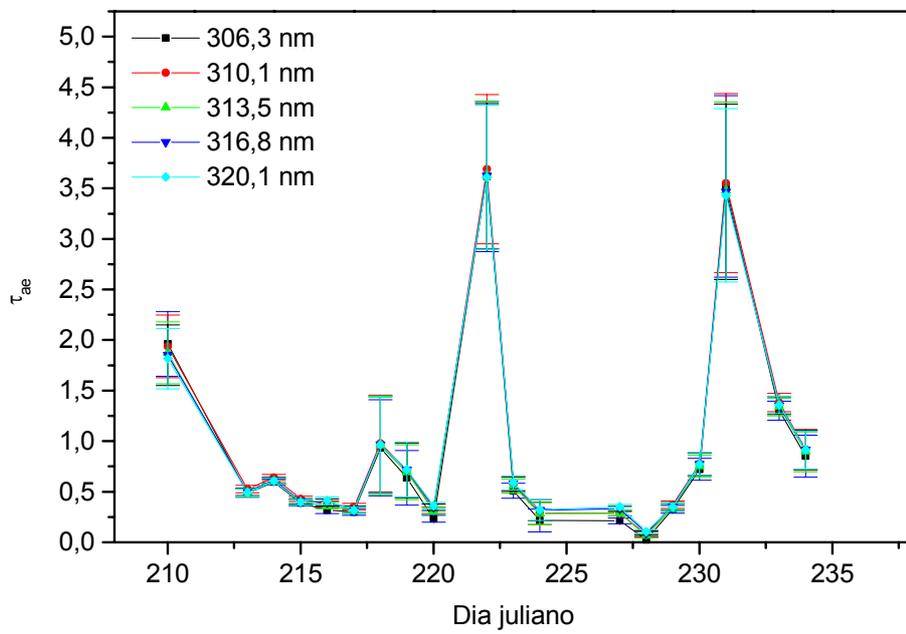


Fig. 3.11b - τ_{ae} para as tardes de Campo Grande durante a campanha.

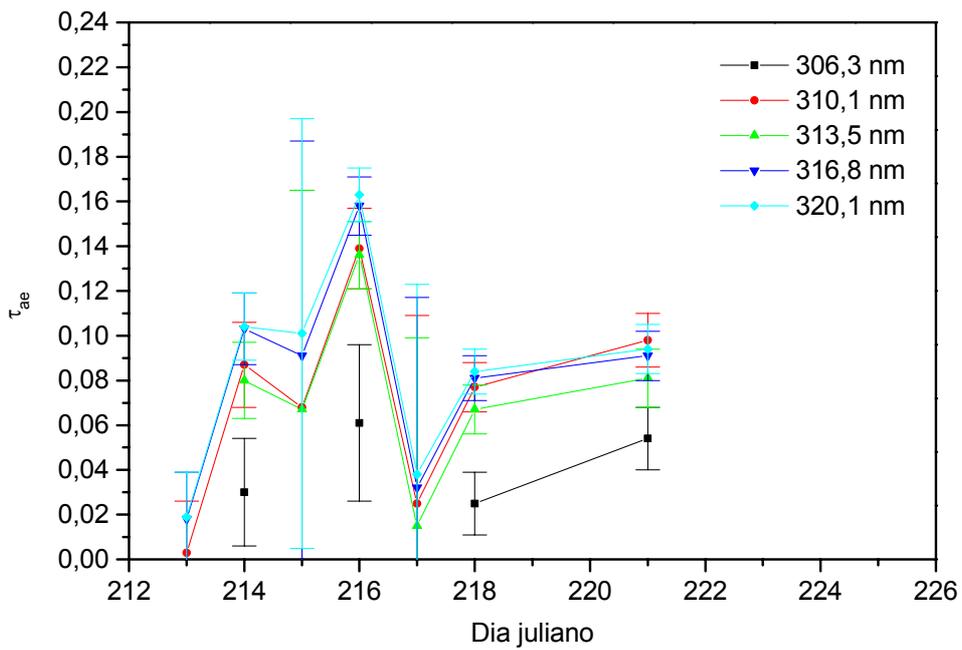


Fig. 3.12a - τ_{ae} para as manhãs de Natal durante a campanha.

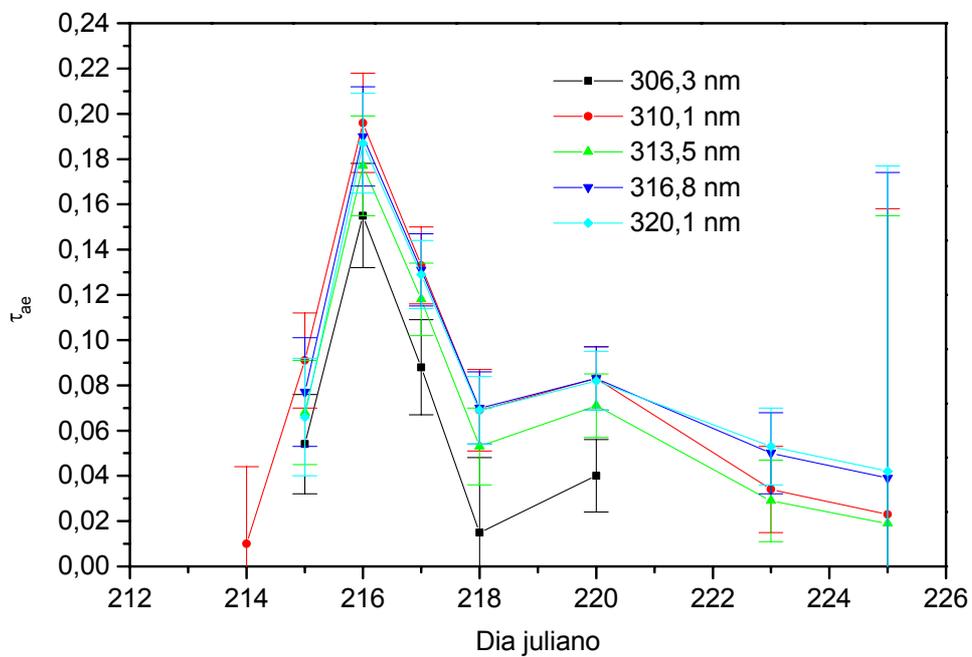


Fig. 3.12b - τ_{ae} para as tardes de Natal durante a campanha.

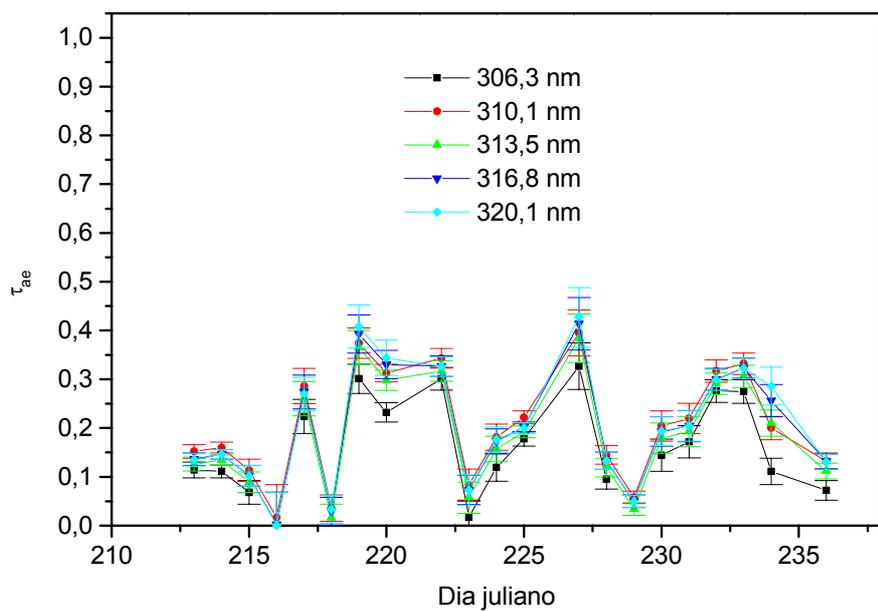


Fig. 3.13a - τ_{ae} para as manhãs de La Paz durante a campanha.

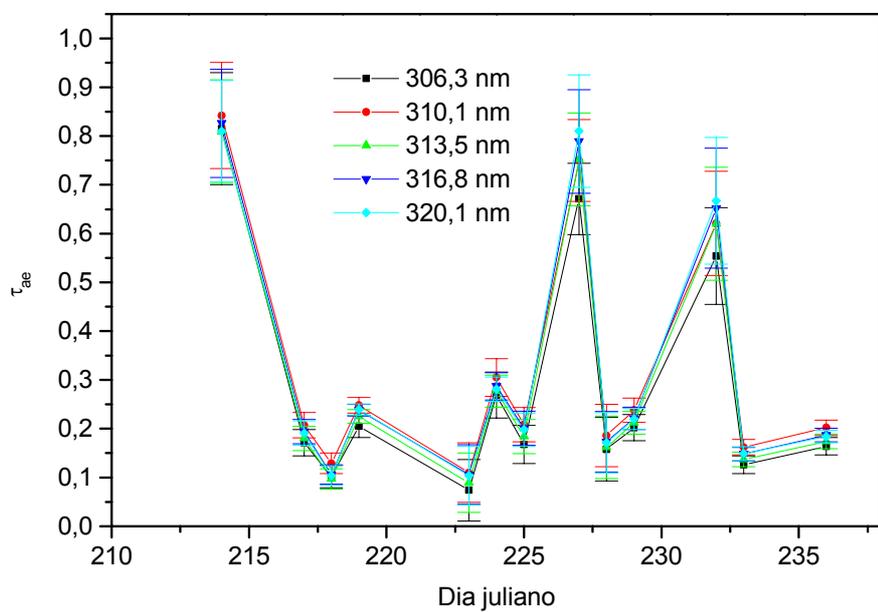


Fig. 3.13b - τ_{ae} para as tardes de La Paz durante a campanha.

Nas Figuras 3.14a,b , 3.15a,b e 3.16a,b são mostrados os valores de τ_{ae} em função de λ para os turnos da manhã e tarde nos 3 sítios da campanha.

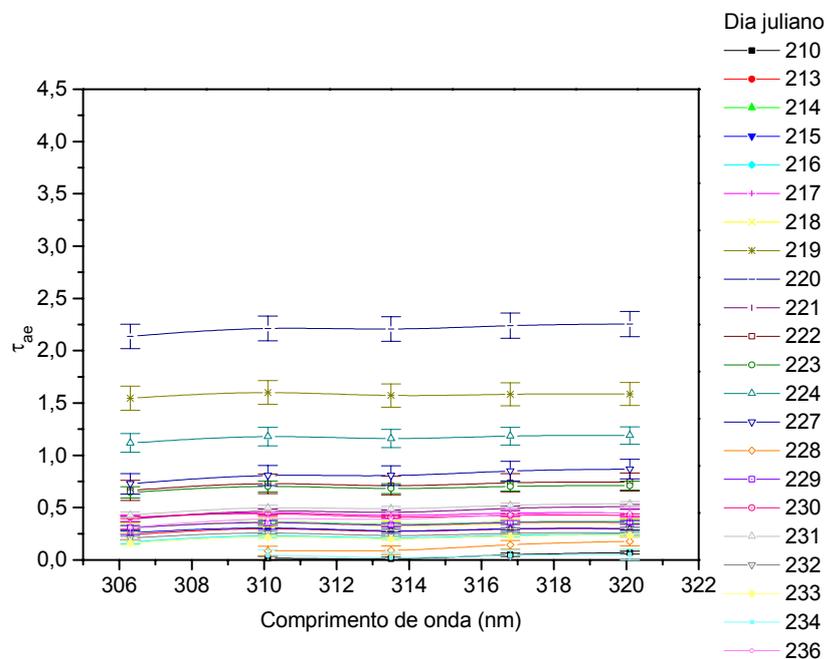


Fig. 3.14a - τ_{ae} pela manhã em Campo Grande em função de λ .

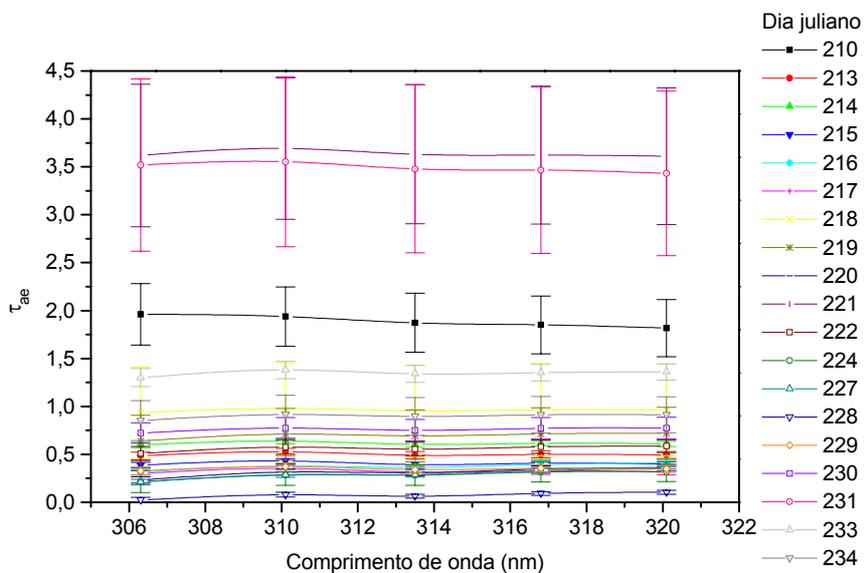
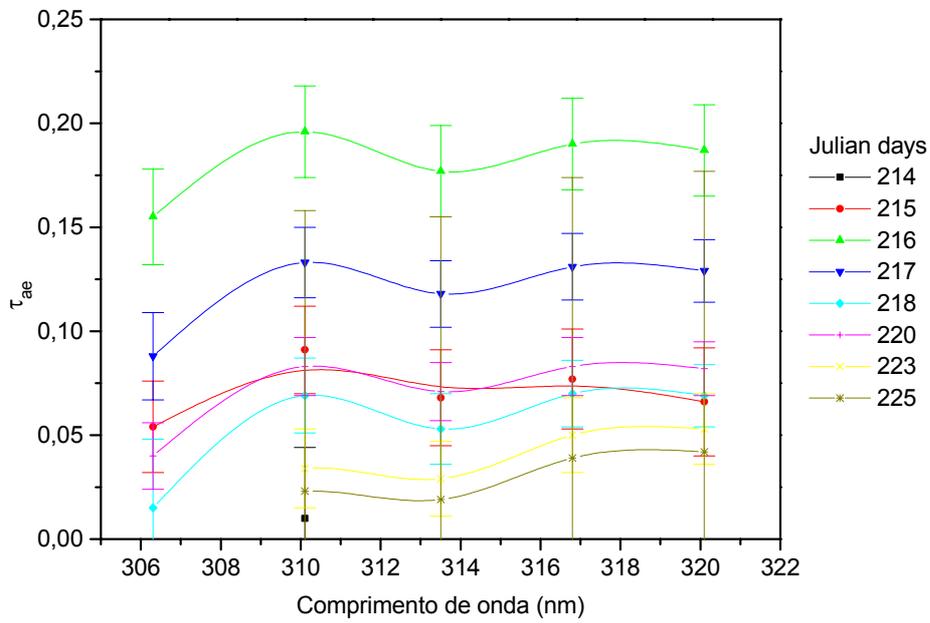
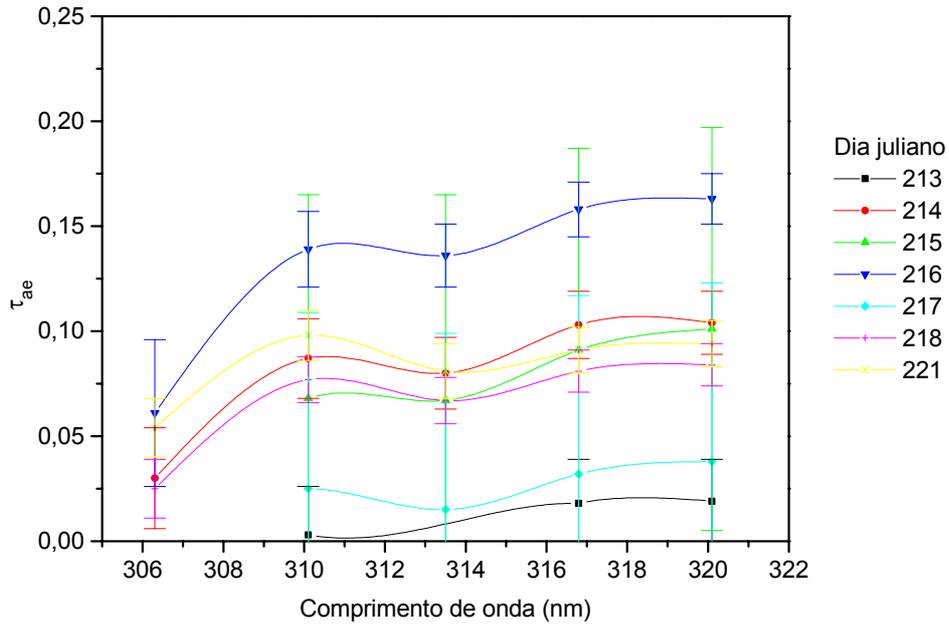


Fig. 3.14b - τ_{ae} à tarde em Campo Grande em função de λ .



