

F18-27



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**DESENVOLVIMENTO DE UM  
ALGORITMO PARA O CÁLCULO DA  
ESPESSURA ÓPTICA DOS AEROSSÓIS A  
PARTIR DE DADOS DE UM  
FOTÓMETRO SOLAR**

AUTOR: JOSÉ LUÍS CAETANO DE SOUSA



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM  
ALGORITMO PARA O CÁLCULO DA  
ESPESSURA ÓPTICA DOS AEROSSÓIS A  
PARTIR DE DADOS DE UM  
FOTÓMETRO SOLAR**

**AUTOR: JOSÉ LUÍS C. DE SOUSA**

**SUPERVISOR: Dr.A. QUEFACE  
CO-SUPERVISOR: dr.L. MANUEL**

**MAPUTO, MAIO DE 2008**

---

## DECLARAÇÃO DE HONRA

O presente trabalho foi, completamente, realizado com base no material que ao longo do trabalho se faz referência. As idéias originais nele contidas são da inteira responsabilidade do autor.

Maputo, Maio de 2008

Autor

  
A handwritten signature in cursive script, reading "José Luís Caetano de Sousa", is written over a horizontal line.

( José Luís Caetano de Sousa)

---

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Lúcia Chico e Orlando Caetano de Sousa.

---

## AGRADECIMENTOS

Ao meu supervisor Dr. António Queface, pela orientação deste trabalho. Muito obrigado.

Aos dr. Luís Buchir, Dr. Amino Naran e dr. Julião Cumbane, pela disposição e contribuições prestadas.

Aos meus pais, pela oportunidade que me deram de poder estudar.

Aos meus irmãos e amigos pela força e apoio dado durante o curso.

A minha namorada Beatriz, pela paciência e compreensão.

Aos meus amigos Sr. Saúl e Sr. Souzinho, o meu obrigado pela amizade e pelos conselhos.

A todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para elaboração deste trabalho.

---

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mecanismos de formação dos aerossóis atmosféricos.....	5
<b>Figura 2</b> - Processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.....	6
<b>Figura 3</b> - Processos de atenuação da radiação solar através dos gases existentes na atmosfera terrestre.....	7
<b>Figura 4</b> - Absorção e espalhamento do feixe de luz incidente numa partícula.....	8
<b>Figura 5</b> - Plano de espalhamento e o ângulo de espalhamento de luz.....	9
<b>Figura 6</b> - Diminuição da amplitude da onda incidente devido á absorção.....	10
<b>Figura 7</b> - Geometria da atenuação da radiação solar pela atmosfera, em relação a um ponto de zénite, perpendicular à superfície terrestre.....	12
<b>Figura 8</b> - Hazemeter e seus componentes.....	17
<b>Figura 9</b> - Fenda de passagens de raios solares.....	19
<b>Figura 10</b> - Posicionamento do fotómetro em relação ao sol.....	20
<b>Figura 11</b> - Imagens do Microtops II.....	23
<b>Figura 12</b> - Imagem do LCD durante a medição.....	24
<b>Figura 13</b> - EOA no bairro do Alto-Maé no dia 07.08.07.....	27
<b>Figura 14</b> - EOA no bairro do Alto-Maé no dia 07.08.07.....	28
<b>Figura 15</b> - EOA no bairro do Xipamanine no dia 08.08.07.....	28
<b>Figura 16</b> - EOA no bairro do Xipamanine no dia 09.08.07.....	30
<b>Figura 17</b> - EOA no Campus Universitário no dia 14.08.07.....	30
<b>Figura 18</b> - EOA no Campus Universitário no dia 15.08.07.....	31
<b>Figura 19</b> - Gráfico de comparação dos valores de EOA dos valores medidos pelos instrumentos Microtops II e Hazemeter no dia 04.10.07.....	32
<b>Figura 20</b> - Gráfico de comparação dos valores de EOA dos valores medidos pelos instrumentos Microtops II e Hazemeter no dia 07.10.07.....	33
<b>Figura 21</b> - Gráfico de comparação dos valores de EOA dos valores medidos pelos instrumentos Microtops II e Hazemeter no dia 09.10.07.....	34
<b>Figura 22</b> - Gráfico de comparação dos valores de EOA dos valores medidos pelos instrumentos Microtops II e Hazemeter no dia 12.10.07.....	35

---

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\tau_{\lambda}^R$  - Espessura óptica devido ao espalhamento molecular de Rayleigh.

$\tau_{\lambda}^{GAS}$  - Espessura óptica de absorção devido às moléculas dos gases absorvedores.

$\tau_{\lambda}^{GAS}$  - Espessura óptica de aerossóis devido ao espalhamento e absorção.

$\sigma_e$  - Secção transversal de extinção.

$\sigma_a$  - Secção transversal de absorção.

$\sigma_s$  - Secção transversal de espalhamento.

$k_{\lambda}$  - coeficiente de absorção volumétrico.

$E_{\lambda}^0$  - Irradiância espectral extraterrestre.

$\mu$  - Massa óptica de ar.

$\alpha$  - parâmetro de Angstrom.

$\beta$  - Coeficiente de turbidez de Angstrom.

---

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Percentagem de transmissão em função da espessura óptica.....	15
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros de vários graus de limpidez atmosférica.....	16
<b>Tabela 3</b> - EOA medidas para $\lambda=500$ nm no dia 04.10.07.....	31
<b>Tabela 4</b> - EOA medidas para $\lambda=500$ nm no dia 07.10.07.....	32
<b>Tabela 5</b> - EOA medidas para $\lambda=500$ nm no dia 09.10.07.....	33
<b>Tabela 6</b> - EOA medidas para $\lambda=500$ nm no dia 12.10.07.....	34



---

## RESUMO

Neste trabalho de licenciatura é feito um estudo a interacção da radiação solar directa com os constituintes da atmosfera terrestre em particular os aerossóis. Ao atravessar a atmosfera, a radiação electromagnética é atenuada por processos de espalhamento e absorção causados pelas partículas (denominados aerossóis) e moléculas de gases atmosféricos. Estes fenómenos são relacionados através da grandeza espessura óptica. Foi desenvolvido um algoritmo para o cálculo da Espessura Óptica dos Aerossóis (EOA) a partir de dados medidos por um fotómetro solar. Para tal foram usados dois fotómetros solares, o Hazemeter e o Microtops II. As medições foram feitas em duas fases. Na primeira fase foram feitas medições de intensidades de radiação solar com o fotómetro solar Hazemeter em três pontos da cidade de Maputo (Alto-Maé, Xipamanine e Campus Universitário), com a finalidade de testar o algoritmo. Na segunda fase foram feitas medições simultâneas de radiação solar com os fotómetros solares Hazemeter e Microtops II, somente na zona do Alto-Maé. Os resultados indicam que com este algoritmo pode-se obter valores fiáveis de EOA e estes valores podem ser usados como indicadores de níveis de poluição. Verifica-se que existe uma correlação positiva entre os valores de EOA e a turbidez da atmosfera.

---

## ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Problema.....	2
1.3 Motivação.....	2
1.4 Área de estudo.....	3
1.5 Objectivo.....	3
<b>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Aerossóis.....	4
2.2 Transferência radiativa na atmosfera terrestre.....	6
2.3 Radiação UV.....	8
2.4 Propriedades ópticas da atmosfera.....	9
2.4.1 Extinção.....	9
2.4.2 Espalhamento.....	9
2.4.3 Absorção.....	11
2.5 A lei de Beer - Lambert.....	11
2.5.1 Derivação da lei de Beer - Lambert.....	11
2.5.2 Aplicações da Lei de Beer.....	14
2.5.2.1 Obtenção da espessura óptica atmosférica pelo método de Langley.....	14
2.6 Turbidez Atmosférica.....	16

---

<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
3.1 Procedimentos.....	17
3.2 Obtenção de dados.....	17
3.2.1 Hazemeter.....	18
3.2.1.1 Protocolo para efectuar medições com o Hazemeter.....	18
3.2.1.2 Download dos dados do Hazemeter.....	20
3.2.1.3 Interpretação dos dados do Hazemeter.....	22
3.2.2 Microtops II.....	23
3.2.2.1 Protocolo para efectuar medições com o Microtops II.....	24
3.2.2.2 Comunicação com o computador.....	24
3.3 Análise dos dados.....	25
3.3.1 Espessura óptica dos constituintes da atmosfera incluindo ozono.....	25
3.3.2 Espessura óptica dos aerossóis.....	26
3.3.3 Algoritmo para o cálculo da EOA.....	26
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
4.1 Valores de EOA para diferentes pontos de medição.....	27
4.1.1 Alto-Maé.....	27
4.1.2 Xipamanine.....	28
4.1.3 Campus Universitários.....	29
4.2 Comparação dos valores de EOA.....	31
4.2.1 Gráficos de comparação.....	31
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>36</b>
5.1 Conclusões.....	36
5.2 Recomendações.....	37
<b>CAPÍTULO 6 - BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS</b>	

---

## CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado uma introdução sobre o tema em estudo, o problema, a motivação, a área de estudo e os objectivos.

### 1.1 Contextualização

O interesse científico pelos aerossóis atmosféricos começou a manifestar-se a partir do século XVIII, na era do Iluminismo, acompanhando o rápido desenvolvimento verificado em diversas áreas das ciências naturais. Surgiram, neste período, diversas teorias focalizadas essencialmente na origem da matéria particulada e nas consequências da sua presença na atmosfera.

No final do século XIX, são relatados estudos de vários geólogos, nos quais se estabelece a conexão entre a formação do solo e a presença dos aerossóis na atmosfera. Simultaneamente, os meteorologistas reconhecem as múltiplas influências que os aerossóis exercem na formação da precipitação, na visibilidade atmosférica e no balanço térmico e radiativo.

No século XX, a ciência e a tecnologia dos aerossóis conheceram avanços significativos decorrentes do interesse crescente no estudo das suas características físico-químicas e dos seus efeitos ambientais. Não obstante a avultada acumulação de conhecimentos, fruto do notável empenho da comunidade científica nas últimas décadas, persistem numerosas lacunas cuja colmatação é imperiosa para uma percepção abrangente da participação dos aerossóis na química da atmosfera.

O entendimento detalhado dos mecanismos de formação, magnitude das emissões, reactividade, composição e impacto ambiental da matéria particulada exige ainda a conjugação de esforços a nível internacional e uma aposta na experimentação.

Moçambique sendo um país em franco desenvolvimento, possui inúmeras fontes de aerossóis. As principais fontes provém do rápido crescimento da frota automóvel (queima de combustível fóssil principalmente gasolina e diesel), para além da maioria da população usar biomassa como fonte de energia (queima de biomassa principalmente lenha e carvão vegetal). No caso particular de Maputo, onde foi realizado este estudo, temos por exemplo a lixeira de Hulene como uma fonte identificada de aerossóis devido a queima do lixo.

---

## 1.2 Problema

Em Moçambique, a semelhança de muitos países em vias de desenvolvimento, pouco se sabe sobre os aerossóis ou sobre estes e sua relação alguns fenómenos atmosféricos. Por isso os conhecimentos relativos aos aerossóis são limitados ou quase inexistentes, apesar de já começar a notar-se um esforço no sentido de difundir-se conhecimentos acerca dos fenómenos atmosféricos.

## 1.3 Motivação

A cidade de Maputo tem registado um crescimento notável ao longo dos anos. Isto é fácil de se verificar, basta olharmos para os constantes congestionamentos de tráfego devido ao crescimento rápido da frota automóvel, as grandes quantidades de resíduos sólidos produzidos, densidade populacional elevada, construção de edifícios entre outros.

Este crescimento vem sendo acompanhado por um crescente consumo de combustíveis fósseis e de biomassa como fontes de energia. Estes factores contribuem para a emissão de partículas (aerossóis) para a atmosfera, destacando-se o uso de combustíveis fósseis e de biomassa, como duas das principais fontes de emissão de partículas. Deste modo a cidade de Maputo está vulnerável a contaminação do ar por partículas, bem como do perigo que estas representam para as populações que aqui vivem ou seja dos seus impactos ambientais.

Com este trabalho, para além de se pretender encontrar um método fácil de obtenção da espessura óptica dos aerossóis (EOA), os resultados obtidos podem ser correlacionados com a turbidez da atmosfera. Ou seja pode-se obter dados que indicarão se estamos na presença de uma atmosfera limpa ou poluída.

Por isso espera-se com a elaboração deste algoritmo para o cálculo da EOA, contribuir para a obtenção de instrumentos que nos auxiliem na compreensão de alguns fenómenos atmosféricos, bem como obter dados preliminares dos níveis de poluição, que as cidades estão submetidas. Podendo assim, ajudar a traçar medidas que visam mitigar os problemas que advém da poluição atmosférica.

---

#### 1.4 Área de estudo

O trabalho foi realizado na cidade de Maputo (latitude 25° 58'; longitude 32° 35' Este; altitude 72 m), em duas fases. Na primeira, foram feitas medições em três pontos distintos da cidade nomeadamente Alto-Maé, Xipamanine e Campus Universitário. Na segunda fase, foram feitas medições somente no bairro do Alto-Maé.

#### 1.5 Objectivos

O objectivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um algoritmo para o cálculo de espessura óptica dos aerossóis a partir de dados medidos por um fotómetro.

São objectivos específicos deste trabalho:

- Determinar a espessura óptica dos principais constituintes da atmosfera, i.é, moléculas do ar, incluindo o ozono estratosférico.
- Calcular a espessura óptica dos aerossóis a partir de dados de um fotómetro aplicando a lei de Beer-Lambert.
- Compilar um código computarizado para o cálculo da espessura óptica dos aerossóis.
- Calibrar o respectivo código com ajuda de dados do Microtops II.

---

## CAPÍTULO 2-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os fundamentos teóricos que ajudaram na elaboração do presente trabalho.