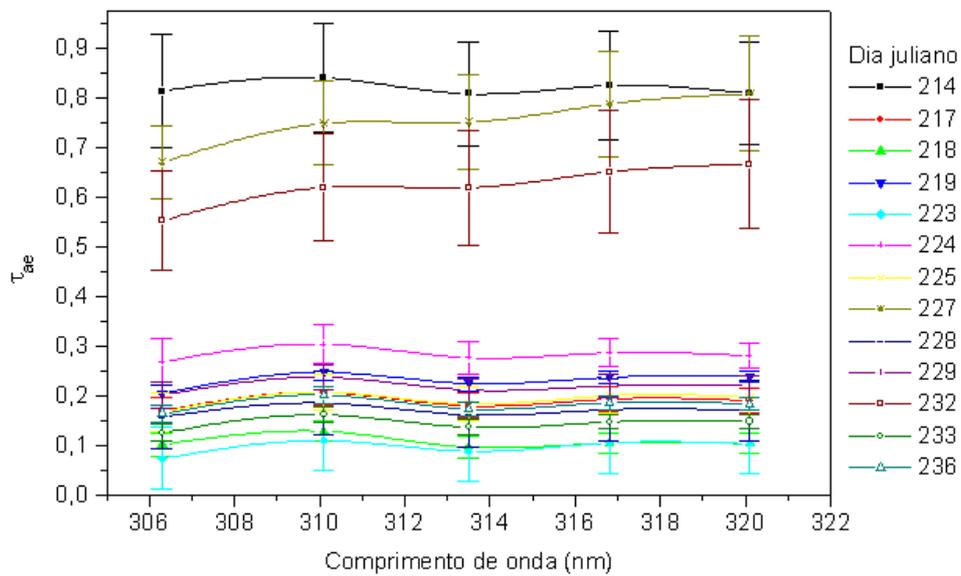
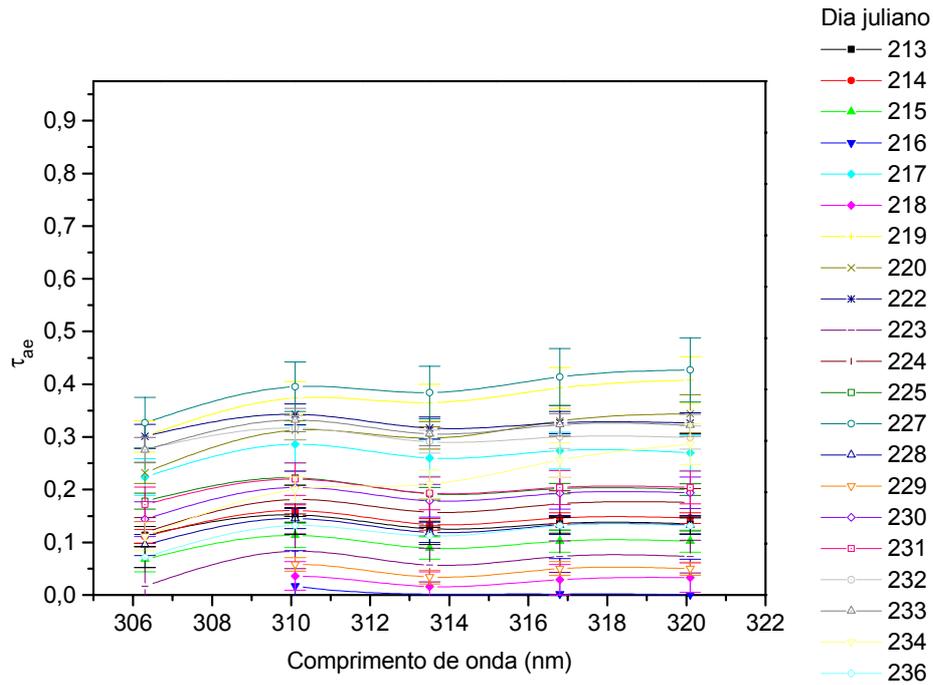


TABELA 3.3 - VALORES MÉDIOS MENSAIS DE τ_{ae} POR TURNO PARA A CAMPANHA

λ (nm)	τ_{ae}					
	Campo Grande		Natal		La Paz	
	m	t	m	t	m	t
306,3	0,57 ± 0,52	0,90 ± 1,04	0,04 ± 0,02	0,07 ± 0,05	0,17 ± 0,09	0,28 ± 0,24
310,1	0,62 ± 0,52	0,96 ± 1,04	0,07 ± 0,05	0,08 ± 0,06	0,20 ± 0,11	0,32 ± 0,25
313,5	0,61 ± 0,52	0,93 ± 1,02	0,07 ± 0,04	0,08 ± 0,05	0,19 ± 0,11	0,30 ± 0,25
316,8	0,63 ± 0,52	0,94 ± 1,01	0,08 ± 0,05	0,09 ± 0,05	0,20 ± 0,12	0,32 ± 0,26
320,1	0,64 ± 0,52	0,94 ± 1,00	0,09 ± 0,05	0,09 ± 0,05	0,20 ± 0,12	0,32 ± 0,26

As Figuras 3.7 e 3.11 mostram que há uma modulação dos valores de τ_{at} devido aos de τ_{ae} , sendo que estes representam uma fração significativa de τ_{at} para Campo Grande. No caso das outras duas localidades essa modulação já não é visível como mostram as Figuras 3.8, 3.9, 3.12 e 3.13. Por outro lado, elevados ou não, os valores de τ_{ae} são bastante variáveis como mostram as Figuras 3.11, 3.12 e 3.13.

As medidas ds em Natal para a determinação das espessuras ópticas foram prejudicadas pelas chuvas que ocorreram lá no período da campanha. Por isso, há menos valores de espessuras ópticas em Natal do que nos outros dois sítios.

Nota-se nas Figuras 3.14 a 3.16 que os valores de τ_{ae} aumentam com o comprimento de onda λ , o que, em princípio, pareceria uma violação da lei de Angstrom (Angstrom, 1961, 1964). Contudo, alterações no comportamento de τ_{ae} em relação a λ nas faixas de radiação do UV-A e visível tem sido observadas em outros trabalhos (Bridgman, 1978; Cachorro et al., 1989; Cachorro et al., 1996; Jacovides et al., 2000). As médias mensais na Tabela 3.3 também evidenciam esse comportamento de τ_{ae} .

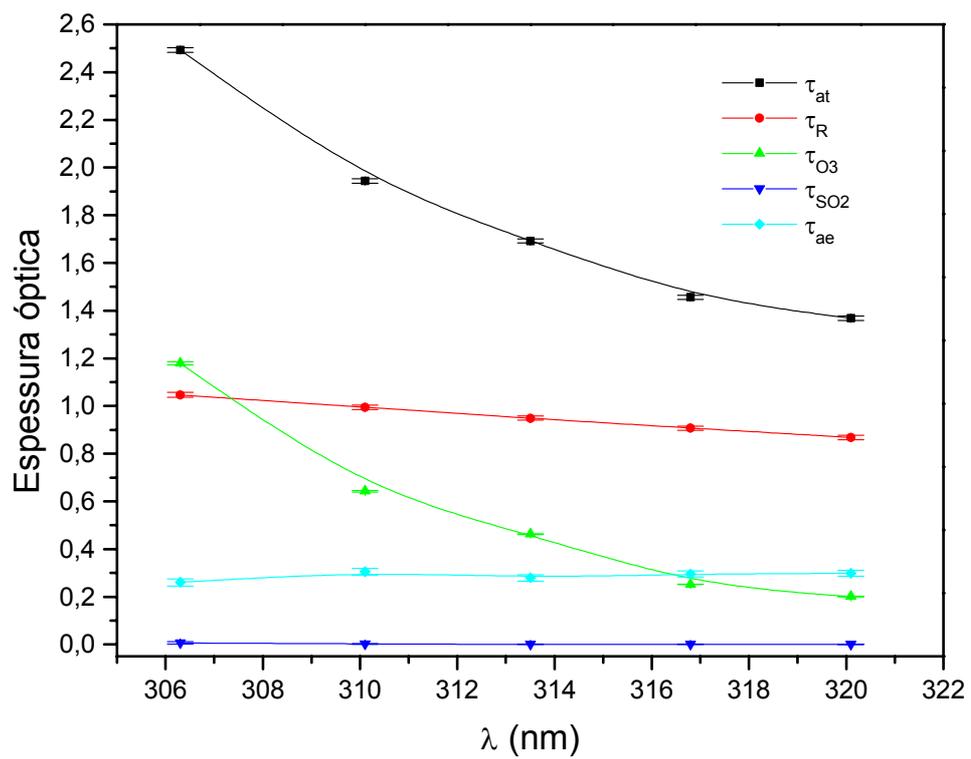


Fig. 3.17- Espessuras ópticas na manhã do dia 215 de 1999 em Campo Grande.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

Os dois objetivos principais deste trabalho são a determinação da espessura óptica de aerossóis em sítios diferenciados e o desenvolvimento de uma rotina de previsão do índice UV-B. Esses objetivos foram alcançados.

O mês de agosto é um dos meses em que ocorre a prática de queimadas no cerrado brasileiro. Grandes quantidades de aerossóis são emitidos para a atmosfera, continuamente, dia após dia como resultado das queimadas. Com a escassez de chuvas, os mecanismos de dispersão dos aerossóis não conseguem fazê-lo de forma rápida o suficiente, o que resulta em uma grande quantidade de material em suspensão. Campo Grande é uma cidade de porte médio com economia baseada na atividade rural. Como ela se encontra na região do cerrado, sofre anualmente os efeitos das queimadas no seu meio ambiente. Por outro lado, cidades como Natal e La Paz não experimentam esse mesmo evento. Natal é uma cidade de porte médio da costa atlântica brasileira que não possui grandes fontes de poluição, ou emissores de aerossóis além do mar. La Paz, por sua vez, é uma cidade de maior porte que as outras duas e apresenta poluição atmosférica proveniente da queima de combustível fóssil. Conforme mostram os resultados da campanha de medição de τ_{ae} , Campo Grande apresenta espessuras maiores que La Paz, que apresenta valores maiores que Natal. Veja na Tabela 3.3 as médias mensais. Isso quer dizer que no período da campanha Campo Grande foi mais poluída que La Paz, e esta mais que Natal.

Outro aspecto que certamente indica o quanto a atmosfera de cada um dos 3 sítios varia é o desvio padrão de τ_{ae} . As queimadas ocorrem ao longo do dia de forma desordenada, injetando aerossóis para a atmosfera em maior ou menor quantidade sem se homogeneizarem rapidamente com a atmosfera. Por outro lado, em uma cidade como La Paz a emissão de aerossóis é modulada pelo tráfego de veículos, o que, sem dúvida, é um processo menos

desordenado que a ocorrência dos focos de queimada na região de Campo Grande. No caso de Natal, a principal fonte de aerossóis é o mar com uma contribuição uniforme ao longo do dia. Pensando dessa forma, seria natural esperar que as medidas de τ_{ae} tivessem uma dispersão maior em Campo Grande, depois em La Paz e por fim em Natal. Os desvios padrão nas Figuras 3.14, 3.15 e 3.16 indicam exatamente essa ordem.

Foi observado em Campo Grande e La Paz uma tendência de valores de τ_{ae} maiores à tarde em relação aos valores matinais. Nesses dois sítios o montante de aerossóis aumentaria ao longo do dia em função de atividades urbanas, como o tráfego de veículos em La Paz e da ocorrência de queimadas (por combustão espontânea da vegetação ressecada exposta ao Sol, ou provocada com o intuito de limpar áreas para o plantio) em Campo Grande. Natal, que não apresenta um tráfego de veículos tão intenso quanto o de La Paz e muito menos a prática de queimadas, mostra valores de τ_{ae} similares entre os turnos da manhã e da tarde.

Os valores de τ_{ae} na faixa do UV-B mostram uma elevação à medida que o comprimento de onda também aumenta. Esse é um resultado muito interessante uma vez que a lei de Angstrom prevê o contrário.

O modelo de previsão do índice UV-B mostrou resultados coerentes com os dados experimentais. Como pode ser visto na Figura A.3 os valores médios mensais de previsão acompanharam a variação sazonal da irradiância UV-B nos 3 sítios de referência. Mesmo o caso de São José dos Campos, em que os valores experimentais de Cachoeira Paulista é que foram utilizados para comparação com a previsão, não apresentou divergências perceptíveis em comparação com o comportamento das outras duas estações.

Os resultados da previsão diária do índice UV-B mostram que o modelo de previsão de índice UV-B depende diretamente da previsão de cobertura de nuvens feita pelo modelo Eta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Arurl, S.; Rasas, M.; Al-Jamal, K.; Shaban, N. An assessment of global ultraviolet solar radiation in the range (0.290 – 0.385 μm) in Kuwait. **Solar Energy**, v. 41, n. 2, p. 159-162, 1988.
- Angstrom, A. Techniques of determining the turbidity of the atmosphere. **Tellus**, v. 13, n. 2, p. 214-223, 1961.
- Angstrom, A. The parameters of atmospheric turbidity, **Tellus**, v. 16, n. 1, p. 64-75, 1964
- Bais, A. F. Absolute spectral measurements of direct solar ultraviolet irradiance with Brewer spectrophotometer. **Applied Optics**, v. 36, n. 21, p. 5199-5204, 1997.
- Begun, Z. N. Scattering of solar radiation by aerosol particulates in the atmosphere: a theoretical approach validated with pre-index. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 60, p. 1751-1754, 1998.
- Bernhard, G.; Mayer, B.; Seckmeyer, G. Measurements of spectral solar uv irradiance in tropical Australia. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. D7, p. 8719-8730, Apr. 1997.
- Black, T. L. The new nmc mesoscale eta model: description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, v. 9, p. 265-278, June, 1994.
- Blumthaler, M.; Ambach, W. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine regions. **Science**, v. 248, p. 206-208, Apr. 1990.
- Blumthaler, M.; Ambach, W.; Salzgeber, M. Effects of cloudiness on global and diffuse uv irradiance in a high mountain area. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 50, p. 23-30, 1994.

Brasseur, G.; Solomon, S. **Aeronomy of the middle atmosphere**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984. 459p.

Brewer, A. W. A replacement for the dobson spectrophotometer?. **Pure and Applied Geophysics**, v. 106-108, p. 919-927, 1973.

Bridgman, H. A. Direct visible spectra and aerosol optical depths at urban and rural locations during the summer of 1975 at Milwaukee. **Solar Energy**, v. 21, p. 139-148, 1978.

Cachorro, V. E.; González, M. J.; de Frutos, A. M.; Casanova, J. L. Fitting Angstrom's formula to spectrally resolved aerosol optical thickness. **Atmospheric Environment**, v. 23, n. 1, p. 265-270, 1989.

Cachorro, V. E.; Durán, P.; de Frutos, A. M. Retrieval of vertical ozone content using the Chappuis band with high spectral resolution solar radiation measurements. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 23, p. 3325-3328, Nov. 1996.

Carvalho, F.; Henriques, D. Use of brewer ozone spectrophotometer for aerosol optical depth measurements on ultraviolet region. **Advances in Space Research**, v. 25, n. 5, p. 997-1006, 2000.

Cebula, R. P.; Thuillier, G. O. VanHoosier, M. E.; Hilsenrath, E.; Herse, M.; Brueckner, G. E.; Simon, P. C. Observations of the solar irradiance in the 200-350 nm interval during the ATLAS-1 mission: a comparison among three sets of measurements – SSBUV, SOLSPEC, and SUSIM. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 17, p. 2289-2292, Aug. 15, 1996.

Cebula, R. P.; Deland, M. T.; Hilsenrath, E. NOAA 11 solar backscattered ultraviolet, model 2 (sbuv/2) instrument solar spectral irradiance measurements in 1989-1994. 1. Observations and long-term calibration. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D13, p. 16235-16249, July 1998.

- Chapman, S. On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere. **Philosophical Magazine**, v. 10, p. 369-383, 1930.
- Chandrasekhar, S. **Radiative transfer**. New York: Dover Publications, 1960. 413p.
- Coulson, K. L. **Solar and terrestrial radiation: methods and measurements**. New York: Academic, 1975. 322p.
- Coulson, K. L. **Polarization and intensity of light in the atmosphere**. Hampton: A. Deepak, 1988. 596p.
- Council on Scientific Affairs (CSA). Harmful effects of ultraviolet radiation. **JAMA**, v. 262, n. 3, p. 380-384, July, 1989.
- Dahlback, A.; Henriksen, T.; Larsen, S. H. H.; Stamnes, K. Biological uv-doses and the effect of na ozone layer depletion. **Photochemistry and Photobiology**, v. 49, n. 5, p. 621 - 625, 1989.
- Dahlback, A; Stamnes, K A new spherical model for computing the radiation field available for photolysis and heating at twilight. **Planetary and Space Science**, v. 39, n. 5, p. 671-683, 1991.
- Davidson, J. A.; Cantrell, C. A.; McDaniel, A. H.; Shetter, R. E.; Madronich, S.; Calvert, J. G. Visible-ultraviolet absorption cross sections for NO₂ as a function of temperature. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. D6, p. 7105-7112, June 1988.
- Deland, M. T.; Cebula, R. P. Noaa 11 solar backscatter ultraviolet, model 2 (sbuv/2) instrument solar spectral irradiance measurements in 1989-1994. 2.Results, validation, and comparisons. **Journal of Geophysical Reseach**, v. 103, n. D13, p. 16251-16273, July 1998.
- Dias, S. B.; Frederick, J. E.; Lucas, T.; Booth, C. R.; Smolskaia, I. Solar ultraviolet irradiance at Terra del Fuego: comparison of measurements and

- calculations over a full annual cycle. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 4, p. 355-358, Feb. 1996.
- Dick, V. P. Applicability limits of Beer's law for dispersion media with a high concentration of particles. **Applied Optics**, v. 37, n. 21, p. 4998-5004, 1998.
- Dobson, G. M. B. A photoelectric spectrophotometer for measuring the amount of atmospheric ozone. **Proc. Phys. Soc.**, v. 43, p. 324-328, 1931.
- Dvorkin, A. Y.; Steinberger, E. H. Modeling the altitude effect on solar uv radiation. **Solar Energy**, v.65, n. 3, p. 181-187, 1999.
- Echer, E.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Sahai, Y.; Leme, N. P.; Silva, A. A.; Pavão, H., Schuch, N. J.; Zaratti, F.; Valderrama, V. A rede de detectores de radiação ultravioleta solar do inpe. [CD-ROM]. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 6., Rio de Janeiro, 15-19 ago. 1999a. **Anais**. Sessão de Poster: The Atmosphere and Lighting.
- Echer, E.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Silva, A. A. Estimativa da espessura óptica atmosférica no ultravioleta utilizando radiômetro de banda larga. [CD-ROM]. In: Reunião da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, 51^a, Porto Alegre, 11-16 jul. 1999b. **Anais**. Sessão de Poster, área Geociências.
- Eisberg, R.; Resnick, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Editora Campos, 1986. 928P.
- Elterman, L. **Atmospheric attenuation model, 1964, in the ultraviolet, visible, and infrared regions for altitudes to 50 km**. Massassussets: USAF, 1964.
- Environmental Protection Agency (EPA). **UV index**. [on line]. <<http://www.epa.gov/ozone/uvindex>>. April, 2000.
- Fernandes. O. **Aplicação dos dados de satélites meteorológicos na previsão**. São José dos Campos: CTA, 1979. 90p.

- Fioletov, V. E.; Griffioen, E.; Kerr, J. B.; Wardle, D. I. Influence of volcanic sulfur dioxide on spectral uv irradiance as measured by brewer spectrophotometers. **Geophysical Research Letters**, v. 25, n. 10, p. 1665-1668, May 1998.
- Frederick, J. E.; Lubin, D. The budget of biologically active ultraviolet radiation in the earth-atmosphere system. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. D4, p. 3825-3832, Apr. 1988.
- Gates, D. M. Spectral distribution of solar radiation at earth's surface. **Science**, v. 151, n. 3710, p. 523-529, Feb. 1966.
- Green, A. E. S. Attenuation by ozone and the earth's albedo in the middle ultraviolet. **Applied Optics**, v. 3, n. 2, p. 203-209, Feb. 1964.
- Green, A. E. S.; Sawada, T.; and Shettle, E. P. The middle ultraviolet reaching the ground. **Photochemistry and Photobiology**, v. 19, p. 251-259, 1974.
- Gruijl, F. R.; Van der Leun, J. C. Estimate of the wavelength dependency of ultraviolet carcinogenesis in humans and its relevance to the risk assessment of a stratospheric ozone depletion. **Health Physics**, v. 67, n. 4, p. 319-325, 1994.
- Heath, D. F. Observations of the intensity and variability of the near ultraviolet solar flux from the nimbus III satellite. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 26, p. 1157-1160, Sep. 1969.
- Herman, J. R.; Bhartia, P. K.; Torres, O.; Hsu, C.; Seftor, C.; Celarier, E. Global distribution of uv-absorbing aerosols from nimbus 7/toms data. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. D14, p. 16911-16922, July 1997.
- Hoeve, J. V. D. Eye lesion produced by light rich in ultraviolet rays. Senile cataract, senile degeneration of macula. **Am. J. Ophthalmology**, v. 3, p. 178-194, 1920.

Holle, R. L. Gate b-scale cloudiness from whole-sky cameras on four US ships. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 874-895, July, 1979.

Hood, L. L. Effects of short-term solar uv variability on the stratosphere. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 61, p. 45-51, 1999.

Hsu, N. C.; Herman, J. R.; Bhartia, P. K.; Seftor, C. J.; Torres, O.; Thompson, A. M.; Gleason, J. F.; Eck, T. F.; Holben, B. N. Detection of biomass burning smoke from toms measurements. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 7, p. 745-748, Apr. 1996.

International Radiation Protection Association (IRPA). Health issues of ultraviolet A sunbeds used for cosmetic purposes. **Health Physics**, v. 61, n. 2, p. 285 - 288, 1991.

International Geophysical Year (IGY) **Ozone**. New York, 1957. 244p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **População**. [online]. <www.ibge.gov.br>, julho 2000.

Jacovides, C. P.; Steven, M. D.; Asimakopovlos, D. N. Spectral solar irradiance and some optical properties for various polluted atmospheres. **Solar Energy**, v. 69, n. 3, p. 215-227, 2000.

Ji, Q.; Tsay, S. C.; Kaufman, Y. J.; Shaw, G. E. Scar-b ground based measurements of aerosol microphysics in Cuiaba. In: **SCAR-B Proceedings**, São José dos Campos: Transtec editorial, 1996, p. 79-83.

Kane, R. P. Ozone depletion, related uvb changes and increased skin cancer incidence. **International Journal of Climatology**, v. 18, p. 457-472, 1998.

Kane, R. P.; Sahai, Y. Latitude dependence of the quasibiennial oscillation and quasi-triennial oscillation characteristics of total ozone measured by toms. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D7, p. 8477-8490, Apr. 1998.

- Kaye, J. A.; Miller, T.C. The ATLAS series of shuttle missions. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 17, p. 2285-2288, Aug. 1996.
- Kasten, F.; Young, A. T. Revised optical air mass tables and approximation formula. **Applied Optics**, v.28, n. 22, p. 4735-4738, 1989.
- Kinzig, A. P.; Socolow, R. H.; Human impacts on the nitrogen cycle. **Physics Today**, p. 24-31, Nov. 1994.
- Kirchhoff, V. W. J. H. **Ozônio e radiação UV-B**. São José dos Campos: Transtec, 1995. 73p.
- Kirchhoff, V. W. J. H. **Perfil de ozônio em Natal**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998). Comunicação pessoal.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Nasser, N. A radiação uv-b e seus efeitos na pele humana. In: Seminário de Interações Geomédicas, Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 10-20, 2^o, 1996, **Anais**.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Sahai, Y.; Motta, A.G. First ozone profiles with ecc sondes at Natal (5.9° S, 35.2° W). **Geophysical Research Letters**, v. 8, n. 11, p. 1171-1172, Nov. 1981.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Barnes, R. A.; Torres, A. L. Ozone climatology at Natal, from in situ ozonesonde data. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, n. D6, p. 10899-10909, June 1991.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Casiccia, C. A. R.; Zamorano, F. The ozone hole over Punta Arenas, Chile. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. D7, p. 8945-8953, Apr. 1997.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Silva, A. A.; Costa, C.A; Leme, N. P.; Pavão, H. G.; Zaratti, F. Uv-b optical thickness observations of the atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. D3, 2963-2973, 2001.

Knoll, F. G. **Radiation detection and measurement**. New York: John Wiley and Sons, 1979. 833p.

Koller, L. R. **Ultraviolet radiation**. New York: John Wiley and Sons, 1965. 316p.

Kylling, A.; Bais, A. F.; Blumthaler, M.; Schreder, J.; Zerefos, C. S.; and Kosmidis, E. Effect of aerosols on solar uv irradiances during the photochemical activity and solar ultraviolet radiation campaign. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D20, p. 26051-26060, Oct. 1998.

Lean, J. Variations in the sun's radiative output. **Reviews of Geophysics**, v. 29, n. 4, p. 505-535, Nov. 1991.

Lenoble, J. **Radiative transfer in scattering and absorbing atmospheres: standard computational procedures**. Hampton: A. Deepak, 1985. 315p.

Lenoble, J. **Atmospheric radiative transfer**. Hampton: A. Deepak, 1993. 553p.

Liu, S. C.; McKenn, S. A.; Madronich, S. Effect of anthropogenic aerosols on biologically active ultraviolet radiation. **Geophysical Research Letters**, v. 18, n. 12, p. 2265-2268, 1991.

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

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

Lubin, D.; Jensen, E. H.; Gies, H. P. Global surface ultraviolet radiation climatology from TOMS and ERBE data. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D20, p. 26061-26091, Oct. 1998.

- Madronich, S. Photodissociation in the atmosphere -1. Actinic flux and the effects of ground reflection and clouds. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, n. D8, p. 9740-9752, Aug. 1987.
- Madronich, S. Implications of recent total atmospheric ozone measurements for biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface. **Geophysical Research Letters**, v. 19, n. 1, p. 37-40, Jan. 1992.
- Marenco, F.; Santacesaria, V.; Bais, A. F.; Balis, D.; Di Sarra, A.; Papayannis, A.; Zerefos, C. Optical properties of tropospheric aerosols determined by lidar and spectrophotometric measurements (photochemical activity and solar ultraviolet radiation campaign). **Applied Optics**, v. 36, n. 27, p. 6875-6886, 1997.
- Marquard, L. C.; Wagner, T; Platt, U. Improved air mass factor concepts for scattered radiation differential optical absorption spectroscopy of atmospheric species. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. D1, p. 1315-1327, Jan. 2000.
- Martins, J. V.; Hobbs, P. V.; Weiss, R. E.; Artaxo, P. Sphericity and morphology of smoke particles from biomass burning in Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24, p. 32051-32057, Dec. 1998.
- McCartiney, E. J. **Optics of the atmosphere – Scattering by molecules and particles**. New York: John Willey and Sons, 1976, 423p.
- McCullough, E. C.; Porter, W. P. Computing clear day solar radiation spectra for the terrestrial ecological environment. **Ecology**, v. 52, n. 6, p. 1008-1015, 1971.
- McGee, T. J.; Burris Jr, J. SO₂ absorption cross sections in the near uv. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 37, n. 2, p. 165-182, 1987.

- McKenzie, R. L.; Matthews, W. A.; Johnston, P. V. The relationship between erythemal uv and ozone, derived from spectral irradiance measurements. **Geophysical Research Letters**, v. 18, n. 12, p. 2269 - 2272, Dec. 1991.
- McKenzie, R. L.; Paulin, K. J. Effects of snow cover on uv irradiance and surface albedo: a case study. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D22, p. 28785-28792, Nov. 1998.
- McPeters, R. D.; Green, A. E. S. Photographic aureole measurements and the validity of aerosol single scattering. **Applied Optics**, v. 15, n. 10, p. 2457-2463, 1976.
- Mentall, J. E.; Frederick, J. E.; Herman, J. R. The solar irradiance from 200 to 330 nm. **Journal of Geophysical Research**, v. 86, n. C10, p. 9881-9884, Oct. 1981.
- Mézáros, E. **Global and regional changes in atmospheric composition**. Boca Raton: Lewis, 1993, 185p.
- Michelangeli, D. V.; Allen, M.; Yung, Y. L.; Shia, R. L.; Crisp, D.; Eluszkiewics, J. Enhancement of atmospheric radiation by an aerosol layer. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D1, p. 865-874, Jan. 1992.
- Molina, L. T.; Molina, M. J. Absolute absorption cross sections of ozone in the 185 to 350 nm wavelengths range. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, n. D13, p. 14501-14508, Dec. 1986.
- Naval Research Laboratory (NRL). **Satellite data**. [on line]. <http://www.solar.nrl.navy.mil/susim-uars.html>. Novembro, 1999.
- Parrish, J. A.; Jaenicke, K. F.; Anderson, R. R. Erythema and melanogenesis action spectra of normal human skin. **Photochemistry and Photobiology**, v. 36, p. 187 - 191, 1982.

Penket, S. A ultraviolet levels down not up. **Nature**, v. 341, p. 283-284, 28 Sep. 1989.

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

Plass, G. N.; Kattawar, G. W. Monte Carlo calculations of light scattering from clouds. **Applied Optics**, v. 7, n. 3, p. 415-419, Mar. 1968.

Reid, G. C. Solar variability and its implications for the human environment. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 61, p. 3-14, 1999.

Ries, G.; Heller, W.; Puchta, H.; Sandermann, H.; Seidlitz, H. K.; Hohn, B. Elevated uv-b radiation reduces genome stability in plants. **Nature**, v. 406, p. 98-101, 6 July 2000.

Ren, P. B. C.; Sigernes, F.; Gjessing, Y. Ground-based measurements of solar ultraviolet radiation in Tibet: preliminary results. **Geophysical Research Letters**, v. 24, n. 11, p. 1359-1362, June 1997.

Reuder, J.; Schwander, H. Aerosol effects on UV radiation in non urban regions. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. D4, p. 4065-4077, Feb. 1999.

Rottman, G. Solar ultraviolet irradiance and its temporal variation. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 61, p. 37-44, 1999.

Sahai, Y.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Leme, N. M. P.; Casiccia, C. Total ozone trends in the tropics. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. D15, p. 19823-19828, Aug. 2000.

Schaefer, J. V.; Day, J. A. **A field guide to the atmosphere**. Boston: Houghton Mifflin Company Boston, 1981. 359p.

Schafer, J.; Saxena, V. K.; Wenny, B. N.; Barnard, W.; De Luisi, J. J. Observed influence of clouds on ultraviolet-b radiation. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 19, p. 2625-2628, Sep. 1996.

Sci-Tec Instruments Inc. **Brewer MKIV spectrophotometer operator's manual**. Saskatoon: Sci-Tec Instruments, 1995. 50p.

Scotto, J.; Cotton, G.; Urbach, F.; Berger, D.; Fears, T. Biologically effective ultraviolet radiation : Surface measurement in the United States, 1974 to 1985. **Science**, v. 239, p. 762-764, Feb. 1988.

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

Seckmeyer, G.; Mayer, B.; Erb, R.; Bernhard, G. Uv-b in Germany higher in 1993 than in 1992. **Geophysical Research Letters**, v. 21, n. 7, p. 577-580, Apr. 1994.

Shettle, E. P.; Green A. E. S. Multiple scattering calculation of the middle ultraviolet reaching the ground. **Applied Optics**, v. 13, n. 7, p. 1567-1581, July 1974.

Silva, A. A.; Echer, E; Kirchhoff, V. W. J. H. Medidas da radiação uv-b difusa em banda larga e estreita, [CD-ROM]. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 6^o, Rio de Janeiro, 15-19 ago. 1999a. **Anais**. Sessão de Poster: The Atmosphere and Lightning.

Silva, A. A.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Echer, E. Variação sazonal da espessura óptica atmosférica para o uv-b obtida pelo método de Langley aplicado às medidas ds do espectrofotômetro Brewer. [CD-ROM]. In: Reunião da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, 51^a, Porto Alegre, 11-16 jul. 1999b. **Anais**. Sessão Poster, área Geociências.

- Silva, A. A.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Brewer spectrophotometer uv-b measurements for aerosol optical thickness determinations during biomass burning. [CD-ROM]. In: Stratospheric Proceedings and Their Role in Climate, Mar del Plata, 6-10 de novembro 2000, **Anais**. Sessão de Poster.
- Silva, A. A.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Costa, C. A. An experiment to determine the aerosol optical thickness in a biomass burning region in Brazil. In: 2000 Spring Meeting of the American Geophysical Union, Washington, May 1-3 2000. **Anais**. Washington: AGU, 2000a, p. S153.
- Silva, A. A.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Costa, C. A.; Pavão, H. G.; Zaratti, F. Special uv-b measurements at 3 different sites in South America to deduce ozone and optical thickness of the atmosphere. In: Atmospheric Ozone Symposium, Sapporo, July 3-4 2000. **Anais**. Sapporo; Hokkaido University, 2000b, p. 643-644.
- Sociedade Brasileira de Dermatologia (SBD). **Índice ultravioleta**. [on line]. <<http://www.sbd.org.br/uv/index.phtml>>. Julho, 2000
- Stamnes, K. The theory of multiple scattering of radiation in plane parallel atmospheres. **Rev. Geophysics**, v. 24, n. 2, p. 299-310, 1986.
- Stamnes, K.; Tsay, S.; Wiscombe, W.; Jayaweera, K. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. **Applied Optics**, v. 27, n. 12, p. 2502-2509, June 1988.
- Stair, R.; Ellis, H. T. The solar constant based on new spectra irradiance data from 310 to 530 nanometers. **Journal of Applied Meteorological**, v. 7, p. 635-644, Aug. 1968
- Summers, M. E. Vertical couplings. **Science**, v. 284, p. 1783-1784, June 1999.

- Taha, G.; Box, G. P.; New method to inferring total ozone and aerosol optical thickness from multispectral extinction measurements using eigenvalue analysis. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 20, p. 3085-3088, Oct. 1999.
- Tevini, M. **Uv-b radiation and ozone depletion - effects on humans, anomals, plants, microorganisms, and materials**. Boca Raton: Lewis, 1993. 255p.
- Teillet, P. M. Rayleigh optical depth comparisons from various sources. **Applied Optics**, v. 29, n. 13, p. 1897-1900, May 1990.
- Thekaekara, M. P.; Kruger, R.; Duncan, C. H. Solar irradiance measurements from a research aircraft. **Applied Optics**, v. 8, n. 8, p. 1713-1732, Aug. 1969.
- Trosnikov, I. V.; Nobre, C. A. Estimation of aerosol transport from biomass burning areas during the scar-b experiment. In: Kirchhoff, W. J. H., ed., **Scar-b Proceedings**, São José dos Campos: Transtec, 1996, p. 195-197.
- Twitty, J. T.; Weinman, J. A. Radiative properties of carbonaceous aerosols, **Journal of Applied Meteorology**, v. 10, p. 725-731, Aug. 1971.
- United States Air Force (USAF). **US standards atmosphere 1976**. Washington DC: USAF, 1976. 242p.
- Vis Manufacturing Company (VMC). **Sistema de processamento meteorológico modelo w-9000**. Philadelphia: Vis Manufacturing Company, 1999.
- Walker, J. C. G. **Evolution of the atmosphere**. New York: Macmillan, 1977, 329p.
- Warneck, P. **Chemistry of the natural atmosphere**. Boston: Academic, 1988, 770p.

- Whitten, R. C.; Prasad, S. S. **Ozone in the free atmosphere**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. 298p.
- World Health Organization (WHO). **Ultraviolet radiation**. Geneva: WHO, 1994. 353p. (Environmental Health Criteria 160).
- Wiscombe, W. J. Improve Mie scattering algorithms. **Applied Optics**, v. 19, n. 9, p. 1505-1509, 1980.
- Yamasoe, M. A.; Kaufman, Y. J.; Dubovnik, O.; Remer, L. A.; Holben, B. N.; Artaxo, p. retrieval of the real part of the refractive index of smoke particles from sun/sky measurements during scar-b. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24, p. 31893-31902, Dec. 1998.
- Yavorsky, B.; Detlaf, A. **Handbook of physics**. Moscow: Mir, 1980. 1135p.
- Young, A. T. Air mass and refraction. **Applied Optics**, v. 33, n. 6, p. 1108-1110, 1994.
- Zerefos, C. S.; Balis, D. S.; Bais, A. F. Variability of uv-b at four stations in Europe. **Geophysical Research Letters**, v. 24, n. 11, p. 1363-1366, June 1997.
- Zhao, Q.; Black, T. L.; Baldwin, M. E. Implementation of the cloud prediction scheme in the eta model at ncep. **Weather and Forecasting**, p. 697-712, Sep. 1997.

APÊNDICE A

O CÁLCULO DO ÍNDICE UV-B PARA O BRASIL

Com o objetivo de criar um modelo de previsão de índice UV-B foi desenvolvido o programa UVdiag versão 1.6. O UVdiag utiliza os resultados do modelo de Dahlback et al (seção 1.4.7) para estabelecer a dose UV-B ao meio-dia local (no período do meio-dia local ocorrem os maiores valores de irradiância quando se considera apenas o ASZ), em todo o território brasileiro considerando o mapa topográfico e a previsão da cobertura de nuvens feitas pelo modelo Eta. Todos os dias ao meio-dia local em São José dos Campos, a partir de um micro-computador ligado à rede, a rotina UVdiag.ftp de coleta de dados de previsão do modelo Eta é executada automaticamente. Via FTP são importados do centro de processamento de dados do CPTEC as previsões para a topografia, pressão atmosférica, cobertura de nuvens de baixa, média e alta altitude, cobertura média de nuvens, albedo de superfície e a precipitação em função da latitude e longitude a cada 0,40° (rede de 40 x 40 km) de 277,0° a 334,6° e de 50,2° sul a 12,6° norte (região da América Latina). Os arquivos importados são em número de 11, em formato binário e cada um correspondendo a um horário de 0 a 60 horas, a partir da 0 HU do dia corrente, a cada 6 horas. Aqueles correspondendo às 12, 18, 36 e 42 horas junto com os arquivos CIDADES.TXT e o UVDATA.INP são utilizados na execução do programa Uvdiag. Devido as longitudes das cidades brasileiras, esses 4 arquivos de entrada levam o UVdiag a resultados de previsão do índice UV-B para o dia corrente e o dia seguinte em torno do meio-dia local, e em especial na costa leste brasileira onde se encontram os maiores centros populacionais.

Na sua versão atual o UVdiag considera apenas os dados topográficos e da cobertura média de nuvens para gerar os seguintes arquivos de resultados: ARQUIVOBIN.DAT, ARQUIVODAT.DAT, dgyyyymmdd00+hh.dat, H1.DAT, A1.DAT, H2.DAT, A2.DAT, HB1.DAT, AB1.DAT, HB2.DAT, AB2.DAT, HB3.DAT, AB3.DAT, HB4.DAT, AB4.DAT. Uma vez criados, esses arquivos

são utilizados na confecção do mapa de campo da previsão do índice UV-B em todo o território nacional e na previsão para 196 cidades brasileiras com mais de 100000 habitantes diariamente.

Por outro lado, o UVdiag é um modelo, e como qualquer modelo carece de validação. A validação se dá pela comparação da previsão feita pelo UVdiag com valores de índice UV-B obtidos das medidas de dose UV-B realizadas pelo espectrofotômetro Brewer em 3 locais diferentes: Natal (5,01° S, 35,21° O, 30 m), Cachoeira Paulista (22,69° S, 45,01° O, 574 m) e Santa Maria (29,68° S, 53,81° O, 151 m). Todos os meses desde a elaboração do UVdiag os valores de taxa de dose UV-B contidos nos arquivos DUV (esses arquivos contem a taxa de dose UV-B ponderada pelo espectro de ação eritematoso em diversos horários ao longo de um dia) do Brewer tem sido usados para se obter o índice UV-B em torno do meio-dia local tomando-se a taxa de dose UV-B média no período de menos a mais uma hora em torno daquele horário. Essa taxa média é multiplicada pelo fator 0,036 (índice UV-B/mW/m²), resultando no valor de dose média ao meio-dia local em unidades de índice UV-B. O fator de conversão surge do fato de que 1 índice UV-B \Leftrightarrow 100 J/m² por hr \Leftrightarrow 27,78 mW/m² por hr. Uma vez que no modelo proposto os aerossóis não são levados em conta, os valores de índice UV-B previstos devem em geral ser superiores aos medidos.