### 2.1 AEROSSÓIS

Aerossóis é o conjunto de partículas líquidas e gasosas suspensas em um meio gasoso (Almeida,1999). O termo aerossol inclui tanto as partículas quanto o gás no qual elas estão imersas, o ar no caso da atmosfera. Podem ser de origem natural (por exemplo, poeira do solo suspensa pela acção do vento), ou podem também ter origem antropogénica (por exemplo, da emissão de particulados da combustão dos combustíveis fósseis). Sua remoção da atmosfera ocorre principalmente por nuvens e por processos de deposição seca ou húmida (Chalson e Heitzenberg, 1995).

A interacção do vapor de água com uma fracção de aerossol resulta no desenvolvimento de nuvens e nevoeiros, e é provavelmente o processo mais importante de transformação de partículas por aglomeração. O vapor de água condensa-se preferencialmente sobre as partículas e moléculas higroscópicas.

A caracterização das partículas de aerossol com relação ao seu tamanho pode ser feita a partir de seu raio ou diâmetro equivalente. Entretanto, como as partículas possuem formas não necessariamente esféricas, é comum caracterizar o seu tamanho a partir do diâmetro aerodinâmico. Define-se diâmetro aerodinâmico como o diâmetro de uma esfera unitária ( $\rho=1 \text{ g.cm}^{-3}$ ) que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (Hinds, 1982).

Os aerossóis atmosféricos possuem tamanho que, em geral, variam de cerca de 0,01 a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro e podem ser classificados em duas modas principais de acordo com o seu tamanho: partículas de moda fina, que possuem tamanhos menores que 2  $\mu\text{m}$  e partículas de moda grossa, com diâmetro acima de 2  $\mu\text{m}$ .

As características dos aerossóis atmosféricos dependem de sua origem e idade. Em geral eles podem viajar grandes distâncias transportadas pelas correntes dos ventos (Trosnickov e Nobre, 1996), podendo ser classificados a partir de sua origem (figura 1).

A camada de aerossóis na atmosfera pode ser representada pela espessura óptica dos aerossóis  $\tau_{\lambda}^{aer}$ . Quando a radiação solar incide sobre uma camada de aerossóis ela é atenuada por um valor que depende de  $\tau_{\lambda}^{aer}$ .

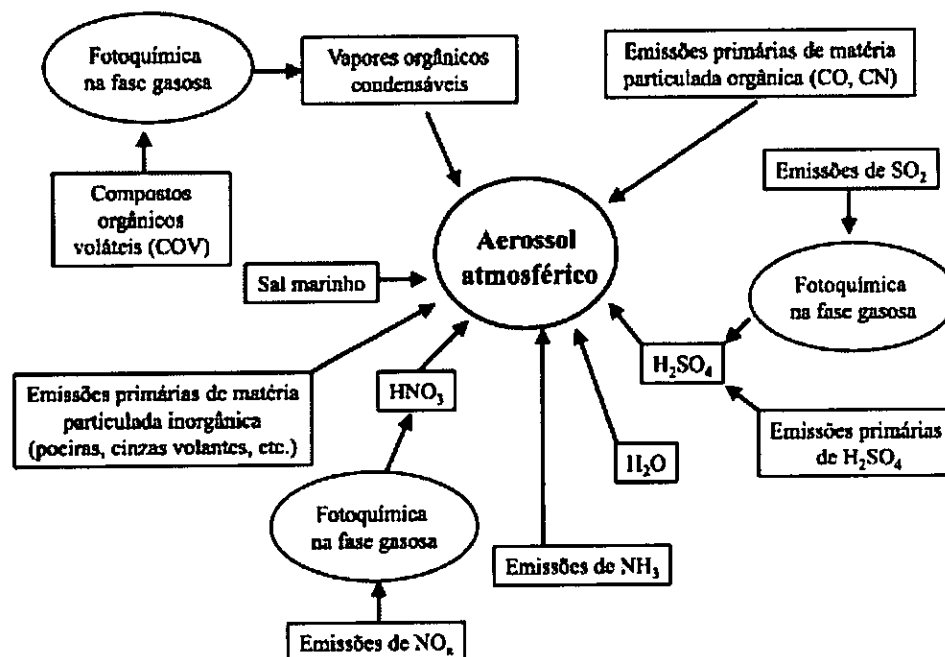


Figura 1- Mecanismos de formação dos aerossóis atmosféricos.

## 2.2 TRANSFERÊNCIA RADIATIVA NA ATMOSFERA TERRESTRE

Para a atmosfera terrestre, a principal fonte de energia eletromagnética é a radiação solar. A radiação solar incidente sobre uma superfície horizontal é denominada radiação global, possuindo uma componente directa, correspondendo aos fótons provenientes directamente do feixe solar, e uma componente difusa, sendo esta constituída pelos fótons que sofreram espalhamentos múltiplos na atmosfera e foram redireccionados para a superfície terrestre.

A figura 2 apresenta um diagrama com os principais processos de interacção da radiação solar e da radiação térmica na atmosfera. Trata-se de um esquema bastante simplificado dos processos



envolvidos no balanço radiativo do planeta, onde apenas o efeito médio global de todos os processos está representado. O valor de cada componente pode variar significativamente de uma região para outra do planeta e de um período do ano para outro ( Fernando Martins et al, 2004).

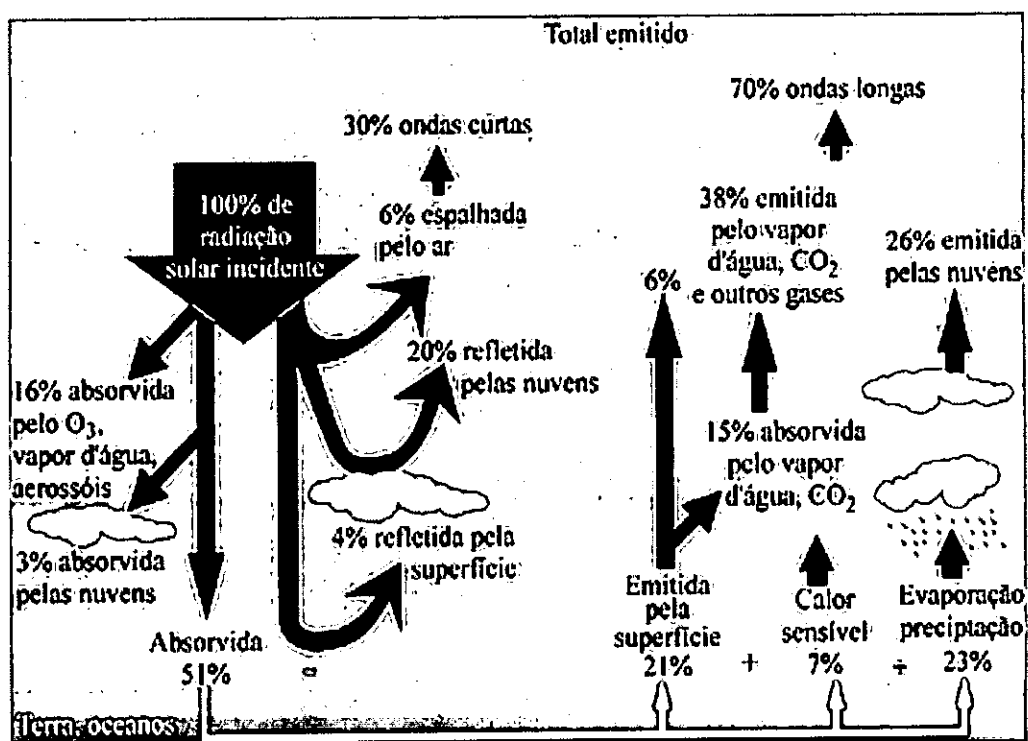


Figura 2 - Processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.

Na atmosfera terrestre, a absorção ocorre devido à presença de moléculas ou átomos com fortes bandas ou linhas em uma dada faixa de comprimentos de onda. Por exemplo, o O<sub>2</sub> (oxigênio molecular) e o O<sub>3</sub> (ozono) apresentam fortes bandas de absorção na região ultravioleta (0,001-0,39 mm) do espectro eletromagnético, e outras espécies como H<sub>2</sub>O (vapor de água) e CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) absorvem fortemente na região do infravermelho (0,7 - 1000 mm). Entretanto há na atmosfera terrestre outros elementos químicos que actuam como agentes participantes da extinção da radiação solar, entre os quais o CH<sub>4</sub> (metano), o N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) e outros.

Através da figura 3 podemos observar o processo de atenuação da radiação solar através dos gases existentes na atmosfera terrestre (A- o espectro de emissão de um corpo negro em cerca de 6000° K, B- a irradiância solar no topo da atmosfera terrestre e C- a irradiância solar ao nível do mar.)

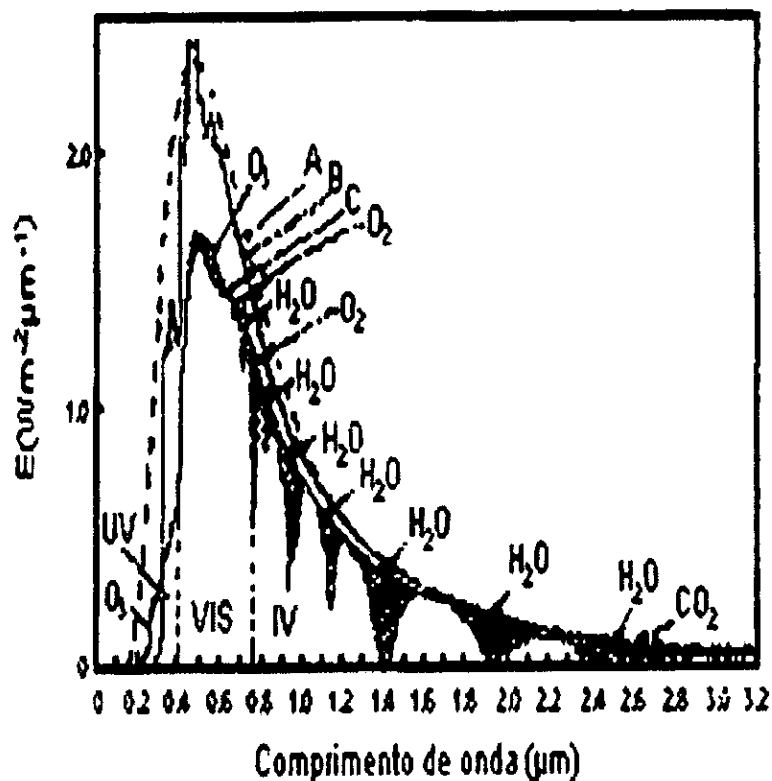


Figura 3- Processo de atenuação da radiação solar através dos gases existentes na atmosfera terrestre.

A teoria da transferência radiativa expressa a interação da radiação com a matéria, descrevendo como um feixe de fótons é afectado pela presença em seu caminho de propagação de partículas (átomos, moléculas ou aerossóis) opticamente activas, ou seja, capazes de absorverem ou espalharem a radiação.

Um parâmetro de grande relevância em termos de balanço radiativo são as nuvens, que são observadas cobrindo parte do planeta praticamente todo tempo. As nuvens exercem papel muito importante, refletindo intensamente e absorvendo a radiação solar na faixa de 8 a 12 μm. Elas apresentam um elevado índice de reflectividade que varia com a espessura das mesmas e com a quantidade de água nelas existentes.

## 2.4 PROPRIEDADES ÓPTICAS DA ATMOSFERA

### 2.4.1 Extinção

Quando as partículas do aerossol são iluminadas por um feixe de luz, ocorre o espalhamento e absorção desta luz pelas partículas do aerossol, resulta então uma atenuação na intensidade do feixe de luz. Este processo é chamado extinção (Hinds, 1984).

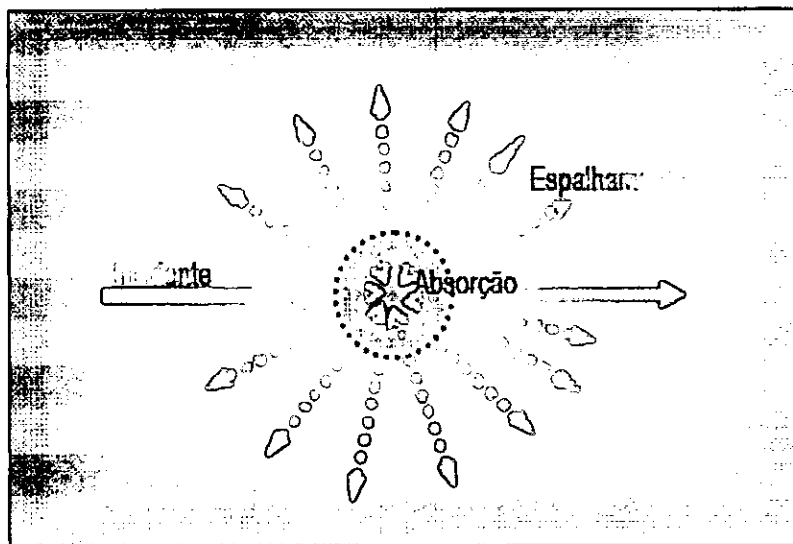


Figura 6 - Absorção e espalhamento do feixe de luz incidente numa partícula.

### 2.4.2 Espalhamento

O espalhamento da luz pela partícula do aerossol está governado pelo parâmetro de tamanho  $\alpha$  que relaciona o tamanho da partícula com o comprimento de onda  $\lambda$  de radiação incidente. A interação da luz com as partículas do aerossol está descrita em termos da distribuição angular da luz espalhada. O modelo de espalhamento angular da luz depende principalmente do índice de refração e do parâmetro de tamanho  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \quad (1)$$

O plano que se forma entre o feixe de luz incidente na partícula do aerossol e os raios da luz espalhada é chamado **plano de espalhamento**, e o ângulo formado por eles é chamado **ângulo de espalhamento**  $\theta$  (figura 5).

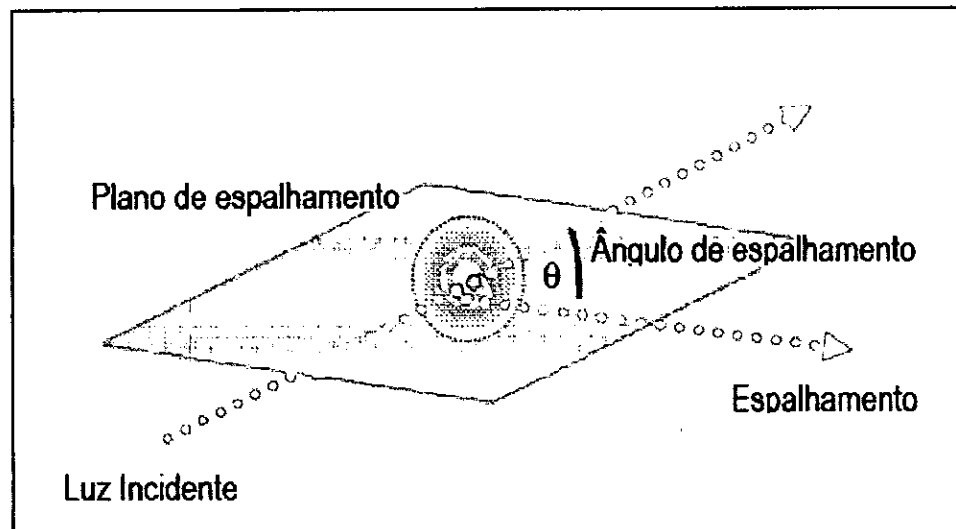


Figura 5 - Plano de espalhamento e o ângulo de espalhamento de luz.

A luz espalhada por uma partícula é um indicador sensível do tamanho da partícula, o que permite medir o tamanho das partículas de aerossol com simples instrumentos. A teoria geral do espalhamento da luz pelos aerossóis foi desenvolvida em 1908 por Mie e fornece a equação da intensidade de luz espalhada por uma partícula em qualquer ângulo  $\theta$ , mas precisa-se conhecer o índice de refração ( $m$ ) e o parâmetro de tamanho ( $\alpha$ ). O espalhamento da luz por partículas individuais depende do tamanho, forma, índice de refração da partícula e do comprimento de onda da luz incidente (Hidy, 1984).

Existem dois mecanismos de espalhamento da luz, o espalhamento de Rayleigh e o espalhamento de Mie. O espalhamento de Rayleigh ocorre quando as dimensões das partículas espalhadoras são muito menores que o comprimento de onda do feixe incidente ( $r < 0,1\lambda$ ). O espalhamento de Mie acontece quando o tamanho das partículas espalhadoras são da mesma ordem de magnitude que o comprimento de onda do feixe incidente ( $r \approx 0,1\lambda$ ).

A diminuição da visibilidade é a manifestação mais óbvia da poluição do ar, que resulta principalmente do espalhamento da luz por partículas atmosféricas. Os efeitos da poluição sobre o espalhamento da luz são fortes nas áreas urbanas e industriais. No controle da poluição do ar é

muito importante a determinação da contribuição das diferentes fontes de emissão que influenciam o espalhamento total da luz (Hidy, 1984).

### 2.4.3 Absorção

Segundo Liou (1980), geralmente, o espalhamento é seguido de absorção. A absorção é um fenómeno termodinâmico que resulta na perda efectiva de energia para os constituintes atmosféricos, ocorrendo de forma selectiva em comprimentos de onda específicos, mas abrangendo todo o espectro óptico. Ou seja consiste na transformação, pelas partículas, da energia disponível sob a forma electromagnética, em energia interna das partículas, a qual poderá ou não ser irradiada posteriormente, dependendo da estrutura electrónica e da distribuição dos níveis quânticos da partículas.

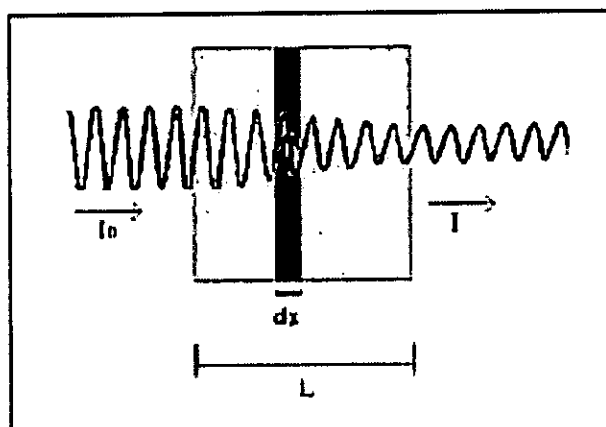


Figura 6 - Diminuição da amplitude da onda incidente devido à absorção.

## 2.7 A LEI DE BEER-LAMBERT

### 2.7.1 Derivação da lei de Beer-Lambert

Na atmosfera a absorção e o espalhamento ocorrem simultaneamente e a atenuação da radiação em um meio real é expressa pela secção transversal de extinção (*extinction cross section*)  $\sigma_\lambda$  definida pela soma das secções transversais de absorção  $\sigma_a$  e espalhamento  $\sigma_s$  como :

$$\sigma_\lambda = \sigma_a + \sigma_s \quad (2)$$

---

A secção transversal de extinção é um factor de ponderação indicando a eficiência em cada comprimento de onda com que a molécula absorve ou espalha a radiação, ou também pode ser compreendida em termos da probabilidade de uma molécula absorver ou espalhar um fóton incidente.

Para quantificar a atenuação de radiação em um meio contendo um material opticamente activo, define-se a espessura óptica. A espessura óptica indica a quantidade de material absorvedor e espalhador opticamente activos encontrados no caminho atravessado pelo feixe de radiação, sendo adimensional. É expressa como a integral ao longo do caminho óptico do produto da quantidade total de moléculas presentes no meio e a secção transversal de extinção para cada comprimento de onda. A espessura óptica é expressa por :

$$\tau_{\lambda} = \int \sigma_{\lambda} N(x) dx \quad (3)$$

Na equação (10),  $\sigma_{\lambda}$  é a secção transversal de extinção,  $dx$  o caminho de integração e  $N(x)$  a densidade numérica por volume de átomos ou moléculas opticamente activos (Coulson, 1975).

Se a irradiância monocromática que entra no meio é  $E_1$  e após atravessar uma espessura  $ds$  do meio a intensidade que sai é  $E_1 + dE_1$ , a atenuação da radiação pode ser expressa na forma :

$$dE_1 = -k_{\lambda} E_{\lambda} . ds \quad (4)$$

sendo  $k_{\lambda}$  o coeficiente de absorção volumétrico. Esta expressão indica que o feixe radiativo sofre atenuação proporcional à intensidade do próprio feixe e à quantidade de matéria opticamente activa no caminho. Isto indica que a atenuação da radiação solar depende linearmente da quantidade total de atenuadores no caminho. O coeficiente de absorção volumétrico relaciona-se com a secção transversal de extinção através de :

$$k_{\lambda} = \sigma_{\lambda} N \quad (5)$$

Integrando-se a equação (4), e utilizando-se a equação (5), obtém-se:

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^0 . \exp(- \int \sigma_{\lambda} N ds) \quad (6)$$

Na equação (6),  $E_{\lambda}^0$  representa a irradiância espectral extraterrestre ou no topo da atmosfera terrestre.

Para a atmosfera terrestre, o comprimento de caminho  $ds$  é definido em termos do comprimento de caminho na vertical  $dz$  e do ângulo solar de zênite  $\alpha$ . A figura 7 apresenta a geometria dos comprimentos de caminho na atmosfera terrestre.

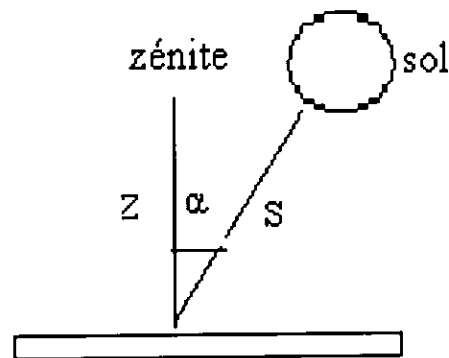


Figura 7 - Geometria da atenuação da radiação solar pela atmosfera, em relação a um ponto de zênite, perpendicular à superfície terrestre.

O ângulo formado entre a posição do sol e o zênite é denominado ângulo solar de zênite  $\alpha$ . Para uma aproximação plano-paralela da atmosfera, a massa de ar óptica atravessada pelo feixe de radiação é dado por  $\mu = \sec(\alpha)$ . A equação (6) pode ser escrita na forma :

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^0 \cdot \exp(-\sec \alpha \int \sigma_{\lambda} N dz) \quad (7)$$

Na equação (7), a integral equivale a definição da espessura óptica dada pela equação (6). O termo  $\sec \alpha$  pode ser substituído pela "massa de ar óptica  $m$ ", a qual é definida como um termo para descrever o caminho atravessado pela radiação solar para atingir a superfície terrestre, dada pelo quociente entre o comprimento de caminho da radiação solar directa através da atmosfera pelo comprimento de caminho vertical na atmosfera.

Para ângulos solares de zênite menores que  $60^{\circ}$ , a aproximação  $m = \sec \alpha$  é válida, pois a aproximação plano-paralela para a atmosfera terrestre pode ser utilizada (Lenoble, 1993). A equação (6) pode ser escrita como :

---

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^0 \cdot \exp(-\tau_{\lambda} \mu) \quad (8)$$

A equação (8) representa a lei de Beer para a atenuação da radiação solar directa pela atmosfera planetária. Ela demonstra que um feixe monocromático radiactivo, ao atravessar um meio homogêneo e opticamente activo, sofrerá uma atenuação exponencial neste meio.

## 2.5.2 Aplicações da Lei de Beer-Lambert

### 2.5.2.1 Obtenção da espessura óptica dos aerossóis

Lineariza-se a lei de Beer (equação 8) aplicando-se o logaritmo natural :

$$\ln(E_{\lambda}) = \ln(E_{\lambda}^0) - \tau_{\lambda} \mu \quad (9)$$

Como o fotómetro solar, mede uma voltagem (V) proporcional á irradiância incidente ( $E=KV$ , onde K é uma constante, o que indica uma resposta linear do aparelho) a equação (9) pode ser escrita para a espessura óptica total de forma:

$$\tau = -\cos \alpha \cdot \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (10)$$

Onde  $\alpha$  é o ângulo solar zenital no instante de medição,  $V_0$  e V são tensão no topo da atmosfera e a tensão medida pelo fotómetro respectivamente.

A espessura óptica total pode ser decomposta em três componentes, a saber:

$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda}^R + \tau_{\lambda}^{gas} + \tau_{\lambda}^{aer} \quad (11)$$

em que  $\tau_{\lambda}^R$  representa a espessura óptica devido ao espalhamento molecular Rayleigh,  $\tau_{\lambda}^{gas}$  é a espessura óptica de absorção devido às moléculas de gás absorvedor e  $\tau_{\lambda}^{aer}$  representa a espessura óptica de aerossóis devido a espalhamento e absorção.



---

A espessura óptica de gases pode ser calculada conhecendo-se a coluna total do gás na atmosfera, a qual pode ser obtida por medidas de satélite ou com instrumentos na superfície, e a secção transversal de absorção do gás.

A espessura Rayleigh é calculada da teoria de transferência radiactiva, mas numerosas expressões empíricas também encontram-se disponíveis (Teillet, 1990).

Isolando-se a componente relativa aos aerossóis obtém-se:

$$\tau_{\lambda}^{aer} = \tau_{\lambda} - (\tau_{\lambda}^R + \tau_{\lambda}^{gas}) \quad (12)$$

É mais fácil perceber o conceito de espessura óptica quando esta é expressa em termos de percentagens de luz que é transmitida através da atmosfera, de acordo com a fórmula:

$$\text{Percentagem de transmissão} = 100 \cdot \exp(-\tau_{\lambda}^{aer}) \quad (13)$$

Onde  $\tau_{\lambda}^{aer}$  é a espessura óptica dos aerossóis para um determinado comprimento de onda. Este cálculo fornece a percentagem de transmissão de luz de um certo comprimento de onda que pode ser transmitido através da atmosfera.

## 2.6 TURBIDEZ ATMOSFÉRICO

A turbidez é definida como “qualquer condição da atmosfera que reduz a transparência á radiação, especialmente a radiação visível”. Todos materiais em suspensão afectam a turbidez da atmosfera.

A turbidez atmosférica é proponderantemente um elemento indicador da concentração dos aerossóis na atmosfera local e também são parâmentos essenciais na estimativa da performace máxima de colectores solares, bem como na máxima eficiência fotossintética em plantas (Berninger, 1994).

Vários estudos da espessura óptica dos aerossóis e da sua dependência espectral, usam o expoente  $\gamma$  do comprimento de onda e  $\beta$  é o coeficiente de turbidez de Angstrom:

$$\tau_{\lambda}^{aer} = \beta \cdot \lambda^{-\gamma} \quad (14)$$

---

Onde  $\lambda$  é o comprimento de onda em micrometros,  $\gamma$  o parâmetro de Angstrom.

O coeficiente de turbidez de Angstrom  $\beta$  representa a concentração de aerossóis em uma coluna vertical na atmosfera local, cujo valor varia de 0,0 a 0,5 e classificado conforme a tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros de vários graus de limpidez atmosférica (Iqbal, 1983)

$\beta$	Classificação	Visibilidade (km)
0,0	Limpo	340
0,1-0,2	Claro	28
0,2-0,3	Túrbido	11
>0,3	Muito túrbido	<5

---

## **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.**

A metodologia utilizada neste trabalho envolveu três fases, á saber: a obtenção dos dados, a análise dos dados e elaboração do algoritmo para o cálculo da EOA.

### **3.1 PREPARAÇÃO PARA EFECTUAR AS MEDIÇÕES**

Para efectuar-se as medições é preciso ter em conta : a latitude, a longitude e a elevação do local de medição. Os outros parâmetros necessários são:

#### **3.1.1 Tempo**

É necessário indicar o tempo em que foi efectuada a medição, para calcular a posição do sol. Pode ser usado um relógio digital.