A execução do modelo de previsão do índice UV-B requer a manipulação diária de um grande número de informações. O programa UVdiag versão 1.6 foi criado com o objetivo de agilizar a execução do modelo de previsão do índice UV-B. Ele mescla a previsão de taxa de dose UV do modelo de Dahlback et al com a correção da irradiância devido a altitude e a cobertura de nuvens, fornecendo diariamente a dose UV-B em escala de índice UV-B ao meio-dia local em todo território brasileiro dividido em quadrantes de 40 x 40 km e em 196 cidades brasileiras com mais de 100000 habitantes. O UVdiag necessita dos arquivos de entrada UVDATA.INP, CIDADES.TXT e dgyyyymmdd00+hh.BIN para ser executado. O arquivo UVDATA.INP contem

as taxas de dose UV calculadas pelo modelo de Dahlback et al para o ASZ de 0° a 90° a cada 5° para colunas de ozônio de 0 a 700 UD com perfil típico de uma atmosfera padrão. A Tabela A.1 mostra a listagem parcial do arquivo UVDATA.INP.

TABELA A.1 - LISTAGEM PARCIAL DO ARQUIVO UVDATA.INP

0				
.905893E+01	.900970E+01	.886277E+01	.862038E+01	.828632E+01
.786593E+01	.736613E+01	.679557E+01	.616463E+01	.548559E+01
.477272E+01	.404235E+01	.331290E+01	.260453E+01	.193834E+01
.133472E+01	.811710E+00	.389458E+00	.124875E+00	
5				
.617170E+01	.613218E+01	.601440E+01	.582076E+01	.555526E+01
.522349E+01	.483266E+01	.439161E+01	.391079E+01	.340227E+01
.287964E+01	.235797E+01	.185345E+01	.138294E+01	.962955E+00
.608122E+00	.329525E+00	.135937E+00	.376118E-01	
↓		↓		↓
270				
.363933E+00	.360389E+00	.349910E+00	.332945E+00	.310220E+00
.282706E+00	.251573E+00	.218135E+00	.183780E+00	.149899E+00
.117804E+00	.886470E-01	.633431E-01	.424997E-01	.263627E-01
.147838E-01	.722728E-02	.284464E-02	.732223E-03	
↓		↓		↓
695				
.120180E+00	.119088E+00	.115858E+00	.110624E+00	.103605E+00
.950896E-01	.854249E-01	.749971E-01	.642120E-01	.534732E-01
.431601E-01	.336070E-01	.250839E-01	.177816E-01	.118033E-01
.716475E-02	.380450E-02	.159436E-02	.399583E-03	
700				
.119256E+00	.118173E+00	.114971E+00	.109782E+00	.102824E+00
.943814E-01	.847991E-01	.744594E-01	.637642E-01	.531132E-01
.428824E-01	.334029E-01	.249425E-01	.176904E-01	.117495E-01
.713635E-02	.379151E-02	.158951E-02	.398298E-03	

O arquivo CIDADES.TXT contém estado, nome, latitude ($S < 0^\circ$, $N > 0^\circ$), longitude ($O < 0^\circ$, $L > 0^\circ$) e altitude das 196 cidades brasileiras com mais de 100000 habitantes em janeiro de 1997. A Tabela A.2 mostra a listagem parcial do arquivo CIDADES.TXT.

TABELA A.2 - LISTAGEM PARCIAL DO ARQUIVO CIDADES.TXT

```

Se,ARACAJU,-10.91,-37.07,4
Pa,BELÉM,-1.46,-48.50,10
MG,BELO_HORIZONTE,-19.92,-43.94,832
Rr,BOA_VISTA,2.82,-60.67,85
DF,BRASÍLIA,-15.78,-47.93,1171
MS,CAMPO_GRANDE,-20.44,-54.65,532
MT,CUIABÁ,-15.60,-56.10,176
Pr,CURITIBA,-25.43,-49.27,934
SC,FLORIANÓPOLIS,-27.6,-48.55,25
Ce,FORTALEZA,-3.72,-38.54,21
Go,GOIÂNIA,-16.68,-49.25,749
Pb,JOÃO_PESSOA,-7.12,-34.86,47
    ↓         ↓         ↓
Pr,LONDRINA,-23.31,-51.16,585
Go,LUZIÂNIA,-16.25,-47.95,930
RJ,MACAÉ,-22.37,-41.79,2
RJ,MAGÉ,-22.65,-43.04,5
Pa,MARABÁ,-5.37,-49.12,84
Ce,MARACANAU,-3.88,-38.63,40
SP,MARÍLIA,-22.21,-49.95,675
Pr,MARINGÁ,-23.43,-51.94,596
SP,MAUÁ,-23.67,-46.46,764
SP,MOGI_DAS_CRUZES,-23.52,-46.19,742
SP,MOJI_GUAÇU,-22.37,-46.94,591
MG,MONTES_CLAROS,-16.74,-43.86,648
RN,MOSSORÓ,-5.19,-37.34,16
    ↓         ↓         ↓
Ma,TIMON,-5.09,-42.84,69
MG,UBERABA,-19.75,-47.93,801
MG,UBERLÂNDIA,-18.92,-48.28,863
RS,URUGUAIANA,-29.75,-57.09,66
MT,VÁRZEA_GRANDE,-15.65,-56.13,190
RS,VIAMÃO,-30.08,-51.02,111
ES,VILA_VELHA,-20.33,-40.29,5
Ba,VITÓRIA_DA_CONQUISTA,-14.87,-40.84,923
RJ,VOLTA_REDONDA,-22.52,-44.1,390

```

O arquivo dgyyyyymmdd00+hh.BIN é um arquivo binário importado do CPTEC e contém as previsões do modelo Eta para a topografia, pressão atmosférica, cobertura de nuvens de baixa, média e alta altitude, cobertura média de nuvens, albedo de superfície e precipitação em função da latitude (de 277,0° L a 334,6° L) e da longitude (de 50,2° S a 12,6° N) numa rede de 40 x 40 km (0,4° x 0,4°). No nome desse arquivo yyyy representa o ano, mm o mês, dd o dia e hh o número de horas a frente da 0 HU do dia corrente - 00, 06, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54 e 60 horas. Esse arquivo está originalmente em formato binário, mas na Tabela A.3 pode-se vê-lo em formato ASCII: a conversão de binário para ASCII é feita por uma rotina do UVdiag.

TABELA A.3 - LISTAGEM PARCIAL DO ARQUIVO dg2000120100+12.DAT

LAT = LATITUDE (GRAUS)
 LONG = LONGITUDE (GRAUS)
 TOPO = ALTITUDE DE SUPERFÍCIE (m)
 PRES = PRESSÃO NA SUPERFÍCIE (mb)
 LWNV = FRAÇÃO DE NUVENS BAIXAS (DE 1013 A 642 mb)
 MDNV = FRAÇÃO DE NUVENS MÉDIAS (DE 642 A 350 mb)
 HINV = FRAÇÃO DE NUVENS ALTAS (DE 350 A 50 mb)
 CBNT = FRAÇÃO DE COBERTURA MÉDIA (DE 1013 A 50 mb)
 ALBE = ALBEDO DE SUPERFÍCIE
 PREC = PRECIPITAÇÃO (g/m2/dia)

DATA: 1/12/2000
 ARQUIVO: dg2000120100+12.DAT

LAT	LONG	TOPO	PRES	LWNV	MWNV	HINV	CBNT	ALBE	PREC
-50.20	-83.00	0.0	1000.2	0.025	0.000	0.000	0.096	0.060	0.0
-50.20	-82.60	0.0	999.8	0.016	0.000	0.000	0.061	0.060	0.0
	↓		↓		↓				
-29.40	-54.20	310.8	982.2	0.000	0.000	0.178	0.141	0.165	0.0
-29.40	-53.80	384.1	973.9	0.000	0.000	0.142	0.114	0.162	0.0
-29.40	-53.40	329.8	980.4	0.000	0.000	0.121	0.100	0.166	0.0
	↓		↓		↓				
-22.60	-45.40	1233.6	878.1	0.692	0.000	0.168	0.897	0.154	0.0
-22.60	-45.00	1282.8	873.1	0.491	0.001	0.315	0.843	0.150	0.0
-22.60	-44.60	937.9	909.0	0.571	0.001	0.398	0.866	0.145	0.0
	↓		↓		↓				
-5.80	-35.80	131.4	998.6	0.000	0.000	0.995	0.998	0.304	0.0
-5.80	-35.40	18.4	1011.6	0.000	0.000	0.999	0.988	0.272	0.0
-5.80	-35.00	1.5	1013.8	0.000	0.000	0.990	0.940	0.107	0.0
	↓		↓		↓				
12.20	-26.20	0.0	1015.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.0
12.20	-25.80	0.0	1014.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.0

Todos os dias ao meio-dia local na cidade de São José dos Campos os 11 arquivos dg são importados do CPTEC via FTP pela rotina UVdiag.FTP mostrada na Tabela A.4. Essa rotina é executada automaticamente pelo Agendador de Tarefas do Windows 98.

4 dos arquivos dg importados - os correspondentes às previsões com 12, 18, 36 e 42 horas de antecedência - são selecionados e dispostos numa mesma pasta com os arquivos UVDATA.INP e CIDADES.TXT mais o programa UVdiag. Esses 4 arquivos foram selecionados em função das longitudes das cidades brasileiras, em especial na costa leste brasileira onde se encontram os maiores centros populacionais. Então, as previsões com 12 e 18 horas de antecedência cobririam o meio-dia local do dia corrente, enquanto que as

previsões com 36 e 42 horas de antecedência cobririam a previsão para o meio-dia local do dia seguinte.

TABELA A.4 - LISTAGEM DA ROTINA DE IMPORTAÇÃO UVdiag.FTP

```
open www3.cptec.inpe.br
anonymous
abel@dge.inpe.br
lcd c:\uvdiag
cd /pub/produtos/eta/dge
bin
prompt
mget *
quit
```

O programa UVdiag gera 18 arquivos: ARQUIVOBIN.DAT, ARQUIVODAT.DAT, 4 arquivos do tipo dgyyyymmdd00+hh.DAT para hh igual a 12, 18, 36 e 42 horas, A1.DAT, A2.DAT, H1.DAT, H2.DAT, Ab1.DAT, Ab2.DAT, Ab3.DAT, Ab4.DAT, Hb1.DAT, Hb2.DAT, Hb3.DAT e Hb4.DAT. O arquivo ARQUIVOBIN.DAT contem os nomes dos quatro arquivos binários importados utilizados pelo UVdiag, enquanto que o arquivo ARQUIVODAT.DAT contem os nomes desses quatro arquivos depois de convertidos para o formato ASCII. As Tabelas A.5 e A.6 mostram as listagens desses dois arquivos.

TABELA A.5 - LISTAGEM DO ARQUIVO ARQUIVOBIN.DAT PARA AS PREVISÕES FEITAS NO DIA 01/12/2000

```
dg2000120100+12.BIN
dg2000120100+18.BIN
dg2000120100+36.BIN
dg2000120100+42.BIN
```

TABELA A.6 - LISTAGEM DO ARQUIVO ARQUIVODAT.DAT PARA AS PREVISÕES FEITAS NO DIA 01/12/2000

```
dg2000120100+12.DAT
dg2000120100+18.DAT
dg2000120100+36.DAT
dg2000120100+42.DAT
```

Os quatro arquivos tipo dgyyyyymmdd00+hh.DAT são resultado da conversão dos arquivos binários importados em ASCII. A Tabela A.3 mostra a listagem parcial do arquivo dg2000120100+12DAT.

Os outros 12 arquivos contém as previsões feitas pelo UVdiag. Todos se referem ao índice UV-B ao meio-dia local. As previsões do UVdiag se baseiam no arquivo médio entre os arquivos dgyyyyymmdd00+12.DAT e dgyyyyymmdd00+18.DAT para o meio-dia local do dia corrente, e no arquivo médio entre os arquivos dgyyyyymmdd00+36.DAT e dgyyyyymmdd00+42.DAT para o meio-dia local do dia seguinte. Assim, desses 15 arquivos aqueles que se iniciam com a letra H indicam previsões para o dia corrente, e aqueles que se iniciam com a letra A indicam as previsões para o dia seguinte. A Tabela A.7 mostra as definições para cada um desses arquivos: em todos os casos o albedo de superfície é igual a 0,2.

TABELA A.7 - OS 12 ARQUIVOS DE PREVISÃO DO UVdiag

Arquivo	Dia	Definição
Hb1.DAT	corrente	previsão no território brasileiro, em nível do mar e céu claro
Ab1.DAT	seguinte	
Hb2.DAT	corrente	previsão no território brasileiro, em nível do mar e céu com cobertura
Ab2.DAT	seguinte	
Hb3.DAT	corrente	previsão no território brasileiro, altitude local e céu claro
Ab3.DAT	seguinte	
Hb4.DAT	corrente	previsão no território brasileiro, altitude local e céu com cobertura
Ab4.DAT	seguinte	
H1.DAT	corrente	196 cidades brasileiras com mais de 100000 habitantes, altitude local, céu claro ou com cobertura
A1.DAT	seguinte	
H2.DAT	corrente	
A2.DAT	seguinte	

A Tabela A.8 mostra a listagem parcial do arquivo Ab4.DAT e a Figura A.1 o mapa da previsão produzido a partir desse arquivo. A Tabela A.9 mostra a listagem parcial a partir desse arquivo. A Tabela A.9 mostra a listagem parcial do arquivo A2.DAT. Nota-se que primeiro são dados os índices UV-B para as capitais dos estados e depois das demais cidades brasileiras com mais de 100000 habitantes.

TABELA A.8 - LISTAGEM PARCIAL DO ARQUIVO Ab4.DAT

Brasil, altitude local, céu nublado e albedo de superfície 0.2

DATA: 2/12/2000

LONG	LAT	ÍNDICE UV-B
-83.00	-50.20	8
-82.60	-50.20	8
↓	↓	↓
-54.20	-29.40	12
-53.80	-29.40	12
-53.40	-29.40	12
↓	↓	↓
-45.40	-22.60	10
-45.00	-22.60	10
-44.60	-22.60	10
↓	↓	↓
-35.40	-5.80	11
-35.00	-5.80	11
-34.60	-5.80	11
↓	↓	↓
-26.20	12.20	8
-25.80	12.20	8

TABELA A.9 - LISTAGEM DO ARQUIVO A2.DAT

PREVISÃO DE ÍNDICE UV-B

MODELO: céu claro ou nublado, altitude local e albedo 0.2

DATA: 2/12/2000

CIDADES (> 100000 hab.)		ÍNDICE UV-B	
		céu claro	céu nublado
ARACAJU	Se	12	12
BELÉM	Pa	11	8
BELO_HORIZONTE	MG	13	10
BOA_VISTA	Rr	10	8
BRASÍLIA	DF	13	9
CAMPO_GRANDE	MS	13	9
CUIABÁ	MT	13	9
CURITIBA	Pr	13	12
FLORIANÓPOLIS	SC	12	12
FORTALEZA	Ce	11	10
GOIÂNIA	Go	13	11
JOÃO_PESSOA	Pb	11	11
MACAPÁ	Ap	10	10
MACEIÓ	Al	12	12

MANAUS	Am	11	8
NATAL	RN	11	11
PALMAS	To	12	8
PORTO_ALEGRE	RS	12	12
PORTO_VELHO	Ro	12	6
RECIFE	Pe	12	12
RIO_BRANCO	Ac	12	7
RIO_DE_JANEIRO	RJ	13	11
SALVADOR	Ba	12	12
SÃO_LUIS	Ma	11	10
SÃO_PAULO	SP	13	9
TERESINA	Pi	11	10
VITÓRIA	ES	13	7
ABAESETUBA	Pa	11	8
ALAGOINHAS	Ba	12	12
ALVORADA	RS	12	12
AMERICANA	SP	14	12
ANANINDEUA	Pa	10	9
ANÁPOLIS	Go	13	12
APARECIDA_DE_GOIÂNIA	Go	13	11
APUCARAMA	Pr	13	7
ARAÇATUBA	SP	13	8
ARAGUAÍNA	To	12	7
ARAPIRACA	Al	12	12
ARARAQUARA	SP	13	9
BAGÉ	RS	12	12
BARBACENA	MG	13	11
BARRA_MANSA	RJ	13	11
BARREIRAS	Ba	13	8
BARRETOS	SP	13	8
BARUERI	SP	13	9
BAURU	SP	13	12
BELFOR_ROXO	RJ	13	11
BETIM	MG	13	11
BLUMENAU	SC	12	12
BOTUCATU	SP	13	11
BRAGANÇA_PAULISTA	SP	14	11
CABO_FRIO	RJ	13	11
CACHOEIRO_DE_ITAPEMIRIM	ES	13	7
CAMAÇARI	Ba	12	12
CAMARAGIBE	Pe	12	12
CAMPINA_GRANDE	Pb	11	11
CAMPINAS	SP	14	12
CAMPOS_DOS_GOYTACAZES	RJ	13	9
CANOAS	RS	12	12
CARAPICUIBA	SP	13	9
CARIACICA	ES	13	7
CARUARU	Pe	12	11
CASCAVEL	Pr	13	13
CASTANHAL	Pa	10	9
CATANDUVA	SP	13	8
CAUCAIA	Ce	11	10
CAXIAS	Ma	11	9
CAXIAS_DO_SUL	RS	13	12
CHAPECÓ	SC	13	13

CODÓ	Ma	11	7
COLATINA	ES	13	6
COLOMBO	Pr	13	12
CONTAGEM	MG	13	10
COTIA	SP	13	9
CRICIUMÁ	SC	12	12
DIADEMA	SP	13	9
DIVINÓPOLIS	MG	13	10
DOURADOS	MS	13	6
DUQUE_DE_CAXIAS	RJ	13	11
EMBU	SP	13	9
FEIRA_DE_SANTANA	Ba	12	12
FERRAZ_DE_VASCONCELOS	SP	13	9
FOZ_DO_IGUAÇU	Pr	13	13
FRANCA	SP	13	9
FRANCISCO_MORATO	SP	13	10
GOVERNADOR_VALADARES	MG	13	9
GRAVATAÍ	RS	12	12
GUARAPUAVA	Pr	13	13
GUARUJÁ	SP	13	10
GUARULHOS	SP	13	9
IBIRITÉ	MG	13	10
ILHÉUS	Ba	12	9
IMPERATRIZ	Ma	11	7
INDAIATUBA	SP	13	11
IPATINGA	MG	13	10
ITABORAÍ	RJ	13	11
ITABUNA	Ba	12	9
ITAJAÍ	SC	12	12
ITAPECERICA_DA_SERRA	SP	13	9
ITAPETININGA	SP	13	9
ITAPEVI	SP	13	9
ITAQUAQUECETUBA	SP	13	9
ITU	SP	13	11
JABOATÃO_DOS_GUARARAPES	Pe	12	12
JACAREÍ	SP	13	9
JAÚ	SP	13	12
JEQUIÉ	Ba	12	11
JOINVILLE	SC	12	12
JUAZEIRO	Ba	12	12
JUAZEIRO_DO_NORTE	Ce	12	12
JUIZ_DE_FORA	MG	13	11
JUNDIAÍ	SP	13	10
LAJES	SC	13	13
LIMEIRA	SP	13	12
LINHARES	ES	13	6
LONDRINA	Pr	13	7
LUZIÂNIA	Go	13	12
MACAÉ	RJ	13	11
MAGÉ	RJ	13	11
MARABÁ	Pa	11	7
MARACANAU	Ce	11	11
MARÍLIA	SP	13	11
MARINGÁ	Pr	13	7
MAUÁ	SP	13	9
MOGI_DAS_CRUZES	SP	13	8