#### **3.1.2 Condições do céu**

Quando registamos as medições do fotómetro, devemos também registar as condições do céu, i.é, se está nublado, pouco nublado ou limpo. A cor do céu é uma medida subjectiva mas permite-nos ser consistentes nas nossas observações, por exemplo, um céu azul brilhante permite-nos facilmente concluir que está associado a uma baixa concentração de aerossóis.

#### **3.1.3 Temperatura**

As componentes electrónicas do Hazemeter, especialmente os detectores com LED, são sensíveis a temperatura. Isto significa que devemos tomar em atenção a temperatura no interior do fotómetro, pois pode afectar a performance do instrumento. Por isso, a alguns procedimentos a ter em conta, tais como: manter o fotómetro dentro da sala (se estivermos a efectuar medições na faculdade por exemplo) a temperatura ambiente, e leva-lo para fora da sala somente na altura que estivermos preparados para efectuar as medições.

### 3.1.4 Pressão Barométrica

A pressão no lugar de observação de ser requerida de acordo com o cálculo da espessura óptica. Para o presente trabalho os dados são de pressão média diária na cidade de Maputo e foram fornecidos pelo INAM.

## 3.2 OBTENÇÃO DE DADOS

A obtenção de dados foi feita através de medições intensidades de luz solar, utilizando os fotómetros solares Hazemeter e Microtops II.

### 3.2.1 Hazemeter

O instrumento hazemeter é um fotómetro solar que detecta energia transmitida pelo sol (figura 8). O hazemeter faz medidas simultâneas para cada um dos quatro tubos de detecção de luz solar ou canais de filtro fotodiódos.

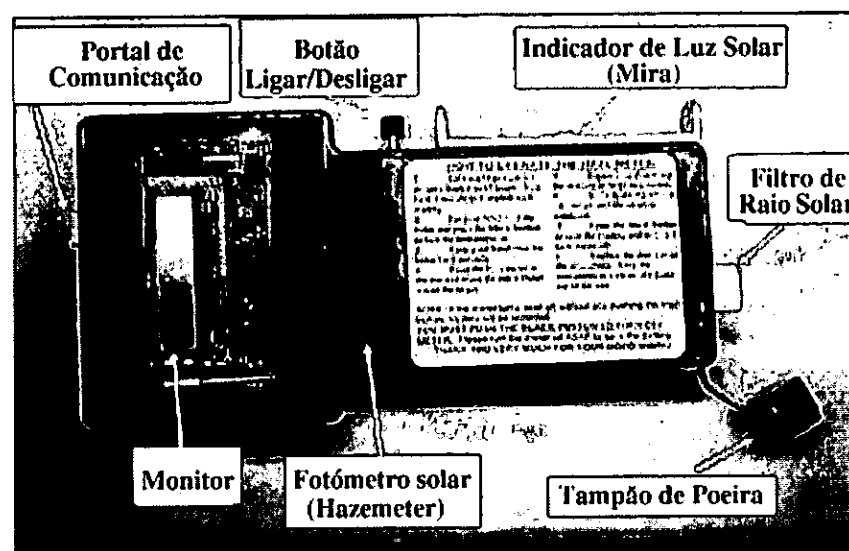


Figura 8 - Hazemeter e seus componentes

---

O canais do filtro fotodíodo isolam os comprimentos de onda seguintes: 880 (infra-vermelho), 650 (visível), 500 (visível), e 405 nm (visível) (figura 8). Quando a energia passa através dos tubos de detecção de luz solar, cada filtro isola um determinado comprimento de onda para ser analisado pelo instrumento.

O instrumento registrará a voltagem que lê para cada filtro. A voltagem é proporcional à intensidade de luz solar determinada a um certo comprimento de onda específico ( a luz solar ao atingir o díodo emissor de luz, produz uma corrente muito pequena, que de seguida é amplificada convertendo essa corrente em tensão)

### 3.2.1.1 Interpretação dos dados do Hazemeter

O download dos dados pode ser feito para uma página em Excel. Os dados gravados pelo hazemeter não têm nenhum valor até serem processados. A seguinte lista descreve a ordem dos dados obtidos pelo Hazemete.

Leitura # - número de leitura

**Canal 1-** valor máximo gravado pelo canal de 880 nm

**Canal 2-** valor máximo gravado pelo canal de 650 nm

**Canal 3-** valor máximo gravado pelo canal de 500 nm

**Canal 4-** valor máximo gravado pelo canal de 405 nm

**Min 1-** valor mínimo gravado pelo canal de 880 nm

**Min 2-** valor mínimo gravado pelo canal de 650 nm

**Min 3-** valor mínimo gravado pelo canal de 500 nm

**Min 4-** valor mínimo gravado pelo canal de 405 nm

**BattmV** - tensão da bateria em milivolts.

**10TC** - temperatura corrente em graus Celsius multiplicado por 10.

**Tempo-** tempo da leitura segundo o formato: horas/minutos/segundos.

**Data-** data da leitura segundo o formato: dia/mês/ano.

### 3.2.1.2 Protocolo para medições com o Hazemeter

Este protocolo permite fazer medições de aerossóis na atmosfera. Efectuaremos medições de 1h em 1h hora. Para tal é necessário:

- Hazemeter.
- Folhas para lançamento dos dados.

No campo:

1. Nunca deve-se olhar directamente para o sol, pois pode causar lesões a vista.
2. As medições devem ser feitas durante o dia quando as nuvens não estejam a obstruir o sol.
3. A tampa no topo do Hazemeter deve ser removida e com a mão tapa-se os tubos de detecção de luz solar.
4. O Hazemeter deve ser ligado pressionando o botão preto do lado esquerdo do aparelho uma vez. O visor do Hazemeter mostrará "Press for raw" alguns segundos depois então o visor mostrará "Channel: A" lendo. Os valores deve ser aproximadamente entre 0 e 10.
5. Agora, orienta-se Hazemeter para o sol (com a mão ainda a tapar a entrada dos tubos de detecção de luz solar), alinha-se a imagem do sol que passa através da fenda com o ponto negro no alvo.

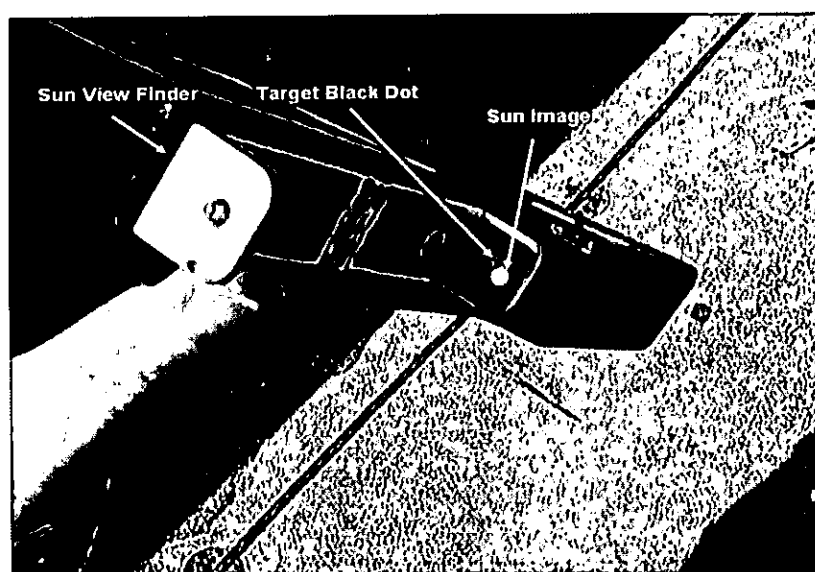


Figura 12- Fenda de passagem dos raios solares

6. Quando a imagem do sol estiver bem alinhado no ponto preto, retira-se a mão.
7. A imagem do sol pode ser movida devagar em diferentes direcções através do ponto negro no alvo que passa através da fenda. Ao mesmo tempo o monitor do Hazemeter mostrará o valor máximo medido.
8. Se o valor registado não diminuir depois de alguns segundos(5-10s), pressiona-se o botão preto do lado esquerdo do hazemeter para gravar a medição e desligar-se o instrumento.
9. Os pontos 3 de 7 devem ser repetidos para efectuar mais medições.

**Notas:**

- O Hazemeter desligar-se a um minuto depois de ser ligado (esta característica foi introduzida no instrumento para poupar a bateria).
- Se o Hazemeter desligar-se antes de pressionar-se o botão preto, a medição não será guardada na sua memória. Deve-se efectuar a medição novamente.

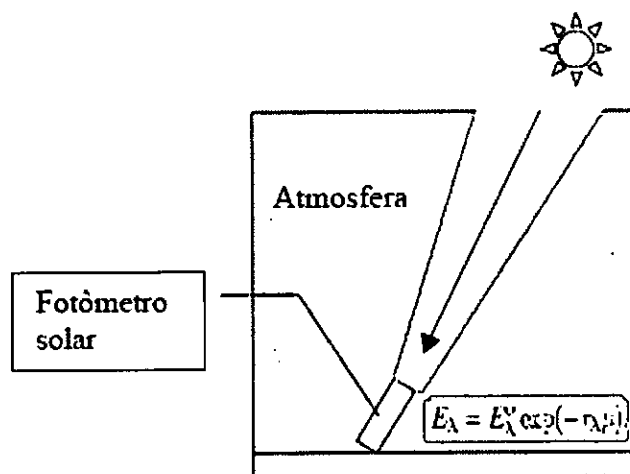


Figura 10 - Posicionamento do fotômetro em relação ao sol (Paulo de Souza, 2003)

### 3.2.1.3 Protocolo para efectuar o download dos dados do Hazemeter

Para efectuar o download dos dados medidos pelo Hazemeter para o computador devemos criar um ficheiro para guardar a informação obtida.

---

Para tal precisamos de :

- Hazemeter
- Cabo para transferência de dados.
- Computador com software Hyperterminal.

**Modo de execução:**

1. Conectamos o Hazemeter com o computador ( no portal 1), como mostra a figura.
2. HyperTerminal está disponível em todos sistemas que operam com windows. Se entramos pela primeira vez procedemos de modo seguinte (se o Office estiver em Inglês):

Start → Programs → Accessories → Communications → HyperTerminal.

De seguida:

- Introduzimos informação relativa ao código inicial da área em que nos encontramos (para Moçambique o código é 21).
- Introduzimos o nome da ligação: Hazemeter.

Seleccionamos os parâmetros seguintes:

- Bits per second: 9600.
- Data bits: 8.
- Parity: None.
- Stop bits: 1.
- Flow Control: None.
- E finalmente clicamos OK.

3. Se os dados não fazem dowload pela primeira vez, seleccionamos a ligação Hazemeter HyperTerminal.
4. No HyperTerminal, seleccionamos "Transfer" and "Capture Text" para criar um novo ficheiro.



- 
5. Nomeamos o ficheiro em uso segundo o formato: **200707UEMUniversitário\_99.txt** (onde 200707 é dia/mês/ano, seguido da instituição de ensino, nível de ensino e número do instrumento). Depois do nome ser registado, clicamos OK (como mostra a figura em anexo).
  6. Ligamos o Hazemeter pressionando o botão preto no lado esquerdo do instrumento. O Hazemeter mostrará "RS232 Remote" e a informação começará a ser transferida para o computador.
  7. Pressionamos "D" para fazer o download dos dados do Hazemeter. O menu aparecerá novamente quando o dowload estiver completo. No HyperTerminal, seleccionamos "Transfer" and "Capture Text...Stop" para fechar o ficheiro de captura ( file capture).
  8. Depois de cada dowload, pressionamos "I" para limpar a memória do Hazemeter.
  9. Introduzimos o número do instrumento localizado acima do visor do Hazemeter escrito em marcador preto no corpo do circuito. Se o número é por exemplo 33 introduzimos 033.
  10. Pressionamos "O" para desligar o Hazemeter. Uma vez desligado pode-se desligar o cabo.

### **3.3 Microtops II**

Microtops é um fotómetro solar com 5 canais 380, 440, 500, 675 e 870 nm. O instrumento é equipado de 5 colimadores ópticos alinhados com precisão, capacitados de um campo de visão completo de  $2,5^\circ$ .

Cada canal é equipado com filtros de interferência de banda-estreita e um fotodíodo apropriado para comprimentos de ondas determinados. Os colimadores são encapsulados em um bloco óptico de alumínio fundido para garantir a estabilidade.

Um alvo para o sol (bull's-eye) e um ponto de convergência estão junto ao bloco óptico, são alinhados por laser para garantir o alinhamento preciso com os canais ópticos. Quando a imagem do sol é centrada na janela do alvo para o sol, todos canais ópticos são orientados directamente para o disco solar.

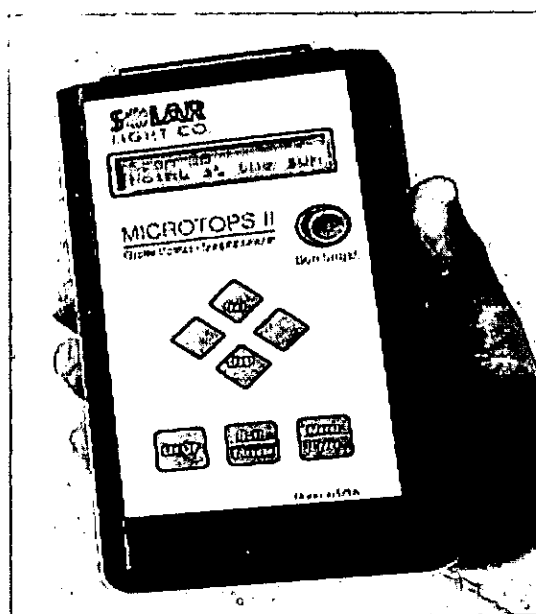


Figura 11 – Imagem do Microtops II

Radiação capturada pelo colimador e filtros de banda irradiados nos fotodíodos, produzem corrente eléctrica que é proporcional a energia radiante interceptado pelos fotodíodos. Este sinal é primeiro amplificado e depois convertido para sinal digital com um conversor A/D de alta resolução. O sinal dos fotodíodos é processado em séries. Contudo, com 20 conversões por segundo, os resultados podem ser tratados como se os fotodíodos fizessem registos simultâneos.

Este instrumento regista 800 medições para os 5 canais, o tempo e data, as coordenadas geográficas, a temperatura dentro do instrumento e a pressão barométrica. Um microprocessador interno calcula automaticamente o ângulo zenital, a massa de ozono, a quantidade total da coluna de ozono e vapor de água.

### 3.3.1 Protocolo para efectuar medições com o Microtops II

1. Certificar se a janela para cobrir o topo do Microtops esta fechada e ligar o instrumento. Quando este mostrar **RDY (ready mode)** pode-se abrir a janela no topo.
2. Apontar a janela do instrumento para o sol e ajustar a posição desta de modo que a imagem do sol apareça na janela "Sun Target". Centralizar a imagem do sol no "bull's-eye". Os melhores resultados são obtidos em dias de céu limpo.

3. Enquanto mantem-se a imagem do sol centralizada, pressionamos o botão **Scan/Escape** para iniciar o registo. O instrumento tocará e o LCD mostrará: Um número em cima dando conta do registo corrente incluindo todos os registos guardados na memória do instrumento. Manter o instrumento apontado para o sol até que o instrumento toque novamente e mostre a mensagem **RDY**. Neste momento a medição está completa.

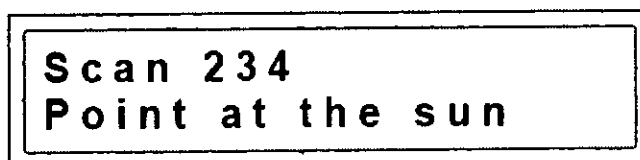


Figura 12 - Imagem no LCD durante a medição.

### 3.3.2 Comunicação com o computador

Microtops II pode comunicar-se com um computador por uma entrada RS232 usando um cabo fornecido juntamente com o instrumento. A informação pode ser transferida do instrumento para a memória do computador sendo arquivada e processada. Pode ser usado o Windows terminal, Procomm, etc para comunicar com o Microtops II. Contudo o fabricante recomenda o uso do Microtops Organizer, que é um software que gerencia os dados automaticamente

## 3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A partir de dados recolhido no campo e de posteriores cálculos foram realizados estudos que visavam:

- Determinar a espessura óptica dos principais constituintes da atmosfera, i.é, moléculas do ar, incluindo o ozono estratosférico.
- Comparar os resultados do cálculo da EOA a partir de dados medidos pelo fotómetro Hazemeter com os medidos pelo fotómetro Microtops II.
- Elaborar um algoritmo computadorizado para o cálculo da EOA e calibrar o respectivo código com ajuda de dados do Microtops II.

### 3.4.1 Determinação da espessura óptica dos constituintes da atmosfera incluindo ozono

O Hazemeter como a maioria dos fotómetros solares, não possui bandas dentro da região de actuação do ozono e demais gases atmosféricos. Utilizou-se um método indirecto para o cálculo da espessura óptica do ozono. As contribuições do SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> serão desprezadas, somente considerou-se a contribuição do O<sub>3</sub>. Para tal recorremos a fórmula:

$$\tau_{\lambda}^{GAS} = O_{zabs} \times \frac{DOBS}{1000} \quad (15)$$

Onde:

O<sub>zabs</sub>- Secção transversal de absorção de ozono, extraído de tabelas baseadas no comprimento de onda.

DOBS- Quantidade de ozono em unidades de Dobson, medido pelo TOMS baseadas na latitude e data de observação.

### 3.2.2 Determinação da espessura óptica dos aerossóis

A espessura óptica total ( $\tau_{\lambda}$ ), para comprimentos de onda onde não há influência do vapor de água, pode ser expressa pela soma das espessuras ópticas geradas pelo espalhamento molecular Rayleigh ( $\tau_{\lambda}^R$ ), aerossóis ( $\tau_{\lambda}^{AER}$ ), ozono ( $\tau_{\lambda}^{GAS}$ ) segundo a equação:

$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda}^R + \tau_{\lambda}^{GAS} + \tau_{\lambda}^{AER} \quad (16)$$

Onde:

$\tau_{\lambda}^R$  - espessura óptica devido ao espalhamento molecular de Rayleigh

$\tau_{\lambda}^{GAS}$  - espessura óptica de absorção devido às moléculas dos gases absorvedores

$\tau_{\lambda}^{AER}$  - espessura óptica de aerossóis devido a espalhamento e absorção

A  $\tau_{\lambda}^R$  pode ser calculada com base na fórmula:

---

$$\tau_{\lambda}^R = 0,008569\lambda^{-4}(1 + 0,0113\lambda^{-2} + 0,00013\lambda^{-4})x\frac{p}{1013} \quad (17)$$

Onde:

p- é a pressão atmosférica.

$\lambda$ - comprimento de onda.

Como  $\tau_{\lambda}^R$  pode ser calculada facilmente (usando a fórmula 24) e  $\tau_{\lambda}$  pode ser determinado pelo método de Langley, a espessura óptica dos aerossóis pode ser determinada por:

$$\tau_{\lambda}^{AER} = \tau_{\lambda} - (\tau_{\lambda}^{GAS} + \tau_{\lambda}^R) \quad (18)$$

### 3.3 Elaboração do Algoritmo para o cálculo da EOA

Para elaboração do algoritmo usou-se o programa MATLAB (apresentado em anexo).

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos. Estes foram obtidos em duas fases. Na primeira fase foram feitas medições de intensidades de radiação solar com o fotómetro solar Hazemeter em três pontos da cidade de Maputo (Alto-Maé, Xipamanine e Campus Universitário), com a finalidade de testar o algoritmo. Na segunda fase foram feitas medições simultâneas de radiação solar com os fotómetros solares Hazemeter e Microtops II, somente na zona do Alto-Maé. São apresentados os respectivos gráficos para o comprimento de onda de 500nm.

### 4.1 Valores de EOA para diferentes pontos de medição

#### 4.1.1 Alto-Maé

No primeiro dia 07 de Agosto de 2007, as medições foram realizadas entre as 10:00 e 12:00 h. Durante este período os valores de EOA tiveram pouca variação, aproximando-se sempre dos 0,10 (figura 13). Este valor de 0,1 indica-nos que o grau de turbidez da atmosfera é baixo ou seja representa uma atmosfera relativamente limpa. Por outro lado durante as medições o céu apresentou-se sem nebulosidade.

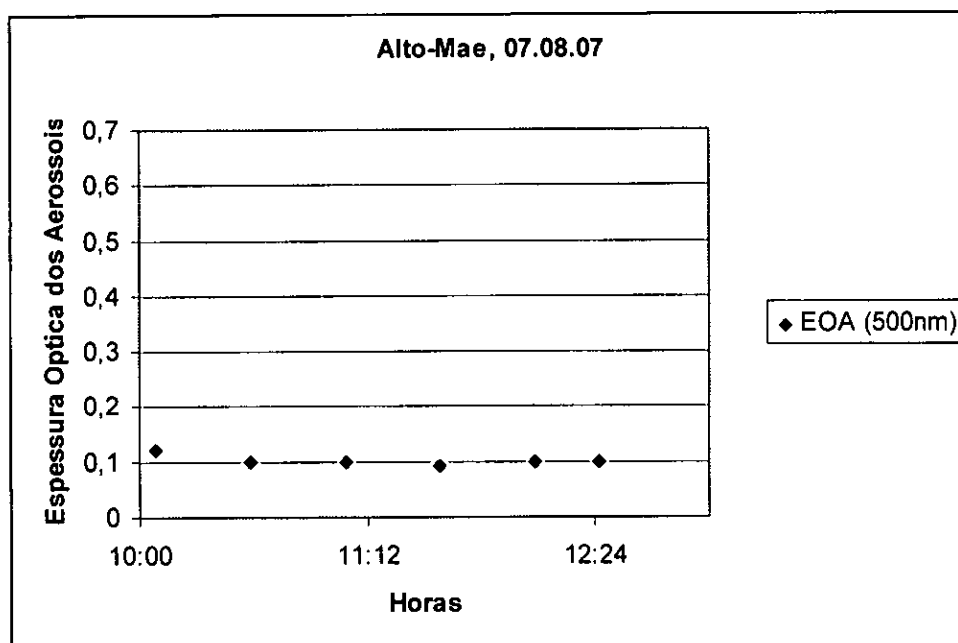


Figura 13 - EOA no bairro do Alto-Maé no dia 07.08.07

No segundo dia 08 de Agosto de 2007, no intervalo das 10:00 h até 11 h:30 min os valores de EOA permaneceram abaixo de 0,10, a semelhança do primeiro dia (figura 14). Durante o período da tarde, entre as 12:00 e 13:00 h, os valores de EOA aumentaram, variando de 0,14-0,28 provavelmente porque a esta hora o tráfego de automóveis aumenta.

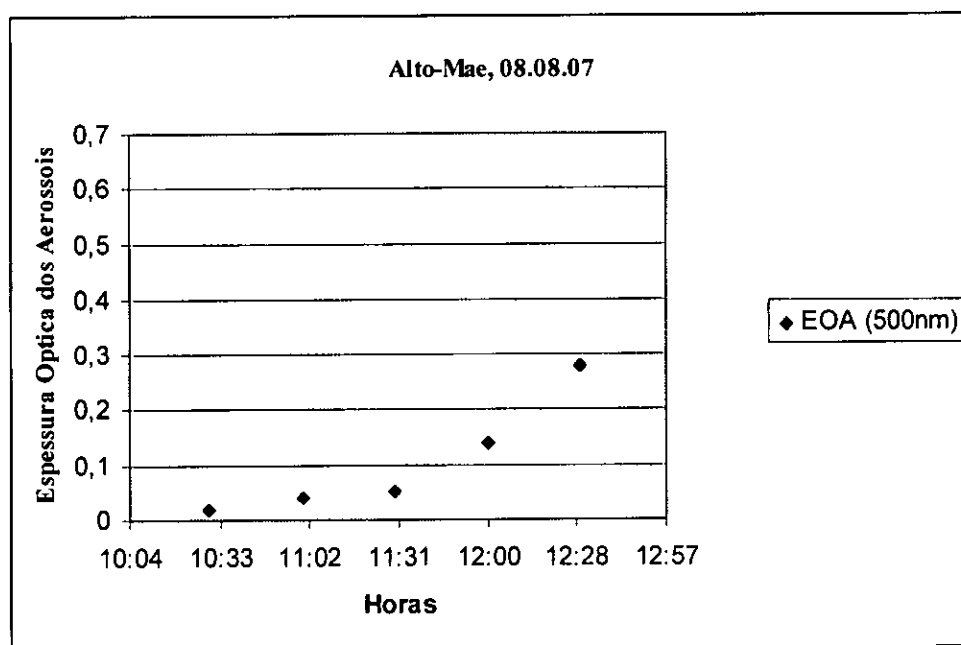


Figura 14 - EOA no bairro do Alto-Maé no dia 08.08.07

#### 4.1.2 Xipamanine

No período das 9:00 h às 12:00 h, verificou-se um avariação ligeira dos valores da EOA mas não excediam o valor de 0,12. Durante o período das 12:00 h às 15:00 h houve um aumento significativo no valor da EOA, variando entre 0,15-0,65. Esta zona apresenta uma atmosfera poluída (figura 15).

Estes valores registados no período da tarde, provavelmente estão associados ao aumento de tráfego automóvel e movimentação de pessoas neste período. O céu apresentou-se sem nebulosidade.

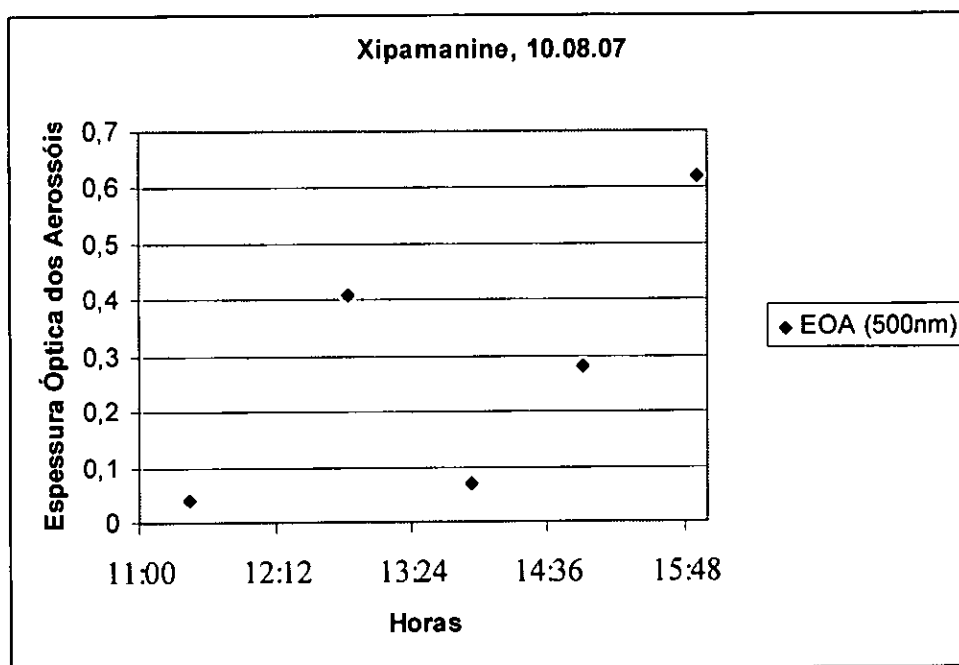


Gráfico 15- EOA no bairro do Xipamanine no dia 08.08.07

No segundo dia, os valores de EOA apresentaram grandes oxilações, provavelmente pela presença de nebulosidade mas foi possível fazer medições porque o disco solar era visível (figura 16).