MOJI_GUAÇU	SP	14	11
MONTES_CLAROS	MG	13	9
MOSSORÓ	RN	11	11
NILÓPOLIS	RJ	13	11
NITEROI	RJ	13	11
NOVA_FRIBURGO	RJ	13	11
NOVA_IGUACU	RJ	13	11
NOVA_HAMBURGO	RS	13	11
OLINDA	Pe	12	12
OSASCO	SP	13	9
PARANAGUÁ	Pr	12	12
PARNAIBA	Pi	11	10
PASSO_FUNDO	RS	13	13
PATOS_DE_MINAS	MG	13	9
PAULISTA	Pe	12	12
PELOTAS	RS	12	12
PETROLINA	Pe	12	12
PETRÓPOLIS	RJ	13	11
PINDAMONHANGABA	SP	13	10
PIRACICABA	SP	13	11
POCOS_DE_CALDAS	MG	13	9
PONTA_GROSSA	Pr	13	12
PRAIA_GRANDE	SP	13	10
PRESIDENTE_PRUDENTE	SP	13	11
QUEIMADOS	RJ	13	11
RIBEIRÃO_DAS_NEVES	MG	13	11
RIBEIRÃO_PRETO	SP	13	8
RIO_CLARO	SP	13	12
RIO_GRANDE	RS	12	12
RIO_VERDE	Go	13	10
RONDONÓPOLIS	MT	13	10
SABARÁ	MG	13	10
SANTA_BÁRBARA_DO_OESTE	SP	13	11
SANTA_CRUZ_DO_SUL	RS	13	12
SANTA_LUZIA	MG	13	11
SANTA_MARIA	RS	13	12
SANTA_RITA	Pb	11	11
SANTARÉM	Pa	11	7
SANTO_ANDRÉ	SP	13	9
SANTOS	SP	13	10
SÃO_BERNARDO_DO_CAMPO	SP	13	9
SÃO_CAETANO_DO_SUL	SP	13	9
SÃO_CARLOS	SP	13	11
SÃO_GONCALO	RJ	13	11
SÃO_JOÃO_DE_MERITI	RJ	13	11
SÃO JOSÉ	SC	12	12
SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	SP	13	7
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	SP	13	9
SÃO JOSÉ DOS PINHAIS	Pr	13	12
SÃO_LEOPOLDO	RS	13	11
SÃO VICENTE	SP	13	10
SAPUCAIA_DO_SUL	RS	12	12
SERRA	ES	13	6
SETE_LAGOAS	MG	13	10
SOBRAL	Ce	11	10
SOROCABA	SP	13	10

SUMARÉ	SP	14	12
SUZANO	SP	13	9
TABOÃO_DA_SERRA	SP	13	9
TAUBATÉ	SP	13	8
TEÓFILO_OTONI	MG	13	7
TERESÓPOLIS	RJ	13	11
TIMON	Ma	11	10
UBERABA	MG	13	10
UBERLÂNDIA	MG	13	9
URUGUAIANA	RS	12	12
VÁRZEA_GRANDE	MT	13	9
VIAMÃO	RS	12	12
VILA_VELHA	ES	13	7
VITÓRIA_DA_CONQUISTA	Ba	13	9
VOLTA_REDONDA	RJ	13	11

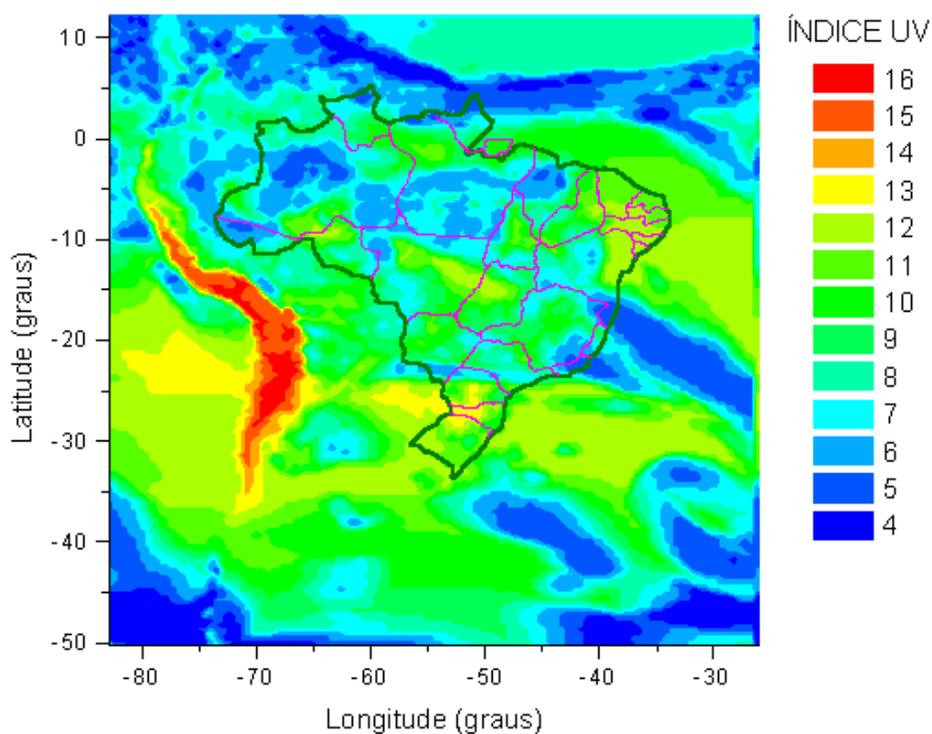


Fig. A.1 - Mapa da previsão de índice UV-B em todo Brasil para o dia 02/12/2000.

Desde o mês de junho de 2000 as previsões feitas tem sido analisadas mês-a-mês, para 3 localidades brasileiras, pela comparação entre valores previstos e

valores medidos de índice UV-B ao longo do mês e pelo seus respectivos valores médios mensais. As 3 cidades brasileiras cujos dados foram utilizados para a validação do modelo são; Natal ($5,01^{\circ}$, $35,21^{\circ}$ O, 30 m), São José dos Campos ($23,18^{\circ}$ S, $45,89^{\circ}$ O, 600 m), Santa Maria ($29,68^{\circ}$ S, $53,81^{\circ}$ O, 151 m). Na primeira e na última o Laboratório de Ozônio do INPE mantém em regime de permanência espectrofotômetros Brewer. Já a segunda localidade conta com um Brewer que algumas vezes é enviado em missões especiais, o que faz com que às vezes faltem dados dessa localidade. Contudo, São José dos Campos está a 100 km de Cachoeira Paulista ($22,69^{\circ}$ S, $45,01^{\circ}$ O, 574 m), onde o Laboratório de Ozônio possui um Brewer permanente. Como no segundo semestre de 2000 ocorreu de São José dos Campos estar sem o seu Brewer, utilizaram-se os valores de índice UV-B medidos em Cachoeira Paulista para serem comparados com os valores de previsão para São José dos Campos, o que, acredita-se, não causou nenhuma diferença perceptível pelo modelo, uma vez que essas cidades possuem clima e altitude semelhantes: São José dos Campos possui uma população dezenas de vezes maior do que a de Cachoeira Paulista, além de possuir uma economia também muito maior, o que poderia refletir na quantidade de aerossóis de origem antropogênica lançados na atmosfera local de cada uma dessas localidades. Contudo, o modelo de previsão de índice UV-B (UVdiag versão 1.6) não leva em conta a presença de aerossóis. As Figuras A.2a,b,c mostram os valores medidos e previstos de índice UV-B nas 3 localidades durante o mês de novembro, enquanto que a Figura A.3 exhibe os valores medidos e previstos médios mensais do índice UV-B para o período de junho a novembro de 2000.

Os valores previstos são função direta da previsão de cobertura de nuvens do modelo Eta: esses valores indicam o possível valor do índice UV-B ao meio-dia local com, praticamente, o mesmo grau de confiança com que a cobertura de nuvens é prevista. Uma vez que os aerossóis não são levados em conta nas previsões do índice UV-B, é de se esperar que os valores previstos médios mensais sejam maiores que os valores medidos médios.

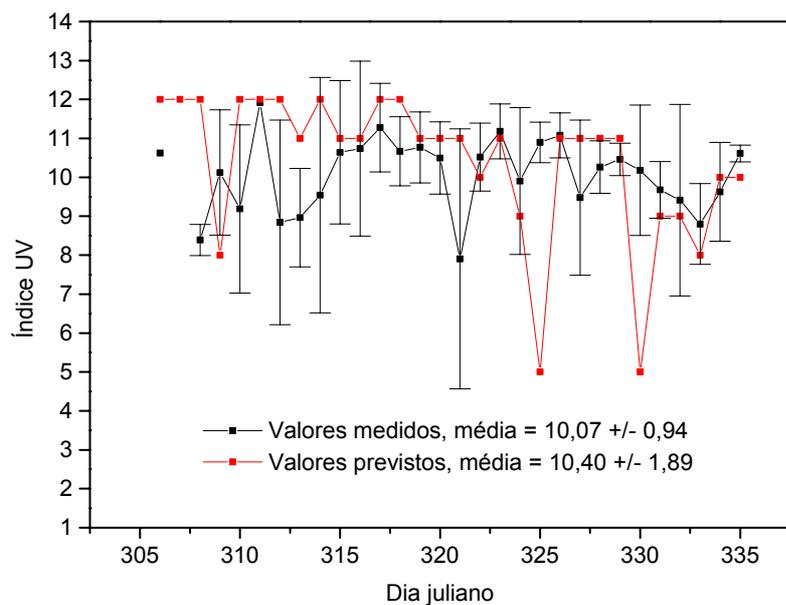


Fig. A.2a - Valores medidos e previstos do índice UV-B no mês de novembro de 2000 em Natal.

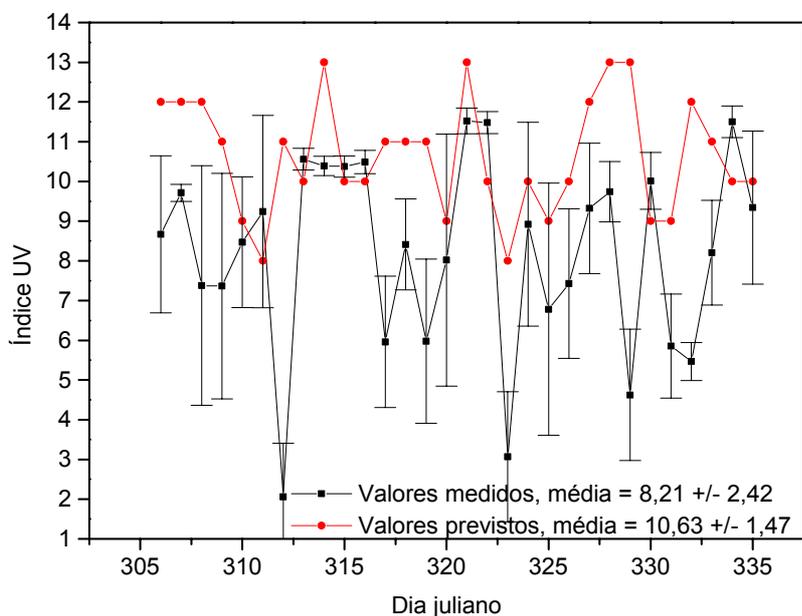


Fig. A.2b - Valores medidos e previstos do índice UV-B no mês de novembro de 2000 em São José dos Campos.

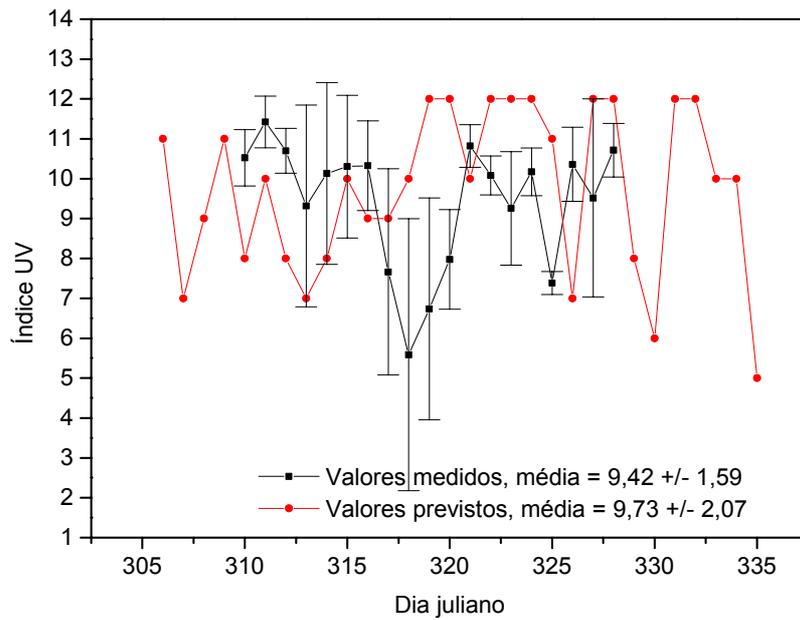


Fig. A.2c - Valores medidos e previstos do índice UV-B no mês de novembro de 2000 em Santa Maria.

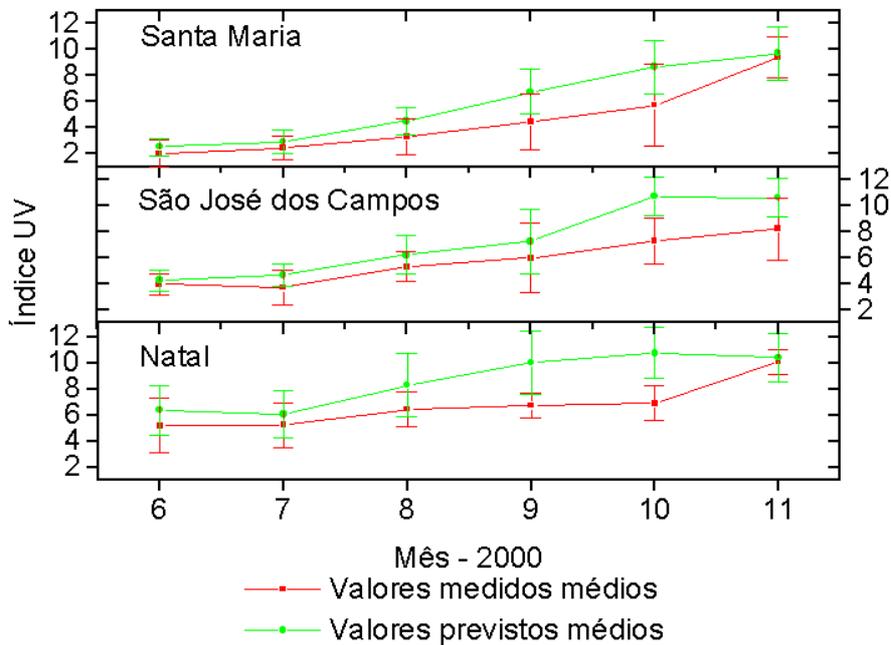


Fig. A.3 - Valores medidos e previstos médios do índice UV-B no período de junho a novembro de 2000 nas localidades de Santa Maria, São José dos Campos e Natal.

APÊNDICE B

O PROGRAMA ANALISEB

Ao longo de uma campanha com o espectrofotômetro Brewer para medidas ds , um grande número de informações são estocadas em arquivos. A coleta dessas informações é uma atividade repetitiva e árdua. Portanto, foi necessário criar o programa ANALISEB para rastrear e ler determinados dados nos arquivos produzidos pelo Brewer. O ANALISEB, agora na versão 3.0, foi desenvolvido em linguagem FORTRAN, podendo ser executado em qualquer micro-computador com ambiente Windows ou DOS. Os dados lidos pelo ANALISEB estão no arquivo Bdddy.### produzido pelo Brewer. Mas a tarefa do ANALISEB não é simplesmente ler os dados no arquivo B. Ele faz também a conversão e a correção dos valores obtidos de contagem para taxa de contagem.

Seja $c(\lambda, \theta)$ a contagem registrada no arquivo B para um dado λ e um dado ASZ θ . Há 5 passos que devem ser seguidos para transformar essa contagem em uma medida real da taxa de contagem:

1 - descontar a contagem no escuro CE,

$$c_1(\lambda, \theta) = c(\lambda, \theta) - CE;$$

2 - transformar a contagem $c_1(\lambda, \theta)$ em taxa de contagem $C_1(\lambda, \theta)$ pelo número de ciclos NC de uma medida ds ,

$$C_1(\lambda, \theta) = 2 * c_1(\lambda, \theta) / (NC - 0,1147);$$

3 - descontar o tempo morto TM,

$$C_2(\lambda, \theta) = C_1(\lambda, \theta)$$

$$\{C_2(\lambda, \theta) = C_1(\lambda, \theta) \exp[C_2(\lambda, \theta) * TM]\} \Rightarrow \text{repetir 9 vezes};$$

4 - fazer a correção para a temperatura T pelos coeficientes de temperatura TC(λ) e aparte constante dos coeficientes de temperatura PC,

$$C_3(\lambda, \theta) = 1000 * \text{LOG}[C_2(\lambda, \theta)] + T * (PC + TC(\lambda));$$

5 - fazer a correção para o fator de atenuação FA dos FDN,

$$C(\lambda, \theta) = [C_3(\lambda, \theta) + FA] / 1000.$$

Então, $C(\lambda, \theta)$ é a taxa de contagem real para λ num ASZ θ .

No arquivo bruto Bdddy.### ddd é o número do dia juliano, yy o ano e ### o número do Brewer. A Tabela B.1 exhibe a listagem parcial do arquivo B21599.056 obtido nas medidas do dj 215 de 1999 em Campo Grande. As informações procuradas pelo ANALISEB estão especificadas à direita dos itens em cada linha, enquanto que as setas indicam partes não importantes que foram saltadas.