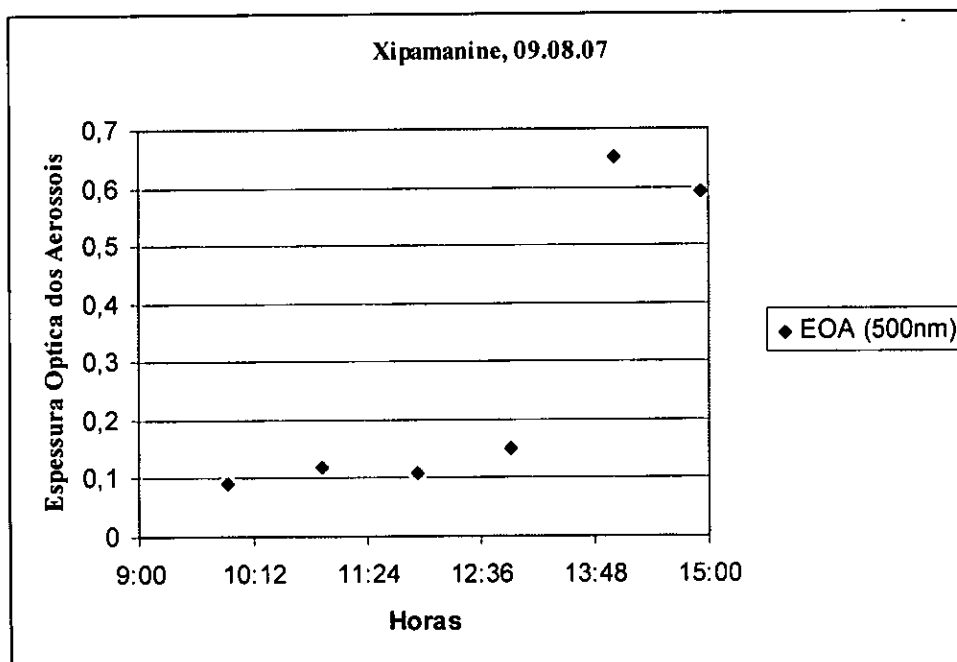


Gráfico 16- EOA no bairro do Xipamanine no dia 09.08.07



### 4.1.3 Campus Universitário

No primeiro dia 14 de Agosto de 2007, foram feitas medições entre as 10 h e 30min e 14 h. Os valores de EOA apresentam-se abaixo de 0,1 (figura 17). Este facto também indica-nos que estamos na presença de uma atmosfera limpa. Este resultado já era de se esperar porque esta zona não apresenta fontes activas de aerossóis nas suas proximidades, apenas edifícios educacionais.

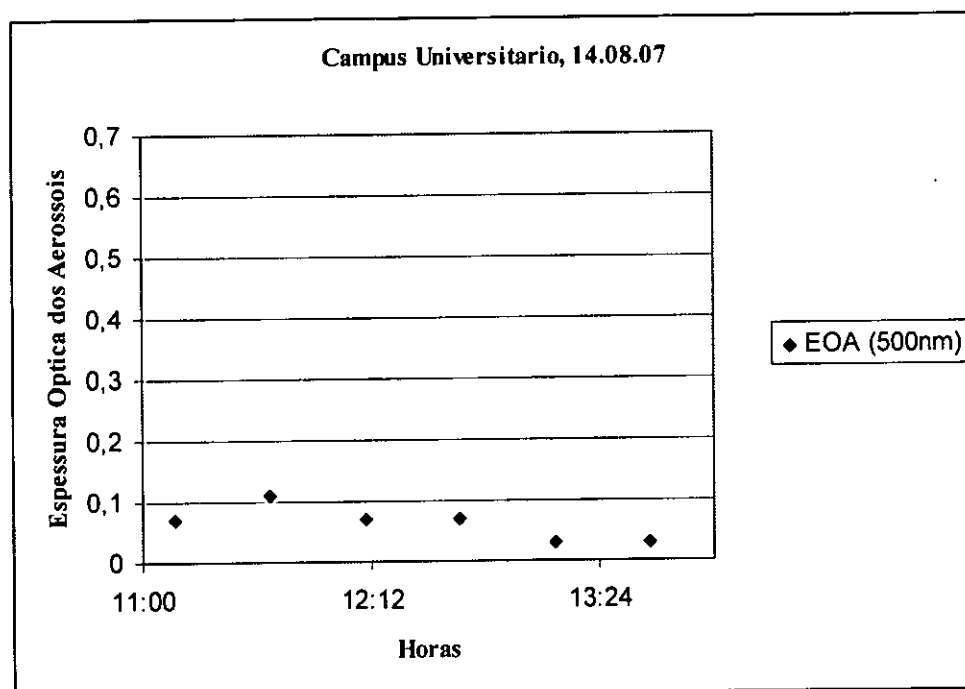
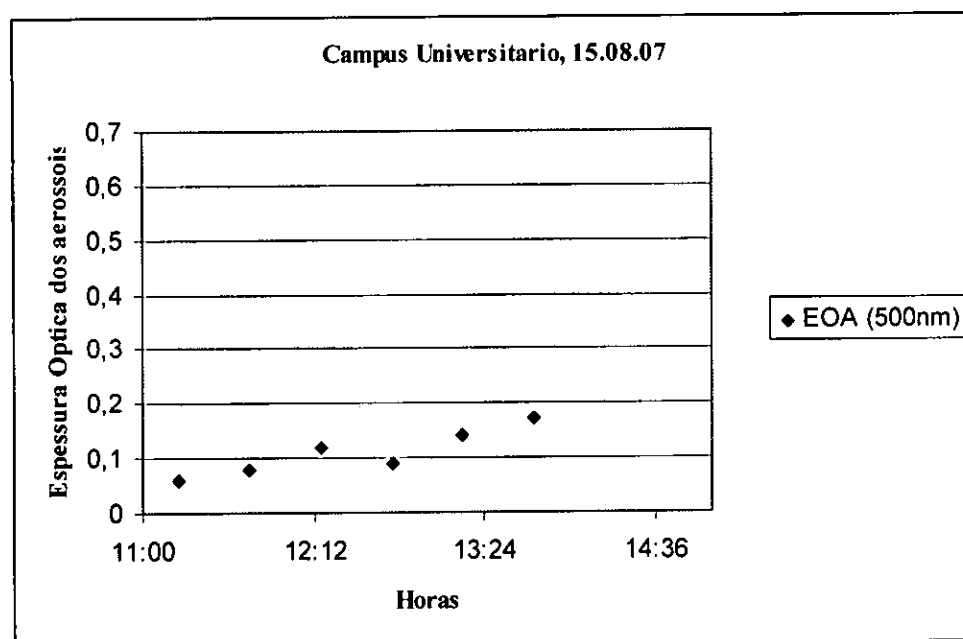


Gráfico 17 - EOA nos Campus Universitário no dia 14.08.07

No segundo dia 15 de Agosto de 2007, também foram feitas medições entre as 10 h e 30min às 14:00 h. Das 10 h e 30min às 12 h, os valores da EOA situaram-se abaixo de 0,1. No período das 12:00 h às 14:00 h os valores da EOA variaram entre 0,14-0,17.

Importa notar que durante o período das medições estava a decorrer a construção de um edifício ao lado do local de medição, que poderá ter contaminado as medições do fotómetro solar. Durante os dois dias de medição o céu apresentou-se sem nebulosidade.



**Gráfico 18 - EOA no bairro Xipamanine**

#### **4.2 Comparação dos valores de EOA**

As tabelas abaixo (n° 2, 3, 4 e 5), fornecem os valores de EOA obtidos no lugar de medição durante 8 dias. De igual modo, são apresentados gráficos de comparação dos valores de EOA dos instrumentos Microtops II e Hazemeter respectivamente.

Devido a variação constante das condições meteorológicas (céu nublado com ocorrência de chuvas), verificadas durante a semana prospectada para as medições, somente em 4 dias foram observadas as condições exigidas pelo protocolo de medição.

##### **4.2.1 Gráficos de comparação**

Foram determinadas 41 EOA, referentes a 4 dias de medições no bairro do Alto-Maé. Durante o primeiro dia (04.10.07), foram efectuadas 11 medições. Nos dias seguintes (5 e 6) não foi possível obter os valores de EOA devido á chuva.

A tabela 3 apresenta os valores de EOA medidos pelos intrumento Microtops II e Hazemeter respectivamente, no dia 04.10.07.

Tabela 2 - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 04.10.07

Horas	Microtops II	Hazemeter	Horas
10:30	0,77	0,57	10:30
11:00	1,92	1,94	11:00
11:30	3,72	3,8	11:30
12:00	4,58	4,77	12:00
12:30	5,31	5,97	12:30
13:00	5,81	6,32	13:00
13:30	6,37	7,4	13:30
14:00	6,73	6,48	14:00
14:30	6,86	6,42	14:30
15:00	6,75	5,45	15:00

Limpo\*- céu limpo esbranquiçado, o que indica quantidades elevadas de aerossóis grandes.

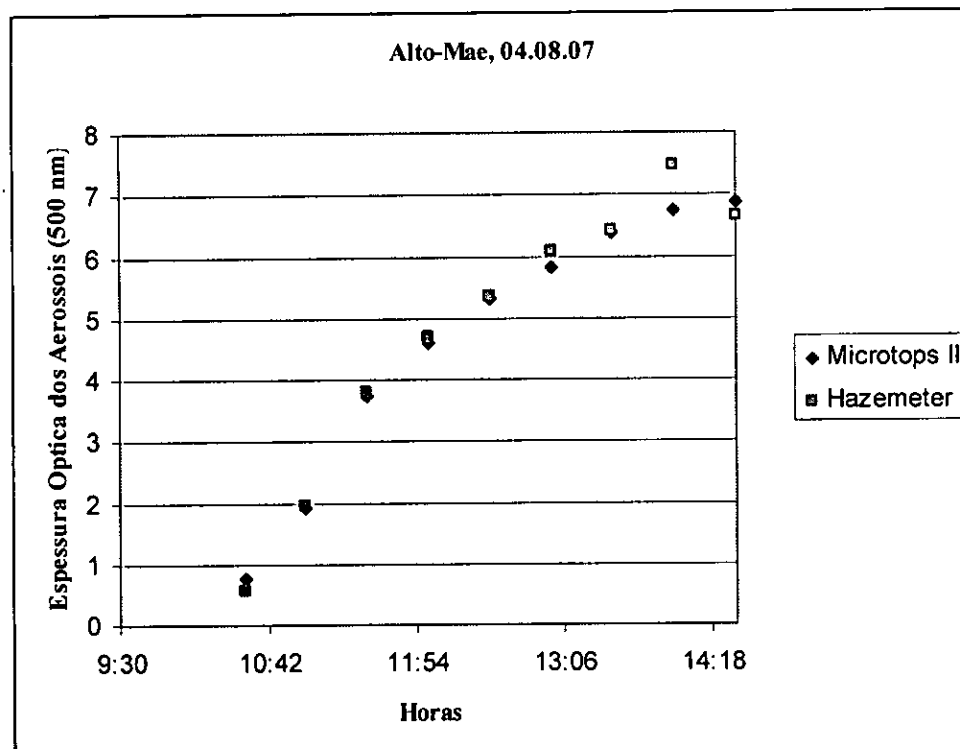


Figura 19- Comparação dos valores de EOA medidos pelos instrumentos Microtops II e Hazemeter no dia 04.10.07

Durante o segundo dia (07.10.07), foram efectuadas 9 medições. No dia seguinte não foi possível efectuar medições devido á chuva.

A tabela 4 apresenta os valores de EOA medidos pelos intrumento Microtops II e Hazemeter respectivamente, no dia 07.10.07.

Tabela 3 - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 07.10.07

Horas	Microtops II	Hazemeter	C. do céu
11:00	1,56	4,01	limpo
11:30	2,6	3,58	limpo
12:00	3,51	4,7	limpo*
12:30	4,45	5,37	limpo*
13:00	5,08	4,8	limpo*
13:30	5,62	6,05	limpo*
14:00	6,18	6	limpo*
14:30	7,08	5,88	limpo*
15:00	6,88	5,64	limpo*

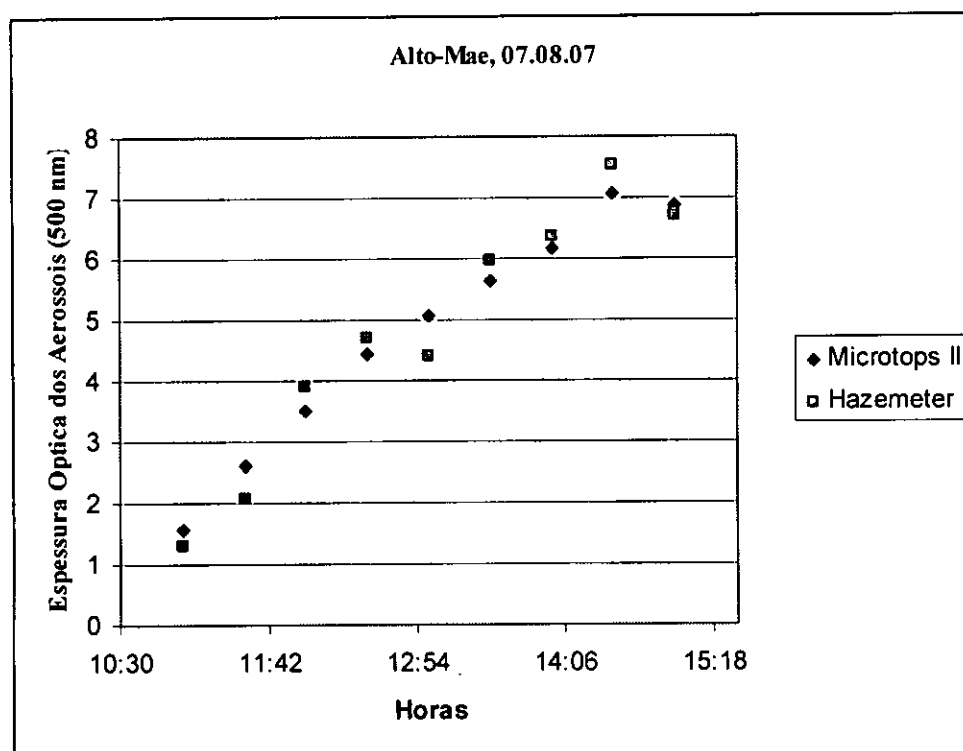


Figura 20 - Comparação dos valores de EOA medidos pelos intrumento Microtops 2 e Hazemeter no dia 07.10.07

Durante o terceiro dia (09.10.07), foram efectuadas 10 medições. No dia seguinte não foi possível efectuar medições devido á chuva. A tabela 5 apresenta os valores de EOA medidos pelos intrumento Microtops II e Hazemeter respectivamente, no dia 07.10.07.

Tabela 4 - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 09.10.07

Horas	Microtops 2	Hazemeter	C. do céu
10:30	0,7	4,27	nublado
11:00	1,53	5,22	nublado
11:30	1,6	5,58	nublado
12:00	3,38	5,69	nublado
12:30	4,24	6,18	nublado
13:00	5,02	6,65	nublado
13:30	5,56	8,11	nublado
14:00	5,99	6,79	nublado
14:30	6,44	7,26	nublado
15:00	6,56	6,44	nublado
15:30	7,08	6,04	nublado

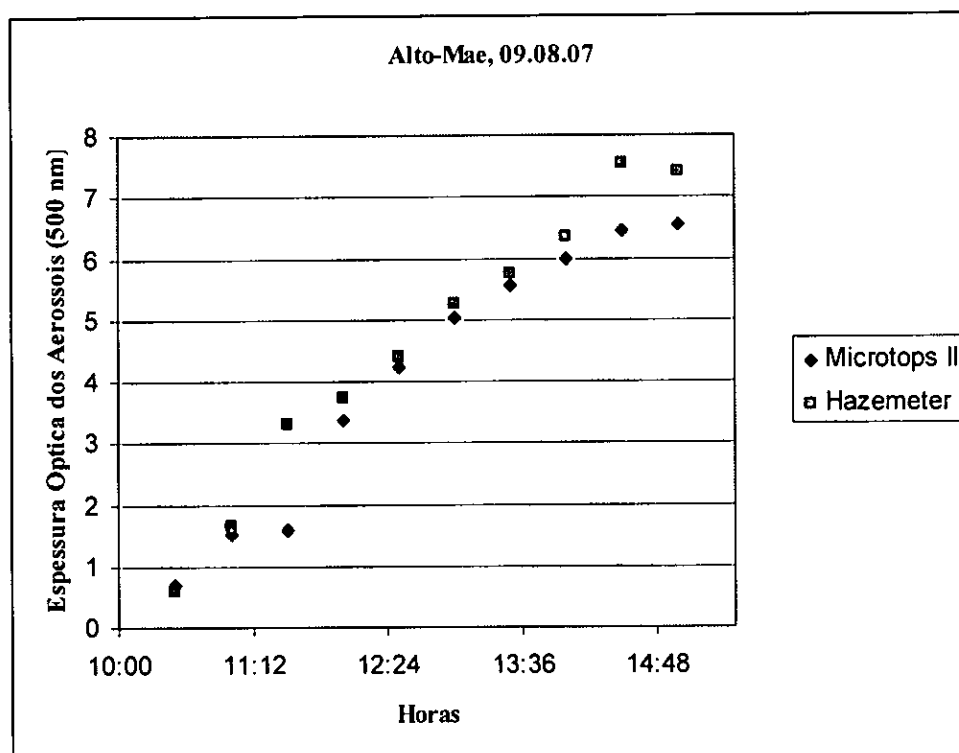


Figura 21 - Comparação dos valores de EOA medidos pelos intrumento Microtops II e Hazemeter no dia 09.10.07

Nos dias seguintes (10 e 11) não foi possível efectuar medições devido céu apresentar-se muito nublado. Foi efectuada a quarta e última medição no dia 12.10.07, onde foram obtidas 10 medições. A tabela 4 apresenta os valores de EOA medidos pelos instrumento Microtops II e Hazemeter respectivamente, no dia 12.10.07.

Tabela 5 – EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 12.10.07

Horas	Microtops 2	Hazemeter	C. do céu
10:00	0	0	limpo
10:30	1,64	2,8	limpo
11:00	1,65	4,2	limpo*
11:30	2,58	4,8	limpo*
12:00	4,34	3,51	limpo*
12:30	5,03	4,29	limpo*
13:00	5,58	5,03	limpo*
13:30	5,98	5,54	limpo*
14:00	6,31	6,17	limpo*
14:30	6,55	6,75	limpo*

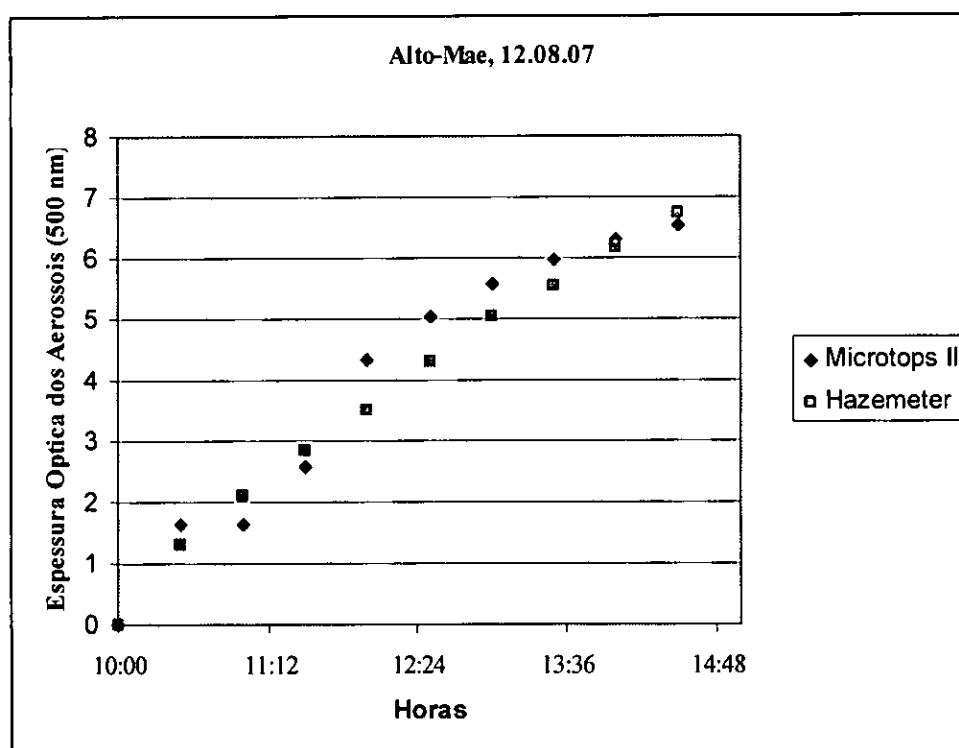


Figura 22 - Comparação dos valores de EOA medidos pelos instrumento Microtops II e Hazemeter no dia 12.10.07

---

De um modo geral verificou-se que os valores de EOA aumentavam ao longo do dia. Mas isto pode justificar-se pelo facto de nesta época do ano ser caracterizado por períodos de chuva, com céu geralmente nublado e humidade relativa alta, aliado ao facto desta zona da cidade ser caracterizada por um tráfego de viaturas muito intenso. Daí encontramos valores de EOA que variam de 0 á 8. Verificou-se também um comportamento semelhante entre os dados medidos pelo Microtops II e o Hazemeter. A comparação dos dados foi feita para o comprimento de onda de 500 nm e os resultados mostram uma concordância.

---

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas e são apresentadas algumas recomendações.

### 5.1 CONCLUSÕES

Fazendo uma comparação entre os 3 pontos de medição, pode-se facilmente constatar que a zona do Xipamanine apresenta os valores mais altos e o Campus Universitário apresentada os valores mais baixos de EOA.

É muito provável que isto deve-se a natureza das actividades que por estas zonas desenvolvem-se. Por exemplo, Xipamanine é uma zona de comércios e mercados, por isso a fonte de aerossóis provém da fumaça dos automóveis e do levantamento de poeiras. Enquanto que o Campus Universitário não apresenta fontes activas de aerossóis nas suas proximidades, apenas edifícios educacionais.

Estudos realizados anteriormente por Buchir (2003) sobre Caracterização óptica dos aerossóis sobre a cidade de Maputo, onde mediu os valores de EOA em cinco pontos da cidade de maputo, nomeadamente: Hulene, Xipamanine, Baixa, Bairro Central e Campus Universitário concluíram que a zona do Hulene apresentou os valores mais altos de EOA, seguido do Xipamanine e por último o Campus Universitário.

Fazendo uma comparação entre os resultados obtidos neste trabalho usando o algoritmo para cálculo da EOA ( $\lambda=500$  nm) e o algoritmo usado por Buchir que é mais sofisticado e foi desenvolvido pela NASA ( $\lambda=500$  nm), podemos dizer que o resultado obtido apresenta uma concordância.

Pode-se então afirmar que este algoritmo para o cálculo da EOA, oferece resultados fiáveis, e estes por sua vez podem ser usados por exemplo como indicadores de níveis de poluição para estudos relativos a avaliação da poluição do ar.



---

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho não foram abordados os tópicos mencionados a seguir, por isso recomenda-se que sejam abordados em futuros trabalhos. São eles:

- Fazer medições para diferentes pontos da cidade e compara-los com trabalhos já realizados anteriormente.
- Fazer a colecta de material e posterior análise química.
- Verificar de que maneira os aerossóis estão relacionados com outras variáveis atmosféricas, tais como: temperature, tipo de nuvens, precipitação, humidade relativa, pressão barométrica e concentração de ozono.

---

## CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Artaxo, Paulo (2006) . **Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3ª.
- **Aerosol protocol.** Citado em : <[www.globe.gov/sda/tg00/aerosol.pdf](http://www.globe.gov/sda/tg00/aerosol.pdf)> Acessado em: 20/05/07.
- Da Silva, Abel (2001). **A espessura óptica dos aerossóis na banda do UV-B,** Tese de Doutorado, INPE S.José dos Campos, Brasil,. Citado em : <[www.mtc-mob.sid.inpe.br](http://www.mtc-mob.sid.inpe.br) >. Acessado em: 20/05/07.
- De Almeida, Ivo (1999). **A poluição Atmosférica por Material Particulado na Mineração a Céu Aberto.** Dissertação para obtenção de título de Mestrado em Engenharia. S.Paulo. Citado em: <[www.tese.usp.br](http://www.tese.usp.br)>. Acessado 24/05/07.
- De Moraes, Elizabete. **Fundamentos de sensoriamento Remoto.** Capítulo 1, INPE. Citado em : <[www.mtc-m12.inpe.br](http://www.mtc-m12.inpe.br) >. Acessado em: 24/05/07.
- De Souza, Paulo, **Calibração Radiométrica da Câmera CCD/CBERS-1,** Dissertação para mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE S.José dos Campos, Brasil, 2003. Citado em : <[www.obt.inpe.br/pgsere/souza-P-E-U-2003/Radiometrica.pt](http://www.obt.inpe.br/pgsere/souza-P-E-U-2003/Radiometrica.pt) >. Acessado em: 28/05/07.
- Echer, E.; Souza, M.P and Schuch, N.J. **The Beer's law applied to the earth's atmosphere.** Rev. Bras. Ens. Física [on line].2001, vol.23, no.3, pp 276-283. Citado em: <<http://www.scielo.br> >. Acessado em: 28/05/07.
- Iqbal, Muhammad (1983). **An introduction to solar light.** Academic Press.

- 
- Martins, Fernando ; Pereira, Enio; Echer, Mariza (2004). **Solar energy resources assesment using geostationary satellites in Brazil - Swera Project**. Rev. Bras. Ens. Fis. vol.26 no.2 São Paulo . Citado em: <<http://www.scielo.br> >. Acessado em: 07/06/07.
  - Meteorological Service of Canada (MSC). **Ozone map archive**. Disponível em : <[www.exp-studies.tor.ec.gc.ca](http://www.exp-studies.tor.ec.gc.ca)>. Acessado em 10/06/07.
  - **Propriedades Ópticas**. Citado em : <[www.maxwell.lambda.ele.pvc-rio.br](http://www.maxwell.lambda.ele.pvc-rio.br)>. Acessado em: 08/06/07.
  - **TOMS Missions**. Citado em : <[http://science.hq.nasa.gov/missions/satellite\\_27.htm](http://science.hq.nasa.gov/missions/satellite_27.htm)>. Acessado em: 12/06/07.
  - Yamasoe, Márcia (1999). **Estudo das propriedades ópticas de partículas de aerossóis a partir de uma rede de Radiômetros**. Tese de doutoramento. Universidade de S.Paulo,. Citado em : <[www.mapara1.inpe.gov](http://www.mapara1.inpe.gov)>. Acessado em: 18/06/07.
  - Assis, Simone. Radiação Solar. **Apostila de Agrometeorologia**. Faculdade de Meteorologia. Pelotas, RS.
  - Emmert, O.C e De Lucca, S. **Determinação da espessura óptica dos aerossóis através de fotômetros didáticos no estado de São Paulo**. Física Experimental 4.

ANEXO A- Coeficientes de absorção do ozono ( $a_{oz}$ ) para 19 comprimentos de onda.