TABELA B.1 - LISTAGEM DO ARQUIVO BRUTO B21599.056

version=2	número da versão do programa Brewer
dh	seção de cabeçalho
03	dia
08	mês
99	ano
Campo Grande	local
-20.421	latitude (S < 0, N > 0)
54.6673	longitude (O > 0, L < 0)
3.86	
pr	
1000	
□inst	seção dos parâmetros do Brewer
0	coeficiente de temperatura para 306,3 nm
-1.149	coeficiente de temperatura para 310,1 nm
-2.365	coeficiente de temperatura para 313,5 nm
-4.743	coeficiente de temperatura para 316,8 nm
-5.996	coeficiente de temperatura para 320,1 nm
0	parte constante do coeficiente de temperatura
↓	
3.8E-08	tempo morto
↓	
□ds	seção de medidas ds
a	
128	
755.89	HU em minutos
0	
6	
20	número de ciclos para a medida ds
2066	
650	contagem no escuro
83115	contagem em 306,3 nm

199643	contagem em 310,1 nm
479985	contagem em 313,5 nm
647235	contagem em 316,8 nm
636008	contagem em 320,1 nm
rat	
7622	
4302	
888	
-465	
↓	repete-se a seção ds mais 4 vezes
<input type="checkbox"/> summary	seção sumário das 5 ds anteriores
12:37:11	
aug	
03/	
99	
59.633	ASZ médio
1.96	massa de ar
27	temperatura (°C)
ds	indicador da seção sumário de ds
2	número do FDN
7555	
4279	
874	
-469	
9056	
4639	
.3	coluna de SO ₂ (UD)
279.5	coluna de O ₃ (UD)
47	
18	
11	
6	
39	
11	
.4	desvio padrão para a medida de SO ₂
1.3	desvio padrão para a medida de O ₃
↓	
ed	
<input type="checkbox"/>	final do arquivo

Mas para ser lido pelo ANALISEB o arquivo B precisa ser reformatado. Assim, abre-se o arquivo no editor WORD 97 (Microsoft Office 97) e na última linha

escreve-se a palavra FIM; ela serve de marcador do final do arquivo. Em seguida salva-se o arquivo Bdddy.### com o nome Bdddy.TXT no modo SOMENTE TEXTO COM QUEBRA DE LINHA. A tabela A.2 exibe a listagem parcial do arquivo reformatado B21599.TXT.

TABELA B.2 - LISTAGEM DO ARQUIVO B21599.TXT

```
version=2
dh
03
08
99
Campo Grande
-20.421
 54.6673
  3.86
pr
1000
inst
 0
-1.149
-2.365
-4.743
-5.996

↓

ds
a
128
 755.89
0
6
20
 2066
  650
 83115
 199643
 479985
 647235
 636008
rat
 7622
 4302
 888
```

-465

↓

summary

12:37:11

aug

03/

99

59.633

1.96

27

ds

2

7555

4279

874

-469

9056

4639

.3

279.5

47

18

11

6

39

11

.4

1.3

↓

ed

FIM

Nota-se que os símbolos quadrados (indicadores de saltar linha) que apareciam na listagem do arquivo B bruto não aparecem mais no arquivo reformatado. Após a reformatação deve-se abrir o arquivo no editor Norton e verificar o número de linhas ocupadas por ele. Essa informação será útil na construção dos arquivos de inicialização do ANALISEB.

Além do arquivo B reformatado o ANALISEB precisa de arquivos de inicialização. Há dois tipos de arquivos de inicialização: NOMEDSL.DAT e NOMEIO.DAT. Qual deles deve ser utilizado depende de qual arquivo de dados se quer que o ANALISEB produza. Para o arquivo de inicialização NOMEDSL.DAT o ANALISEB forma os arquivos Lldddyy.DAT e DSldddyy.DAT, enquanto que para o NOMEIO.DAT forma-se o arquivo Oldddyy.DAT; as letras ll indicam o nome do local onde foram feitas as medidas. As Tabelas B.3 e B.4 exibem as listagens dos arquivos de inicialização para o arquivo B do dj 215 de 1999 em Campo Grande com as especificações à direita dos itens em cada linha: o número de arquivos B que podem ser processados numa única execução do ANALISEB é de até 400. Para a construção dos arquivos de inicialização deve-se utilizar o editor Norton e não saltar nenhuma linha entre as linhas de dados.

TABELA B.3 - LISTAGEM DO ARQUIVO DE INICIALIZAÇÃO NOMEDSL.DAT

N	>B para ano bissexto, N para ano comum
1	>número de arquivos Bdddyy.DAT
CG056	>identificação (até 6 dígitos) com a sigla do local e número do Brewer
PZ	>pressão atmosférica local (mb)
B21599.TXT,LCG21599.DAT,9429,215	>arquivo B reformatado, arquivo de resultados Lldddyy.DAT, número de linhas em Bdddyy.TXT e dia juliano
0,3679,9465,12946,18327,22900	>fator de atenuacao dos FDN
	>linha de segurança

TABELA B.4 - LISTAGEM DO ARQUIVO DE INICIALIZAÇÃO NOMEIO.DAT

N	>B para ano bissexto, N para ano comum
1	>número de arquivos Bdddyy.DAT
B21599.TXT,OCG21599.DAT,9429,215	>arquivo B reformatado, arquivo de resultados Oldddyy.DAT, número de linhas em Bdddyy.TXT e dia juliano
0,3679,9465,12946,18327,2290	>fator de atenuacao dos FDN
	>linha de segurança

Uma vez que os arquivos B foram reformatados e os arquivos de inicialização já foram montados, pode-se executar o programa ANALISEB. Para isso deixa-se o ANALISEB e os arquivos NOMEDSL.DAT e/ou NOMEIO.DAT numa

mesma pasta e executa-se o primeiro. Uma janela em ambiente DOS se abrirá e poder-se-á escolher qual a modaldidade de operação que se deseja: produção dos arquivos LIdddyy.DAT e DSIIdddyy.DAT ou do arquivo OIdddyy.DAT.

Cada comando ds na programação de operação do Brewer representa uma série com 5 medidas ds. O arquivo DSIIdddyy.DAT mostra todas as medidas ds feitas em todos os comandos ds num dia ddd. A Tabela B.5 mostra a listagem parcial do arquivo DSCG21599.DAT obtido em Campo Grande no dj 215 de 1999. As colunas desse arquivo fornecem o número de série do comando ds, o número da medida ds naquela série, a HU, o ASZ calculado, a massa de ar calculada e as 5 colunas restantes mostram as taxas de contagens para os comprimentos L1, L2, L3, L4 e L5. O valor da HU nesse arquivo é lido pelo ANALISEB na seção ds do arquivo B, mas o ASZ é calculado a partir de uma rotina independente da rotina do Brewer. Em função disso divergências no ASZ da ordem de alguns décimos são observados em ASZ próximos a 80°.

O arquivo LIdddyy.DAT mostra as medidas ds feitas no dia ddd em termos da taxa média de contagens dentre as cinco medidas ds feitas em cada comando ds. A Tabela B.6 mostra a listagem do arquivo LCG21599.DAT obtido no dia 215 de 1999 em Campo Grande. As colunas desse arquivo trazem a HU, o ASZ, a massa de ar, a temperatura em graus Celcius, o número do FDN. As colunas de 4 a 14 exibem a taxa média de contagem e seu respectivo desvio padrão amostral para cada um dos comprimentos de onda L1, L2, L3, L4 e L5. Todos os valores nesse caso foram obtidos pelo ANALISEB aplicado ao arquivo B.

O arquivo OIdddyy.DAT contem os valores das colunas de O₃ e SO₂ obtidos nas medidas ds. A Tabela B.7 mostra o arquivo OCG21599.DAT obtido do dj 215 de 1999 em Campo Grande. Nessa listagem as colunas indicam a HU, o coeficiente R5, a coluna de SO₂, R6 e a coluna de O₃ com o desvio padrão de

cada um. Os coeficientes R5 e R6 são parâmetros relacionados com a calibração do espectrofotômetro Brewer.

TABELA B.5 - LISTAGEM PARCIAL DO ARQUIVO DSCG21599.DAT

Serie #	HU	ASZ	m	306.3nm	310.1nm	313.5nm	316.8nm	320.1nm
			↓			↓		
4	1	12.598	59.531	1.967	637376.	1533043.	3699979.	4946127. 4820657.
4	2	12.609	59.409	1.960	651669.	1555280.	3745429.	4999196. 4868006.
4	3	12.620	59.287	1.953	664072.	1576342.	3802339.	5056283. 4926776.
4	4	12.630	59.168	1.946	676452.	1597990.	3836307.	5107274. 4956654.
4	5	12.641	59.047	1.939	680484.	1609142.	3859654.	5122415. 4981384.
			↓			↓		
20	1	14.561	41.771	1.340	3116310.	5262383.	10837030.	12461816. 11493790.
20	2	14.571	41.709	1.338	3133881.	5297368.	10889983.	12537994. 11549367.
20	3	14.582	41.646	1.337	3140826.	5295477.	10899064.	12521510. 11547125.
20	4	14.593	41.584	1.336	3171099.	5350677.	10994767.	12651194. 11640089.
20	5	14.604	41.522	1.334	3173705.	5347910.	10974882.	12608282. 11628805.
21	1	17.095	43.465	1.376	2787338.	4791301.	9887107.	11395783. 10491620.
21	2	17.106	43.541	1.378	2805081.	4811210.	9942067.	11458067. 10558511.
21	3	17.116	43.616	1.380	2787338.	4790396.	9900558.	11425393. 10517239.
21	4	17.127	43.693	1.382	2786083.	4779629.	9897754.	11420431. 10512902.
21	5	17.138	43.770	1.383	2761444.	4756270.	9840522.	11357753. 10462215.
			↓			↓		
35	1	18.821	59.820	1.984	642019.	1511432.	3623177.	4795604. 4668466.
35	2	18.832	59.943	1.991	623016.	1476242.	3536727.	4695806. 4567854.
35	3	18.843	60.064	1.998	612454.	1451905.	3496035.	4643191. 4518640.
35	4	18.854	60.186	2.006	609425.	1452561.	3498520.	4650631. 4531519.
35	5	18.865	60.310	2.013	598391.	1432721.	3458253.	4608873. 4495354.

Dia 3
Mês 8
Ano 99
Dia juliano 215
Local Campo Grande
Latitude S-/N+ -20.42100
Longitude L-/O+ 54.66730

As medidas das colunas de 6 a 10 são taxas de contagens.

TABELA B.6 – LISTAGEM DO ARQUIVO LCG21599.DAT

HU	ASZ	m	Temp	FDN	L1	DPA	L2	DPA	L3	DPA	L4	DPA	L5	DPA
12.62	59.633	1.960	27	2	662011.	17804.	1574359.	30997.	3788742.	65633.	5046259.	73933.	4910695.	65759.
12.71	58.580	1.902	27	2	756119.	21192.	1738296.	37437.	4124129.	80425.	5420189.	97010.	5251812.	85367.
12.82	57.384	1.841	27	2	878482.	19534.	1957317.	33015.	4575609.	64794.	5926620.	75106.	5710867.	69486.
12.98	55.691	1.762	27	2	1077746.	19415.	2299442.	27294.	5265727.	52923.	6692274.	52142.	6402782.	45316.
13.07	54.697	1.719	27	2	1178219.	13307.	2450512.	23310.	5551360.	47740.	6992593.	59053.	6658425.	50084.
13.16	53.702	1.679	27	2	1326642.	29046.	2701752.	49061.	6052899.	96255.	7558941.	117778.	7170001.	107286.
13.26	52.707	1.641	27	2	1451355.	26610.	2900842.	41039.	6438698.	88940.	7956436.	98046.	7529357.	89889.
13.36	51.713	1.605	27	2	1592070.	35420.	3112941.	62187.	6848763.	123690.	8389358.	140369.	7909797.	134502.
13.46	50.720	1.572	27	2	1737375.	24484.	3339313.	35434.	7280537.	70949.	8842160.	78298.	8314519.	65848.
13.57	49.677	1.538	27	2	1892683.	26910.	3566348.	39660.	7716721.	76772.	9301074.	77539.	8721886.	70551.
13.68	48.636	1.506	27	2	2044844.	21968.	3784821.	29703.	8120872.	61564.	9716834.	57963.	9084487.	50358.
13.79	47.644	1.478	27	2	2180511.	18653.	3976533.	25174.	8470660.	41543.	10067263.	38907.	9390131.	36666.
13.90	46.654	1.451	27	2	2320046.	23943.	4171310.	32902.	8824135.	63378.	10422862.	65092.	9702995.	59877.
14.07	45.268	1.416	27	2	2536231.	29323.	4465068.	44012.	9374389.	84025.	10989987.	88651.	10193949.	79298.
14.26	43.787	1.381	27	2	2796425.	23976.	4835004.	38327.	10051754.	66526.	11684066.	67785.	10810347.	62696.
14.44	42.507	1.352	27	2	2957318.	14138.	5034244.	21054.	10400754.	30524.	12014441.	37356.	11092140.	33426.
14.58	41.624	1.334	27	2	3147164.	24728.	5310763.	37837.	10919145.	64850.	12556159.	74464.	11571835.	61463.
17.12	42.918	1.361	43	2	2785457.	15566.	4785761.	20045.	9893602.	36312.	11411486.	37340.	10508498.	35440.
17.30	44.216	1.391	43	2	2629702.	35493.	4589773.	54886.	9558619.	106189.	11108214.	114013.	10253378.	99269.
17.49	45.735	1.427	43	2	2374376.	17837.	4237392.	20005.	8919474.	29982.	10461676.	22274.	9699998.	14584.
17.65	47.150	1.465	43	2	2184147.	9967.	3984714.	14209.	8465744.	24367.	10025222.	26324.	9328714.	25424.
17.77	48.159	1.493	43	2	2039114.	26702.	3779025.	36539.	8094891.	69868.	9649778.	73215.	8997930.	62392.
17.88	49.167	1.523	43	2	1905495.	23406.	3588230.	37037.	7741528.	74658.	9300509.	79270.	8701948.	70240.
17.99	50.224	1.555	43	2	1649769.	37637.	3176782.	58109.	6912360.	125832.	8379571.	136213.	7868145.	127516.
18.10	51.282	1.590	43	2	1500962.	15211.	2943832.	22553.	6469425.	36059.	7907646.	36142.	7456177.	33385.
18.20	52.288	1.626	43	2	1436825.	18901.	2868591.	28471.	6357345.	49984.	7831359.	53066.	7403527.	48652.
18.30	53.294	1.663	43	2	1289017.	32497.	2628575.	56024.	5885915.	111303.	7317543.	126932.	6945573.	116539.
18.39	54.299	1.703	43	2	1152105.	29153.	2401697.	49213.	5441363.	103552.	6831445.	117361.	6504161.	109021.
18.49	55.305	1.744	43	2	1002709.	16355.	2140814.	32043.	4902436.	64276.	6221023.	74603.	5954160.	68214.
18.58	56.310	1.790	43	2	924735.	18384.	2025619.	28580.	4693348.	54994.	6021539.	62685.	5781674.	58940.
18.74	58.018	1.873	43	2	749932.	15966.	1717073.	29572.	4061935.	56734.	5316781.	65856.	5142439.	61573.
18.84	59.221	1.936	43	2	617061.	16481.	1464972.	30209.	3522543.	62732.	4678821.	72256.	4556367.	67937.
18.94	60.326	2.000	43	2	525449.	19926.	1291043.	38980.	3154998.	88000.	4252846.	107058.	4165372.	97130.

Dia 3
 Mes 8
 Ano 99
 Dia juliano 215
 Local Campo Grande
 Latit S-/N+ -20.42100
 Longit L-/O+ 54.66730

As medidas das colunas de 6 a 15 estão em pares de taxas medias de contagens e desvio padrão amostral de fótons.

TABELA B.7 - LISTAGEM DO ARQUIVO OCG21599.DAT

HU	R5	DR5	SO2 (UD)	DSO2 (UD)	R6	DR6	O3 (UD)	DO3 (UD)
10.19	6424.0	10542.0	2.60	54.50	3606.0	7432.0	20.60	179.80
11.38	14024.0	117.0	-1.70	0.30	6178.0	37.0	275.20	1.10
11.51	13109.0	110.0	-1.10	0.40	5882.0	30.0	276.20	0.60
12.62	9056.0	39.0	0.30	0.40	4639.0	11.0	279.50	1.30
12.71	8853.0	29.0	0.20	0.40	4581.0	9.0	279.10	1.80
12.82	8671.0	39.0	0.30	0.20	4525.0	14.0	279.60	1.40
12.98	8416.0	34.0	0.50	0.40	4447.0	9.0	279.20	0.60
13.07	8288.0	22.0	0.00	0.50	4416.0	12.0	280.80	1.90
13.16	8168.0	26.0	0.20	0.40	4377.0	10.0	280.80	1.10
13.26	8036.0	28.0	0.70	0.30	4331.0	7.0	279.10	0.60
13.36	7918.0	30.0	0.30	0.50	4301.0	14.0	279.90	1.70
13.46	7806.0	23.0	0.80	0.50	4263.0	11.0	278.70	1.90
13.57	7695.0	27.0	0.40	0.40	4234.0	10.0	279.40	1.30
13.68	7594.0	23.0	0.40	0.60	4204.0	11.0	279.30	2.10
13.79	7503.0	27.0	0.60	0.60	4175.0	15.0	279.00	2.50
13.90	7413.0	18.0	0.80	0.20	4146.0	6.0	278.30	0.70
14.07	7309.0	16.0	0.10	0.40	4123.0	8.0	280.70	1.40
14.26	7189.0	13.0	0.70	0.50	4080.0	9.0	278.80	1.40
14.44	7099.0	10.0	0.50	0.40	4055.0	6.0	279.30	1.10
14.58	7046.0	22.0	0.70	0.40	4038.0	10.0	279.30	2.10
17.12	7170.0	14.0	0.80	0.50	4074.0	8.0	281.40	1.40
17.30	7268.0	10.0	0.60	0.20	4105.0	4.0	282.00	0.80
17.49	7386.0	15.0	0.80	0.20	4138.0	4.0	281.50	0.40
17.65	7511.0	16.0	1.00	0.20	4173.0	7.0	281.30	0.90
17.77	7614.0	18.0	0.60	0.40	4208.0	5.0	282.80	1.10
17.88	7698.0	15.0	0.80	0.20	4230.0	6.0	281.50	0.90
17.99	7819.0	27.0	1.20	0.70	4261.0	8.0	281.20	1.60
18.10	7917.0	26.0	1.10	0.30	4291.0	12.0	280.60	1.20
18.20	8026.0	29.0	0.90	0.50	4325.0	13.0	280.70	1.50
18.30	8145.0	30.0	0.90	0.40	4361.0	13.0	280.50	1.30
18.39	8288.0	31.0	0.40	0.50	4410.0	12.0	282.50	1.40
18.49	8408.0	21.0	0.80	0.50	4441.0	7.0	280.90	0.80
18.58	8571.0	39.0	0.50	0.20	4492.0	13.0	282.20	0.90
18.74	8832.0	36.0	0.40	0.50	4572.0	15.0	282.10	1.50
18.84	9025.0	39.0	0.70	0.30	4625.0	13.0	280.60	0.90
18.94	9224.0	33.0	0.70	0.50	4684.0	2.0	280.40	1.40
19.37	10345.0	53.0	0.20	0.40	5025.0	19.0	279.40	1.40
19.51	10806.0	73.0	0.10	0.20	5166.0	24.0	279.00	0.80
20.59	17606.0	1701.0	-7.90	11.00	7542.0	37.0	253.90	3.80
20.72	16854.0	7671.0	-14.90	36.50	7732.0	751.0	226.20	36.30

Dia 3
 Mes 8
 Ano 99
 Dia juliano 215
 Local Campo Grande
 Latit S-/N+ -20.42100
 Longit L-/O+ 54.66730

Embora as medidas ds do Brewer não sejam em unidade de irradiância, há um método alternativo proposto por A. F. Bais em 1997 para obter medidas ds em unidades de $Wm^{-2}nm^{-1}$ a partir das medidas calibradas de UV-B global. Sejam $B(\lambda, \theta)$ uma medida ds, $A(\lambda, \theta + 2\Delta\theta)$ uma medida UV-B global e $d(\lambda, \theta + \Delta\theta)$ uma medida de radiação difusa para λ , ASZ θ e variação de ASZ $\Delta\theta \approx 0^\circ$. A medida

de $d(\lambda, \theta + \Delta\theta)$ é feita colocando-se um anteparo para impedir a incidência direta da radiação solar sobre o domo de quartzo do Brewer durante uma medida UV-B global. Veja a Figura B.1.



Fig. B.1 - O espectrofotômetro Brewer e o anteparo solar durante uma medida de $d(\lambda, \theta + \Delta\theta)$.

FONTE: Bais (1997).

Faz-se uma medida $B(\lambda, \theta)$, uma $d(\lambda, \theta + \Delta\theta)$ e uma $A(\lambda, \theta + 2\Delta\theta)$. O fator de conversão para as medidas d_s é igual a

$$F(\lambda, \theta) = B(\lambda, \theta) \{ [A(\lambda, \theta + 2\Delta\theta) - d(\lambda, \theta + \Delta\theta)] \cos\theta \}^{-1} . \quad (\text{B.1})$$

Então, a taxa de contagem da medida d_s , $C(\lambda, \theta)$, é convertida em unidade de irradiância, $I_{ds}(\lambda, \theta)$ pela aplicação do fator de calibração:

$$I_{ds}(\lambda, \theta) = C(\lambda, \theta) / F(\lambda, \theta) . \quad (\text{B.2})$$

Os valores de $F(\lambda, \theta)$ estão listados na Tabela B.8.

TABELA B.8 - FATORES DE CONVERSÃO PARA O BREWER 056 E ASZ \approx
40°

λ (nm)	$F(\lambda, ASZ \approx 40^\circ) [(c/s)/(Wm^{-2}nm^{-1})]$
306,3	$1,21762E8 \pm 1,94571E7$
310,1	$1,26409E8 \pm 1,5904E7$
313,5	$1,22692E8 \pm 1,5216E7$
316,8	$8,12829E7 \pm 8,47738E6$
320,1	$7,49982E7 \pm 8,90333E6$

Os filtros de densidade neutra (FDN) do Brewer posicionados no anel de filtros 2 como mostra a Figura 1.11, desempenham a função de atenuar a radiação medida, tanto no modo ds como no UV-B global, evitando que o tubo fotomultiplicador fique saturado durante uma medida. Esses filtros já vem de fábrica com seu poder de atenuação medido. Contudo, como eles trabalham expostos à radiação solar, é de se esperar que ocorra alguma variação no seu poder de atenuação com o passar do tempo. A Figura B.2 mostra os valores de atenuação dos FDN apresentados no manual do Brewer 056, os valores nominais e os valores medidos num teste no Laboratório de ozônio. Pode-se ver que há uma diferença entre as 3 fontes. As medidas do Lab. de Ozônio mostram que o desgaste dos filtros realmente ocorreu, e, ainda mais, comparando com os valores nominais encontra-se uma diferença que com certeza traria diferenças nos valores das medidas ds.

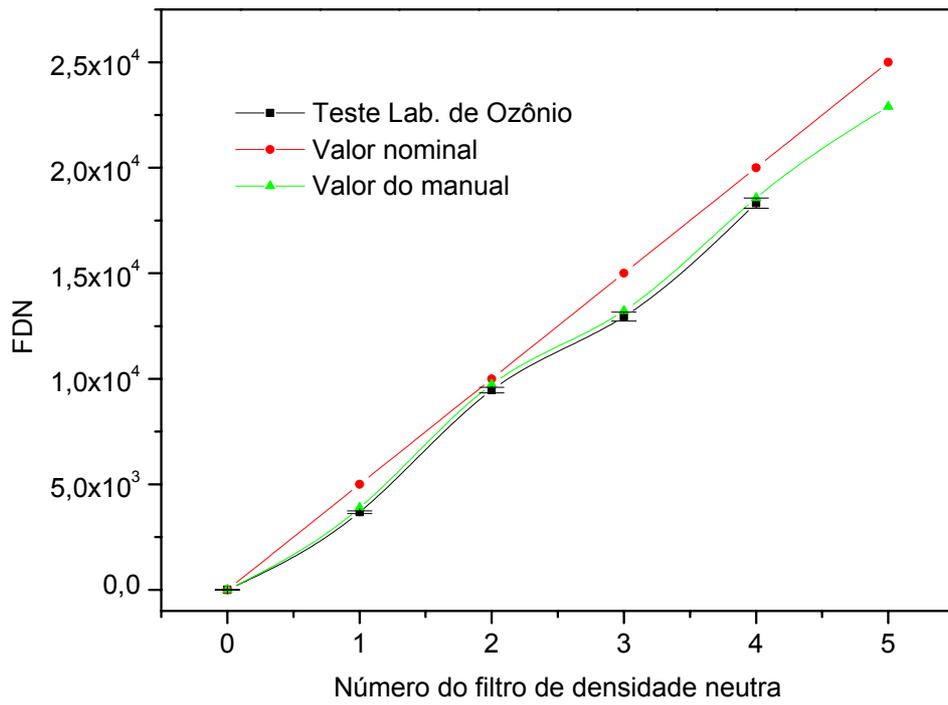


Fig. B.2 - Comparação entre 3 fontes dos valores de poder de atenuação dos FDN do Brewer 056.

APÊNDICE C

A PROGRAMAÇÃO DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO DA ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS

Para a campanha de medição da espessura óptica de aerossóis nas cidades de Campo Grande, Natal e La Paz do dia 28 de julho (dj 209) a 25 de agosto (dj 237) de 1999 foram elaboradas 3 programações diferentes. Além das medidas ds para a espessura óptica de aerossóis também foram feitas medidas da irradiância UV-B. Uma vez que à medida que se avançou do dj 209 para o 237 os dias foram se tornando cada vez maiores, foi possível incluir cada vez mais medidas UV-B global em torno do meio-dia local; as medidas UV-B global, diferente das medidas ds, não necessitavam de estar rigorosamente vinculadas a valores pré-estabelecidos de ASZ. Na verdade, as medidas ds sofreram essa restrição, isto é, a vinculação a ASZ pré-estabelecidos pelo fato de que em princípio seria importante evitar que o ASZ fosse mais uma variável em alguns aspectos da análise que se seguiu à campanha: outra atividade importante durante a campanha foi a observação da cobertura de nuvens no exato momento das medidas. Além das medidas ds e UV-B global foram realizadas outros tipos de medidas também. Mas elas não são de interesse para o presente trabalho, tendo sido mantidas por uma questão de prática operacional do Laboratório de Ozônio e para ASZ maiores que 60°.

A listagem da programação Tipo 1 é apresentada na Tabela C.1. De -60° a +60° de ASZ ela contém 17 medidas ds pela manhã, 4 UV-B global em torno do meio-dia local e 16 medidas ds à tarde. A Tabela C.2 mostra a listagem da programação Tipo 2 que tem 15 medidas UV-B global a mais do que a Tipo 1. A Tabela C.3 mostra a listagem da programação Tipo 3 com 19 medidas UV-B global a mais que a Tipo 1.

TABELA C.1 - LISTAGEM DA PROGRAMAÇÃO TIPO 1 UTILIZADA DO DJ

209 AO 221

-120
pfrpro3hgsltrs
-90
pro3dszs
-75
pro3dszsdsum
-65
pro3b1uvhg
-60
pro3ds
-58.9
pro3ds
-57.7
pro3ds
-56
pro3ds
-55
pro3ds
-54
pro3ds
-53
pro3ds
-52
pro3ds
-51
pro3ds
-49.95
pro3ds
-48.9
pro3ds
-47.9
pro3ds
-46.9
pro3ds
-45.5
pro3ds
-44
pro3ds
-42.7
pro3ds
-41.8
pro3ds
-41

pro3uv
-39.4
pro3uv
39.4
pro3uv
41
pro3b1uvhg
42.7
pro3ds
44
pro3ds
45.5
pro3ds
46.9
pro3ds
47.9
pro3ds
48.9
pro3ds
49.95
pro3ds
51
pro3ds
52
pro3ds
53
pro3ds
54
pro3ds
55
pro3ds
56
pro3ds
57.7
pro3ds
58.9
pro3ds
60
pro3ds
65
pro3dszsdsum
80
pro3dszsdsum
95
pro3hgsltrspf
180

cg209

TABELA C.2 - LISTAGEM DA PROGRAMAÇÃO TIPO 2 UTILIZADA DO DJ

222 AO 231

-120
pfrpro3hgsltrs
-90
pro3dszs
-75
pro3dszsdsum
-65
pro3b1uvhg
-60
pro3ds
-58.9
pro3ds
-57.7
pro3ds
-56
pro3ds
-55
pro3ds
-54
pro3ds
-53
pro3ds
-52
pro3ds
-51
pro3ds
-49.95
pro3ds
-48.9
pro3ds
-47.9
pro3ds
-46.9
pro3ds
-45.5
pro3ds
-44
pro3ds
-42.7
pro3ds
-41.8
pro3ds
-41

pro3uv
-39.4
pro3uv
-38.55
pro3uv
-37.80
pro3uv
-37.17
pro3uv
-36.76
pro3uv
-36.39
pro3uv
-36.12
pro3uv
-35.96
pro3uv
-35.91
pro3uv
35.96
pro3uv
36.12
pro3uv
36.38
pro3uv
36.75
pro3uv
37.22
pro3uv
37.78
pro3uv
38.44
pro3uv
39.4
pro3uv
41
pro3b1uvhg
42.7
pro3ds
44
pro3ds
45.5
pro3ds
46.9
pro3ds
47.9

pro3ds
48.9
pro3ds
49.95
pro3ds
51
pro3ds
52
pro3ds
53
pro3ds
54
pro3ds
55
pro3ds
56
pro3ds
57.7
pro3ds
58.9
pro3ds
60
pro3ds
65
pro3dszsdsdsum
80
pro3dszsdsdsum
95
pro3hgsltrspf
180
cg222

TABELA C.3 - LISTAGEM DA PROGRAMAÇÃO TIPO 3 UTILIZADA DO DJ

232 AO 237

-120
pfrpro3hgsltrs
-90
pro3dszs
-75
pro3dszsdsum
-65
pro3b1uvhg
-60
pro3ds
-58.9
pro3ds
-57.7
pro3ds
-56
pro3ds
-55
pro3ds
-54
pro3ds
-53
pro3ds
-52
pro3ds
-51
pro3ds
-49.95
pro3ds
-48.9
pro3ds
-47.9
pro3ds
-46.9
pro3ds
-45.5
pro3ds
-44
pro3ds
-42.7
pro3ds
-41.8
pro3ds
-41

pro3uv
-39.4
pro3uv
-38.25
pro3uv
-37.28
pro3uv
-36.38
pro3uv
-35.48
pro3uv
-34.77
pro3uv
-33.67
pro3uv
-33.27
pro3uv
-32.99
pro3uv
-32.83
pro3uv
-32.78
pro3uv
32.85
pro3uv
33.04
pro3uv
33.34
pro3uv
33.76
pro3uv
34.28
pro3uv
34.91
pro3uv
35.63
pro3uv
36.45
pro3uv
37.35
pro3uv
39.4
pro3uv
41
pro3b1uvhg
42.7

pro3ds
44
pro3ds
45.5
pro3ds
46.9
pro3ds
47.9
pro3ds
48.9
pro3ds
49.95
pro3ds
51
pro3ds
52
pro3ds
53
pro3ds
54
pro3ds
55
pro3ds
56
pro3ds
57.7
pro3ds
58.9
pro3ds
60
pro3ds
65
pro3dszsdsdsum
80
pro3dszsdsdsum
95
pro3hgsldtrspf
180
cg232

APÊNDICE D

TABELAS DE DADOS

As Tabelas D.1A,B,C mostram os valores médios por turno das colunas de O₃ e SO₂ em UD ao longo da campanha em cada um dos 3 sítios. A primeira coluna indica o dia juliano, a segunda e a terceira indicam a média de ozônio no turno da manhã e seu desvio padrão, a quarta e a quinta indicam a média de ozônio no turno da tarde e seu desvio padrão, a sexta e a sétima indicam a média de SO₂ no turno da manhã e seu desvio padrão, e a oitava e a nona a média de SO₂ no turno da tarde e seu desvio padrão.

TABELA D.1A - VALORES MÉDIOS POR TURNO DAS COLUNAS DE O₃ E SO₂ EM UD DURANTE A CAMPANHA EM CAMPO GRANDE:

dj	m - MANHÃ, t - TARDE				SO ₂ m	dSO ₂ m	SO ₂ t	dSO ₂ t
	O ₃ m	dO ₃ m	O ₃ t	dO ₃ t				
209			291,60	15,15				
210	257,05	0,97	255,73	1,65	0,49	0,37	0,37	0,37
213	274,52	0,91	273,12	0,80	0,25	0,18	0,92	0,23
214	272,34	2,09	273,42	0,93	0,36	0,21	0,77	0,21
215	279,04	1,50	281,14	1,00	0,41	0,26	0,69	0,29
216	280,77	1,32	280,35	1,04	0,48	0,29	0,61	0,34
217	279,10	1,63	280,94	0,94	0,73	0,18	1,06	0,36
218	275,04	1,23	275,22	0,61	0,87	0,23	1,11	0,21
219	275,60	1,41	275,08	1,46	2,00	0,36	2,02	0,55
220	290,39	1,37	286,01	2,52	0,28	0,15	0,63	0,31
221	284,23	1,91	283,01	1,19	0,45	0,26	1,06	0,34
222	278,99	2,00	278,51	1,21	0,64	0,23	0,64	0,29
223	273,15	1,13			0,64	0,30		
224	271,06	1,10	285,48	7,92	1,25	0,34	0,50	
227	275,71	1,17	271,92	1,21			0,14	0,17
228	269,77	2,57	268,37	4,36			0,29	0,09
229	274,51	2,16	275,65	1,44			0,66	0,29
230	282,67	2,26	277,34	1,36	0,07	0,07	0,66	0,24
231	277,58	2,16	277,13	2,68	0,62	0,23	0,79	0,40
232	267,96	2,06			0,53	0,25		
233	267,12	2,30	270,74	5,16	0,42	0,29	0,44	0,38
234	268,44	1,19	286,32	7,55	0,52	0,26		
236	269,39	0,90			0,56	0,33		

TABELA D.1B - VALORES MÉDIOS POR TURNO DAS COLUNAS DE O₃ E SO₂ EM UD DURANTE A CAMPANHA EM NATAL:

m - MANHÃ, t - TARDE

dj	O3m	dO3m	O3t	dO3t	SO2m	dSO2m	SO2t	dSO2t
213	265,91	4,16	278,31	2,64	0,40			
214	268,98	4,25	277,45	2,40	0,23	0,12	0,10	
215	273,60	2,83	278,73	2,27	3,10		0,13	0,13
216	273,32	4,12	275,99	2,02	1,93	1,50	0,30	
217	271,36	2,77	277,22	2,99	2,80		0,40	0,25
218	271,76	1,39	267,55	2,98	0,24	0,18	1,03	1,45
220			271,36	1,96			0,10	
221	274,83	1,52						
223			267,99	3,05			0,32	0,21
225			270,14	3,84			0,88	1,49

TABELA D.1C - VALORES MÉDIOS POR TURNO DAS COLUNAS DE O₃ E SO₂ EM UD DURANTE A CAMPANHA EM LA PAZ:

m - MANHÃ, t - TARDE

dj	O3m	dO3m	O3t	dO3t	SO2m	dSO2m	SO2t	dSO2t
209	247,73	1,85			0,65	0,35		
213	244,99	1,56			0,51	0,20		
214	245,69	1,63	244,88	2,22	0,76	0,20	0,33	0,24
215	245,41	1,54	244,97	1,92	0,45	0,29	0,48	0,16
216	243,49	1,60	246,18	2,16	0,28	0,25	0,57	0,19
217	252,72	1,70	254,11	2,08	0,44	0,32	0,61	0,32
218	263,83	2,06	260,69	2,25	0,73	0,49	0,18	0,14
219	258,19	1,33	257,18	4,24	0,58	0,36	0,93	0,38
220	263,88	1,98			1,32	0,49		
222	260,54	2,30			0,40	0,22		
223	260,70	2,12	260,20	2,13	1,26	0,51	0,33	0,15
224	261,39	1,86	266,64	1,97	0,79	0,47	0,05	0,07
225	263,77	2,06	261,91	3,03	0,42	0,26	0,15	0,21
227	260,70	1,92	261,97	0,87	0,54	0,38	0,98	0,39
228	263,87	1,78	265,25	2,92	0,21	0,16	0,13	0,06
229	265,85	1,74	265,95	2,62	1,29	0,35	0,10	0,14
230	258,33	1,45			1,35	0,49		
231	256,05	1,53			0,64	0,37		
232	251,63	1,52	254,96	0,58	0,33	0,23	0,11	0,11
233	254,17	2,23	255,56	2,41	1,08	0,34		
234	252,80	1,70			0,44	0,36		
236	256,59	2,43	260,95	3,11	0,60	0,34		

As Tabelas D.2A,B,C mostram os valores de espessura óptica atmosférica (τ_{at}) por turno obtidos ao longo da campanha nos 3 sítios. A primeira coluna indica o dia juliano, enquanto que as outras 10 mostram o valor de τ_{at} e o seu respectivo dp para os 5 comprimentos de onda para medidas ds do Brewer.

TABELA D.2A - ESPESSURA ÓPTICA ATMOSFÉRICA AO LONGO DA CAMPANHA EM CAMPO GRANDE

MANHÃ

dj	τ_{atL1}	dp	τ_{atL2}	dp	τ_{atL3}	dp	τ_{atL4}	dp	τ_{atL5}	dp
210	2,09	0,02	1,61	0,01	1,39	0,01	1,19	0,01	1,12	0,01
213	2,45	0,05	1,92	0,05	1,68	0,05	1,45	0,05	1,36	0,04
214	2,51	0,01	1,99	0,01	1,74	0,01	1,52	0,01	1,43	0,01
215	2,49	0,01	1,94	0,01	1,69	0,01	1,46	0,01	1,37	0,01
216	2,41	0,01	1,87	0,01	1,63	0,01	1,40	0,01	1,32	0,01
217	2,64	0,03	2,09	0,03	1,84	0,03	1,61	0,03	1,52	0,03
218	2,53	0,04	1,99	0,04	1,74	0,04	1,50	0,04	1,41	0,04
219	3,79	0,11	3,24	0,11	2,98	0,11	2,74	0,11	2,66	0,11
220	4,42	0,12	3,88	0,12	3,64	0,12	3,41	0,12	3,33	0,12
221	2,65	0,02	2,12	0,02	1,88	0,02	1,66	0,02	1,58	0,02
222	2,90	0,10	2,37	0,09	2,13	0,09	1,90	0,09	1,81	0,09
223	2,86	0,05	2,33	0,05	2,09	0,05	1,86	0,04	1,78	0,04
224	3,33	0,09	2,80	0,09	2,56	0,09	2,34	0,08	2,25	0,08
227	2,94	0,10	2,44	0,10	2,21	0,09	2,00	0,09	1,94	0,09
228	2,19	0,05	1,70	0,04	1,49	0,04	1,29	0,04	1,24	0,04
229	2,52	0,02	1,98	0,02	1,74	0,02	1,51	0,02	1,42	0,02
230	2,62	0,01	2,07	0,01	1,82	0,01	1,58	0,01	1,49	0,01
231	2,66	0,02	2,13	0,02	1,90	0,02	1,68	0,02	1,61	0,02
232	2,40	0,01	1,87	0,01	1,63	0,01	1,40	0,01	1,32	0,01
233	2,35	0,02	1,83	0,01	1,59	0,01	1,38	0,01	1,30	0,01
234	2,18	0,05	1,66	0,05	1,42	0,05	1,19	0,05	1,11	0,05
236	2,51	0,06	2,01	0,06	1,79	0,05	1,58	0,05	1,51	0,05

TARDE

dj	τ_{atL1}	dp	τ_{atL2}	dp	τ_{atL3}	dp	τ_{atL4}	dp	τ_{atL5}	dp
209	1,78	0,08	1,30	0,08	1,13	0,08	0,93	0,07	0,84	0,07
210	4,10	0,32	3,52	0,31	3,25	0,31	2,99	0,30	2,87	0,30
213	2,70	0,04	2,15	0,04	1,90	0,04	1,66	0,04	1,56	0,04
214	2,81	0,03	2,27	0,03	2,01	0,03	1,77	0,03	1,67	0,03
215	2,64	0,03	2,08	0,03	1,81	0,03	1,57	0,03	1,47	0,03
216	2,56	0,03	2,02	0,03	1,78	0,03	1,56	0,04	1,48	0,04
217	2,55	0,03	2,00	0,03	1,73	0,03	1,49	0,03	1,39	0,03
218	3,16	0,48	2,61	0,48	2,36	0,48	2,12	0,48	2,03	0,48
219	2,88	0,27	2,35	0,27	2,10	0,27	1,87	0,27	1,79	0,27
220	2,50	0,03	1,97	0,03	1,74	0,03	1,51	0,03	1,44	0,03
221	5,88	0,74	5,34	0,74	5,05	0,73	4,79	0,72	4,68	0,71
222	2,74	0,07	2,21	0,07	1,97	0,07	1,74	0,07	1,66	0,07
224	2,48	0,11	1,94	0,11	1,71	0,11	1,48	0,10	1,39	0,10
227	2,42	0,03	1,92	0,03	1,69	0,02	1,48	0,02	1,42	0,02
228	2,21	0,02	1,69	0,02	1,46	0,02	1,24	0,02	1,16	0,02
229	2,55	0,04	2,00	0,04	1,75	0,04	1,51	0,04	1,42	0,04
230	2,94	0,11	2,40	0,11	2,16	0,11	1,93	0,11	1,84	0,11
231	5,75	0,90	5,19	0,89	4,89	0,88	4,62	0,87	4,50	0,86
233	3,50	0,09	3,00	0,09	2,74	0,09	2,50	0,09	2,42	0,08
234	3,11	0,20	2,57	0,20	2,32	0,20	2,08	0,19	1,99	0,19

TABELA D.2B - ESPESSURA ÓPTICA ATMOSFÉRICA AO LONGO DA
CAMPANHA EM NATAL

MANHÃ

dj	τ_{atL1}	dp	τ_{atL2}	dp	τ_{atL3}	dp	τ_{atL4}	dp	τ_{atL5}	dp
213	2,16	0,02	1,65	0,02	1,43	0,02	1,20	0,02	1,12	0,02
214	2,26	0,01	1,74	0,01	1,52	0,01	1,29	0,01	1,20	0,01
215	2,28	0,10	1,75	0,1	1,52	0,10	1,29	0,10	1,21	0,10
216	2,42	0,02	1,87	0,02	1,62	0,02	1,39	0,02	1,29	0,02
217	2,23	0,08	1,70	0,08	1,46	0,08	1,23	0,08	1,14	0,08
218	2,27	0,01	1,74		1,51		1,27	0,01	1,19	0,01
221	2,31	0,01	1,77	0,01	1,52	0,01	1,28	0,01	1,20	0,01

TARDE

dj	τ_{atL1}	dp	τ_{atL2}	dp	τ_{atL3}	dp	τ_{atL4}	dp	τ_{atL5}	dp
213	2,01	0,07	1,45	0,07	1,18	0,07	0,93	0,07	0,82	0,07
214	2,25	0,03	1,69	0,03	1,43	0,03	1,17	0,04	1,06	0,04
215	2,33	0,02	1,77	0,02	1,52	0,02	1,27	0,02	1,17	0,02
216	2,42	0,02	1,87	0,02	1,62	0,02	1,39	0,02	1,29	0,02
217	2,36	0,01	1,81	0,01	1,57	0,01	1,33	0,01	1,23	0,01
218	2,26	0,01	1,73	0,01	1,49	0,01	1,26	0,01	1,17	0,01
220	2,28	0,01	1,75	0,01	1,51	0,01	1,27	0,01	1,18	0,01
223	2,20	0,01	1,69	0,01	1,46	0,01	1,24	0,01	1,15	0,01
225	2,20	0,13	1,69	0,13	1,46	0,14	1,23	0,14	1,14	0,14

TABELA D.2C - ESPESSURA ÓPTICA ATMOSFÉRICA AO LONGO DA
CAMPANHA EM LA PAZ

MANHÃ

dj	τ_{atL1}	dp	τ_{atL2}	dp	τ_{atL3}	dp	τ_{atL4}	dp	τ_{atL5}	dp
209	1,65	0,06	1,17	0,05	0,94	0,05	0,74	0,05	0,67	0,05
213	1,88	0,01	1,40	0,01	1,19	0,01	0,98	0,01	0,91	0,01
214	1,88	0,01	1,41	0,01	1,20	0,01	0,99	0,01	0,92	0,01
215	1,83	0,02	1,36	0,02	1,15	0,02	0,95	0,02	0,88	0,02
216	1,73	0,07	1,26	0,07	1,05	0,07	0,85	0,07	0,77	0,07
217	2,02	0,03	1,55	0,04	1,33	0,03	1,13	0,03	1,05	0,03
218	1,82	0,03	1,33	0,03	1,11	0,03	0,89	0,03	0,82	0,03
219	2,12	0,03	1,66	0,03	1,45	0,03	1,25	0,04	1,19	0,04
220	2,09	0,01	1,61	0,02	1,39	0,02	1,20	0,03	1,13	0,04
222	2,13	0,02	1,63	0,02	1,40	0,02	1,19	0,02	1,11	0,02
223	1,86	0,03	1,37	0,03	1,15	0,03	0,94	0,03	0,86	0,03
224	1,96	0,03	1,47	0,03	1,25	0,03	1,03	0,02	0,96	0,03
225	2,02	0,01	1,52	0,01	1,28	0,01	1,06	0,01	0,99	0,01
227	2,16	0,05	1,68	0,05	1,47	0,05	1,27	0,05	1,21	0,06
228	1,93	0,02	1,44	0,02	1,21	0,02	1,00	0,02	0,92	0,02
229	1,86	0,01	1,36	0,01	1,13	0,01	0,92	0,01	0,84	0,01
230	1,98	0,03	1,49	0,03	1,27	0,03	1,05	0,03	0,98	0,03
231	1,99	0,03	1,50	0,03	1,27	0,03	1,06	0,03	0,99	0,03
232	2,06	0,02	1,58	0,02	1,36	0,02	1,15	0,02	1,08	0,02
233	2,09	0,02	1,61	0,02	1,38	0,02	1,18	0,02	1,10	0,02
234	1,91	0,02	1,47	0,02	1,28	0,03	1,11	0,03	1,06	0,04
236	1,89	0,01	1,41	0,01	1,19	0,01	0,99	0,01	0,91	0,01

TARDE

dj	τ_{atL1}	dp	τ_{atL2}	dp	τ_{atL3}	dp	τ_{atL4}	dp	τ_{atL5}	dp
214	2,58	0,11	2,09	0,11	1,87	0,11	1,67	0,11	1,58	0,10
215	1,70	0,08	1,23	0,08	1,02	0,07	0,83	0,07	0,76	0,07
216	1,70	0,03	1,22	0,02	1,01	0,02	0,81	0,02	0,74	0,02
217	1,98	0,02	1,48	0,02	1,26	0,02	1,05	0,02	0,97	0,02
218	1,93	0,02	1,41	0,02	1,18	0,02	0,96	0,02	0,89	0,02
219	2,03	0,01	1,53	0,01	1,31	0,01	1,10	0,01	1,02	0,01
223	1,90	0,06	1,40	0,06	1,17	0,06	0,97	0,06	0,89	0,06
224	2,12	0,05	1,60	0,04	1,37	0,03	1,15	0,03	1,07	0,02
225	2,00	0,04	1,50	0,03	1,27	0,03	1,06	0,03	0,98	0,03
227	2,52	0,07	2,04	0,08	1,84	0,10	1,65	0,11	1,60	0,12
228	2,00	0,06	1,48	0,06	1,25	0,06	1,04	0,06	0,96	0,06
229	2,05	0,02	1,54	0,02	1,30	0,02	1,09	0,02	1,01	0,02
232	2,35	0,10	1,89	0,11	1,69	0,12	1,51	0,12	1,45	0,13
233	1,93	0,01	1,43	0,01	1,21	0,01	1,00	0,01	0,93	0,01
236	1,99	0,01	1,49	0,01	1,26	0,01	1,05	0,01	0,97	0,01

TABELA D.3 - ESPESSURA ÓPTICA RAYLEIGH PARA OS COMPRIMENTOS DE ONDA DAS MEDIDAS DS DO BREWER NOS 3 SÍTIOS DA CAMPANHA

λ (nm)	$\tau_R \pm 1\%$		
	Campo Grande	Natal	La Paz
306,3	1,05	1,09	0,72
310,1	0,99	1,03	0,68
313,5	0,95	0,99	0,65
316,8	0,91	0,94	0,62
320,1	0,87	0,91	0,60

As Tabelas D.4A,B,C apresentam os valores da espessura óptica de aerossóis (τ_{ae}) por turno e os respectivos dp ao longo da campanha nos 3 sítios.

TABELA D.4A - ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS EM CAMPO GRANDE
AO LONGO DA CAMPANHA

MANHÃ										
dj	τ_{aeL1}	dp	τ_{aeL2}	dp	τ_{aeL3}	dp	τ_{aeL4}	dp	τ_{aeL5}	dp
210			0,02	0,02	0,01	0,02	0,05	0,01	0,07	0,01
213	0,24	0,05	0,30	0,05	0,27	0,05	0,29	0,05	0,30	0,05
214	0,31	0,02	0,36	0,02	0,34	0,02	0,36	0,02	0,37	0,02
215	0,26	0,02	0,30	0,01	0,28	0,01	0,30	0,01	0,30	0,01
216	0,17	0,02	0,23	0,02	0,21	0,02	0,24	0,02	0,25	0,02
217	0,40	0,04	0,45	0,04	0,43	0,03	0,45	0,03	0,45	0,03
218	0,31	0,04	0,36	0,04	0,33	0,04	0,34	0,04	0,35	0,04
219	1,54	0,12	1,60	0,11	1,57	0,11	1,58	0,11	1,59	0,11
220	2,14	0,12	2,21	0,12	2,21	0,12	2,24	0,12	2,25	0,12
221	0,39	0,02	0,47	0,02	0,46	0,02	0,49	0,02	0,51	0,02
222	0,67	0,10	0,73	0,09	0,71	0,09	0,74	0,09	0,75	0,09
223	0,65	0,05	0,70	0,05	0,68	0,05	0,70	0,04	0,71	0,04
224	1,12	0,09	1,18	0,09	1,16	0,09	1,18	0,08	1,19	0,08
227	0,73	0,10	0,81	0,10	0,81	0,09	0,85	0,09	0,87	0,09
228			0,09	0,04	0,09	0,04	0,14	0,04	0,18	0,04
229	0,31	0,02	0,35	0,02	0,33	0,02	0,36	0,02	0,36	0,02
230	0,41	0,01	0,44	0,01	0,41	0,01	0,43	0,01	0,43	0,01
231	0,43	0,03	0,50	0,03	0,49	0,02	0,52	0,02	0,54	0,02
232	0,21	0,02	0,26	0,02	0,23	0,01	0,25	0,01	0,26	0,01
233	0,16	0,02	0,22	0,02	0,20	0,02	0,23	0,01	0,23	0,01
234			0,04	0,05	0,02	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
236	0,31	0,06	0,39	0,06	0,39	0,06	0,43	0,05	0,45	0,05
TARDE										
dj	τ_{aeL1}	dp	τ_{aeL2}	dp	τ_{aeL3}	dp	τ_{aeL4}	dp	τ_{aeL5}	dp
210	1,96	0,32	1,94	0,31	1,87	0,31	1,85	0,30	1,82	0,30
213	0,48	0,04	0,53	0,04	0,49	0,04	0,50	0,04	0,49	0,04
214	0,60	0,03	0,64	0,03	0,60	0,03	0,61	0,03	0,61	0,03
215	0,39	0,03	0,43	0,03	0,39	0,03	0,41	0,03	0,40	0,03
216	0,32	0,03	0,38	0,03	0,36	0,03	0,39	0,04	0,41	0,04
217	0,30	0,03	0,35	0,03	0,32	0,03	0,33	0,03	0,32	0,03
218	0,93	0,48	0,98	0,48	0,95	0,48	0,96	0,48	0,96	0,48
219	0,64	0,27	0,71	0,27	0,69	0,27	0,71	0,27	0,72	0,27
220	0,23	0,03	0,32	0,03	0,31	0,03	0,35	0,03	0,36	0,03
221	3,62	0,74	3,69	0,74	3,63	0,73	3,62	0,72	3,61	0,71
222	0,51	0,07	0,57	0,07	0,56	0,07	0,58	0,07	0,58	0,07
224	0,21	0,11	0,29	0,11	0,28	0,11	0,32	0,11	0,32	0,10
227	0,21	0,03	0,29	0,03	0,29	0,03	0,33	0,03	0,35	0,03
228	0,02	0,03	0,08	0,02	0,06	0,02	0,09	0,02	0,10	0,02
229	0,33	0,04	0,37	0,04	0,34	0,04	0,35	0,04	0,35	0,04
230	0,72	0,11	0,77	0,11	0,75	0,11	0,77	0,11	0,77	0,11
231	3,52	0,90	3,55	0,89	3,48	0,88	3,46	0,87	3,43	0,86
233	1,30	0,09	1,38	0,09	1,34	0,09	1,35	0,09	1,36	0,09
234	0,85	0,21	0,92	0,20	0,90	0,20	0,91	0,19	0,91	0,19

TABELA D.4B - ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS EM NATAL AO
LONGO DA CAMPANHA

MANHÃ										
dj	L1	dp	L2	dp	L3	dp	L4	dp	L5	dp
213			0,00	0,02			0,02	0,02	0,02	0,02
214	0,03	0,02	0,09	0,02	0,08	0,02	0,10	0,02	0,10	0,01
215			0,07	0,10	0,07	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10
216	0,06	0,04	0,14	0,02	0,14	0,01	0,16	0,01	0,16	0,01
217			0,03	0,08	0,01	0,08	0,03	0,09	0,04	0,09
218	0,03	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01	0,08	0,01
221	0,05	0,01	0,10	0,01	0,08	0,01	0,09	0,01	0,09	0,01
TARDE										
dj	L1	dp	L2	dp	L3	dp	L4	dp	L5	dp
214			0,01	0,03						
215	0,05	0,02	0,09	0,02	0,07	0,02	0,08	0,02	0,07	0,03
216	0,16	0,02	0,2	0,02	0,18	0,02	0,19	0,02	0,19	0,02
217	0,09	0,02	0,13	0,02	0,12	0,02	0,13	0,02	0,13	0,01
218	0,01	0,03	0,07	0,02	0,05	0,02	0,07	0,02	0,07	0,01
220	0,04	0,02	0,08	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01	0,08	0,01
223			0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02
225			0,02	0,14	0,02	0,14	0,04	0,14	0,04	0,14

TABELA D.4C - ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS EM LA PAZ AO
LONGO DA CAMPANHA

MANHÃ										
dj	L1	dp	L2	dp	L3	dp	L4	dp	L5	dp
213	0,11	0,02	0,15	0,01	0,13	0,01	0,14	0,01	0,14	0,01
214	0,11	0,01	0,16	0,01	0,13	0,01	0,15	0,01	0,15	0,01
215	0,07	0,02	0,11	0,02	0,09	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
216			0,02	0,07			0,00	0,07	0,00	0,07
217	0,22	0,04	0,29	0,04	0,26	0,04	0,27	0,04	0,27	0,03
218			0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
219	0,30	0,03	0,37	0,03	0,36	0,04	0,39	0,04	0,41	0,04
220	0,23	0,02	0,31	0,02	0,30	0,02	0,33	0,03	0,34	0,04
222	0,30	0,02	0,34	0,02	0,32	0,02	0,33	0,02	0,33	0,02
223	0,02	0,04	0,08	0,03	0,06	0,03	0,07	0,03	0,07	0,03
224	0,12	0,03	0,18	0,03	0,16	0,03	0,17	0,03	0,18	0,03
225	0,18	0,01	0,22	0,01	0,19	0,01	0,20	0,01	0,20	0,01
227	0,33	0,05	0,40	0,05	0,38	0,05	0,41	0,05	0,43	0,06
228	0,10	0,02	0,14	0,02	0,12	0,02	0,13	0,02	0,13	0,02
229			0,06	0,01	0,03	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
230	0,14	0,03	0,20	0,03	0,18	0,03	0,19	0,03	0,19	0,03
231	0,17	0,03	0,22	0,03	0,19	0,03	0,20	0,03	0,20	0,03
232	0,28	0,02	0,32	0,02	0,29	0,02	0,30	0,02	0,30	0,02
233	0,28	0,02	0,33	0,02	0,31	0,02	0,32	0,02	0,32	0,02
234	0,11	0,03	0,20	0,02	0,21	0,03	0,26	0,03	0,29	0,04
236	0,07	0,02	0,13	0,02	0,11	0,02	0,13	0,01	0,13	0,01
TARDE										
dj	L1	dp	L2	dp	L3	dp	L4	dp	L5	dp
214	0,81	0,12	0,84	0,11	0,81	0,11	0,83	0,11	0,81	0,10
217	0,17	0,03	0,21	0,03	0,18	0,03	0,19	0,03	0,19	0,03
218	0,10	0,02	0,13	0,02	0,10	0,02	0,11	0,02	0,10	0,02
219	0,20	0,02	0,25	0,02	0,23	0,01	0,24	0,01	0,24	0,01
223	0,07	0,06	0,11	0,06	0,09	0,06	0,11	0,06	0,10	0,06
224	0,27	0,05	0,30	0,04	0,28	0,03	0,29	0,03	0,28	0,03
225	0,17	0,04	0,21	0,04	0,18	0,04	0,20	0,04	0,20	0,03
227	0,67	0,07	0,75	0,08	0,75	0,10	0,79	0,11	0,81	0,12
228	0,16	0,07	0,19	0,06	0,16	0,06	0,17	0,06	0,17	0,06
229	0,20	0,03	0,24	0,03	0,21	0,02	0,22	0,02	0,22	0,02
232	0,55	0,10	0,62	0,11	0,62	0,12	0,65	0,12	0,67	0,13
233	0,13	0,02	0,16	0,02	0,14	0,01	0,15	0,01	0,15	0,01
236	0,16	0,02	0,20	0,02	0,17	0,01	0,19	0,01	0,18	0,01