Comprimento de onda (nm)	$a_{oz}$
500	0,03
510	0,04
520	0,048
530	0,063
540	0,075
550	0,085
570	0,12
610	0,12
630	0,09
656	0,065
690	0,028
710	0,018
740	0,01
780	0,0
800	0,0
840	0,0
860	0,0
880	0,0
905	0,0

---

**ANEXO B- Valores de EOA em 3 pontos de medição**

**a) Alto-Maé**

**Tabela B.1** - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 07.08.07

<b>Hora</b>	<b>EOA (500nm)</b>	<b>C. do céu</b>
9:55	0.09	Limpo
10:55	0.12	Limpo
11:55	0.11	Limpo
12:55	0.15	Limpo
14:00	0.65	Limpo
14:55	0.59	Limpo

**Tabela B.2** - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 08.08.07

<b>Hora</b>	<b>EOA (500nm)</b>	<b>C. do céu</b>
11:26	0.04	parcialmente nublado
12:50	0.41	parcialmente nublado
13:55	0.07	parcialmente nublado
14:55	0.28	parcialmente nublado
15:55	0.62	parcialmente nublado

b) Xipamanine

Tabela B.3 - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 09.08.07

Hora	EOA (500nm)	C. do céu
11:10	0.07	Limpo
11:40	0.11	Limpo
12:10	0.07	Limpo
12:40	0.07	Limpo
13:10	0.03	Limpo
13:40	0.03	Limpo

Tabela B.4 - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 09.08.07

Hora	EOA (500nm)	C. do céu
11:15	0.06	Limpo
11:45	0.08	Limpo
12:15	0.12	Limpo
12:45	0.09	Limpo
13:15	0.14	Limpo
13:45	0.17	Limpo

c) Campus Universitário

Tabela B.5- EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 09.08.07

Hora	EOA (500nm)	C. do céu
10:05	0.12	Limpo
10:35	0.10	Limpo
11:05	0.10	Limpo
11:35	0.09	Limpo
12:05	0.10	Limpo
12:25	0.10	Limpo

Tabela B.6 - EOA medidas para  $\lambda = 500 \text{ nm}$  no dia 09.08.07

Hora	EOA (500nm)	C. do céu
10:30	0.02	Limpo
11:00	0.04	Limpo
11:30	0.05	Limpo
12:00	0.14	Limpo
12:30	0.28	Limpo

---

ANEXO C- Quantidade de Ozono e Valores de pressão nos dias de medição

Tabela C.1 - Quantidade de Ozono

Dia	Ozono (DU)
04.10.07	276
05.10.07	272
06.10.07	272
07.10.07	273
08.10.07	272
09.10.07	269
10.10.07	##
11.10.07	265
12.10.07	264

Tabela C.2 - Pressão média diária

Dia	Pressão (hPa)
1	1012,3
2	1007,1
3	1002,1
4	1007,2
5	1009,7
6	1005,7
7	1001,5
8	1007,4
9	1010,8
10	1014,6
11	1016,0
12	1011,3



---

## ANEXO D- Algoritmo para o cálculo da espessura óptica dos aerossóis

```
%calcula da espessura optica do ozono
» ozono=Z{MATLABR11\WORK\ozono.m}%quantidade de ozono em unidades de DU
» W=V{MATLABR11\WORK\W.m}%coeficiente de absorção de ozono a 500 nm
» Tgas=Z*V/1000

» %calcula da espessura optica do espalhamento de Rayleigh
» P=N{MATLABR11\WORK\P.m}%pressão em hPa
» x=500;%comprimento de onda em nm
» Tr=0.008569*x.^-4*(1+0.0113*x.^-2+0.00013*x.^-4)*N/1013

» %calcula da espessura optica atmosferica
» V0=S{MATLABR11\WORK\S.m}%tensão no topo da atmosfera
» V=L{MATLABR11\WORK\L.m}%tensão medida pelo fotómetro
» cosAZ=T{MATLABR11\WORK\cosAZ.m}%coseno do ângulo zenital
» Ta=log(S-L).*cosAZ

» %calcula da espessura optica dos aerossóis
» Taer=Ta-(Tr+Tgas)
```

ANEXO E- Dados medidos pelo Microtops II

SN	TIME	LOCATION	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	PRESSURE	AOT380	AOT440	AOT500	AOT675	AOT870
8474	12:30:12	Maputo	25,933	-32,583	72	1006	0,24800	0,46100	0,56700	#####	#####
8474	08:24:25	Maputo	25,933	-32,583	72	1008	0,44200	0,66300	0,77800	#####	#####
8474	08:31:16	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	1,57200	1,82800	1,92900	#####	#####
8474	09:05:55	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	2,36300	2,62700	#####	#####	#####
8474	09:31:33	Maputo	25,933	-32,583	72	1009	2,44100	2,71900	#####	#####	#####
8474	09:33:35	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	3,41100	3,60600	3,71600	3,89500	#####
8474	10:01:36	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	4,17500	4,44600	4,58700	#####	#####
8474	10:32:50	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	4,94600	5,21000	5,31800	5,63500	#####
8474	11:03:13	Maputo	25,933	-32,583	72	1008	5,55300	5,71200	5,81800	6,12000	#####
8474	11:31:54	Maputo	25,933	-32,583	72	1009	5,99400	6,17600	6,37400	6,74200	#####
8474	12:00:49	Maputo	25,933	-32,583	72	1008	6,39900	6,55700	6,73700	7,09800	#####
8474	12:31:53	Maputo	25,933	-32,583	72	1009	6,67900	6,76000	6,86200	7,08100	7,14000
8474	13:00:19	Maputo	25,933	-32,583	72	1008	6,81800	6,73600	6,75600	6,69000	6,62600
8474	13:30:53	Maputo	25,933	-32,583	72	1008	3,94700	4,06700	4,13200	4,19600	4,05200
8474	10:16:55	Maputo	25,933	-32,583	72	1012	4,16100	4,28400	4,35900	4,39400	4,30600
8474	10:30:53	Maputo	25,933	-32,583	72	1011	4,90700	5,05900	5,18800	5,19500	5,13400
8474	10:59:31	Maputo	25,933	-32,583	72	1011	5,33900	5,44400	5,53800	5,56700	5,42900
8474	11:16:05	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	1,27900	1,46100	1,56900	1,66500	1,67200
8474	09:00:52	Maputo	25,933	-32,583	72	1004	2,27300	2,45900	2,60500	2,82600	#####
8474	09:31:11	Maputo	25,933	-32,583	72	1005	3,18700	3,36000	3,51900	3,73500	#####
8474	10:01:15	Maputo	25,933	-32,583	72	1004	4,11100	4,30500	4,45100	4,70200	#####
8474	10:33:40	Maputo	25,933	-32,583	72	1003	4,79200	4,93100	5,08300	5,37700	#####

8474	11:02:18	Maputo	25,933	-32,600	72	1002	5,46800	5,52900	5,62800	5,89900	#####
8474	11:31:40	Maputo	25,933	-32,583	72	1002	5,93000	6,04900	6,18000	6,43500	#####
8474	12:01:38	Maputo	25,933	-32,583	72	1001	7,04600	6,88300	7,08900	7,31900	#####
8474	12:31:28	Maputo	25,933	-32,583	72	1000	6,79300	6,79900	6,85500	6,98000	7,13500
8474	13:02:10	Maputo	25,933	-32,583	72	1000	0,41600	0,60600	0,70500	0,79700	0,81200
8474	11:49:41	Maputo	25,933	-32,583	72	1009	1,24900	1,43600	1,53400	1,61000	1,61400
8474	08:32:34	Maputo	25,933	-32,583	72	1015	1,32300	1,50700	1,60000	1,67200	1,66600
8474	08:59:31	Maputo	25,933	-32,583	72	1015	3,14100	3,27700	3,38000	3,46400	3,43500
8474	09:01:15	Maputo	25,933	-32,583	72	1016	3,96000	4,12000	4,24600	4,48400	#####
8474	10:00:35	Maputo	25,933	-32,583	72	1015	4,72600	4,89100	5,02100	5,28300	#####
8474	10:29:43	Maputo	25,933	-32,583	72	1013	5,29200	5,46000	5,56300	5,84100	#####
8474	11:02:19	Maputo	25,933	-32,583	72	1012	5,73700	5,86400	5,99700	6,28500	6,32600
8474	11:31:04	Maputo	25,933	-32,583	72	1011	6,47500	6,41500	6,44800	6,49600	6,48800
8474	12:01:26	Maputo	25,933	-32,583	72	1011	6,51200	6,47400	6,56400	6,76500	6,84400
8474	12:31:09	Maputo	25,933	-32,583	72	1010	7,29000	7,12200	7,08000	6,90800	6,88600
8474	13:01:48	Maputo	25,933	-32,583	72	1009	0,30200	-0,09900	0,00300	0,11000	#####
8474	13:33:21	Maputo	25,933	-32,583	72	1009	1,29600	1,51200	1,64700	#####	#####
8474	08:04:10	Maputo	25,933	-32,583	72	1020	1,32300	1,53200	1,65300	#####	#####
8474	11:40:59	Maputo	25,933	-32,583	72	1016	2,23400	2,46500	2,58900	#####	#####
8474	08:00:32	Maputo	25,933	-32,583	72	1016	3,47100	#####	#####	#####	#####
8474	08:00:57	Maputo	25,933	-32,583	72	1016	3,60400	#####	#####	#####	#####
8474	08:01:20	Maputo	25,933	-32,583	72	1015	3,67100	#####	#####	#####	#####
8474	09:02:02	Maputo	25,933	-32,583	72	1014	3,57500	#####	#####	#####	#####
8474	09:02:49	Maputo	25,933	-32,583	72	1015	3,92100	4,14700	4,34000	#####	#####
8474	09:30:37	Maputo	25,933	-32,583	72	1014	4,63700	4,82100	5,03200	5,31100	#####

8474	10:04:52	Maputo	25,933	-32,583	72	1013	5,20800	5,44900	5,58700	5,86900	#####
8474	10:05:21	Maputo	25,933	-32,583	72	1014	5,69900	5,86900	5,98600	6,27900	#####
8474	10:06:01	Maputo	25,933	-32,583	72	1014	6,04000	6,16800	6,31700	6,59700	6,81400
8474	10:07:10	Maputo	25,933	-32,583	72	1013	6,34900	6,44200	6,55300	6,87900	6,96100

**ANEXO F- Valores medidos pelo Hazemeter**

Haze Meter 091 95  
63232 64511 48436 57096  
Enter: A,B,C,D,H,I,O,T,R,1,2,3,4.  
Download Data Haze Meter 091 95  
63232 64511 48436 57096  
Read# Chan1 Chan2 Chan3 Chan4 Min1 Min2 Min3 Min4 BattmV 10TC Rng1 N Time Date  
01 10624 10492 8725 11215 55 39 43 55 8925 176 03 01 074829 070807  
02 10628 10568 8899 11931 33 25 64 25 8925 189 03 01 084552 070807  
03 10873 10769 9260 12448 28 40 34 26 8925 196 02 01 094837 070807  
04 10762 10436 9028 12252 39 50 50 42 8916 203 03 01 104802 070807  
05 9346 6096 5517 6854 34 35 34 31 8916 215 03 01 115422 070807  
06 8938 8105 5730 6035 38 43 47 41 8925 215 04 01 124920 070807  
07 19 18 13 16 41 48 51 46 8857 217 03 01 142409 070807  
08 12260 13518 13943 21900 23 17 53 24 8896 183 06 01 091854 080807  
09 7770 8478 9568 14193 41 53 47 38 8886 200 02 01 104258 080807  
10 11978 13493 13764 20616 37 45 41 42 8886 219 02 01 114855 080807  
11 10678 11804 11114 14654 42 46 49 42 8886 211 04 01 124828 080807  
12 8788 9219 7275 8392 37 36 40 37 8886 211 03 01 134915 080807  
13 12822 14242 14127 22294 33 49 42 34 8896 209 02 01 085947 090807  
14 12444 13790 13701 21041 46 47 46 51 8886 231 02 01 093134 090807  
15 12731 14184 14489 22743 46 31 47 30 8906 253 04 01 100220 090807  
16 12932 14441 14547 22650 44 34 35 33 8886 263 03 01 103045 090807  
17 13354 14909 15198 23651 38 33 34 32 8886 271 03 01 105122 090807  
18 13257 14334 15224 23359 40 32 49 50 8886 229 04 01 113214 090807  
19 13697 15459 15879 25255 31 51 37 35 8896 198 03 01 090736 100807  
20 13677 15349 15666 25207 41 46 47 46 8896 217 03 01 093548 100807

21 13019 14406 15187 23807 40 43 45 8886 233 03 01 100523 100807  
 22 13619 15353 15714 24637 49 34 35 33 8896 276 04 01 103526 100807  
 23 13304 14857 15073 23256 44 40 46 36 8886 289 03 01 110526 100807  
 24 13190 13783 14594 22144 32 32 38 31 8876 286 03 01 113708 100807  
 25 12133 13256 12992 18977 47 45 41 42 8916 226 02 01 075756 140807  
 26 12907 14225 14034 21058 41 30 32 30 8896 238 02 01 082716 140807  
 27 12965 14351 14269 21682 34 33 33 32 8906 272 02 01 085921 140807  
 28 13247 14547 14646 22424 39 33 34 33 8896 274 04 01 092801 140807  
 29 13244 14757 14702 22549 37 35 35 33 8896 284 04 01 100010 140807  
 30 13278 14776 14672 22355 49 45 51 42 8896 292 02 01 102901 140807  
 31 12143 12961 11955 16921 52 47 46 52 8896 238 04 01 082452 150807  
 32 11689 11886 11774 16859 44 32 44 31 8906 258 02 01 085324 150807  
 33 11862 12626 11690 16644 44 34 36 34 8896 270 02 01 092317 150807  
 34 11406 11693 10627 14261 42 37 44 37 8906 237 03 01 110008 150807  
 35 10707 10801 9171 11486 40 36 44 31 8906 244 03 01 113616 150807  
 36 9640 9730 8187 10159 34 31 33 31 8906 260 02 01 120846 150807  
 37 45 47 61 63 35 31 33 30 8876 265 02 01 184259 150807  
 38 9422 9274 7374 8855 51 33 47 51 8935 240 02 01 065452 120907  
 39 10594 10900 9524 12852 41 44 45 49 8935 243 02 01 075514 120907  
 40 11150 11723 10641 15155 42 31 47 29 8945 247 02 01 085458 120907  
 41 11507 12129 11085 15981 44 31 43 31 8945 258 04 01 095508 120907  
 42 10990 11447 10216 14278 32 32 32 31 8935 298 03 01 105512 120907  
 43 10521 10636 9058 11780 35 33 34 33 8935 282 02 01 115454 120907  
 44 9568 9264 7306 8391 45 40 48 34 8916 285 02 01 125458 120907  
 45 7274 6210 3944 3254 45 35 38 33 8925 283 01 01 135433 120907  
 46 13073 14748 14729 22951 34 33 33 33 8945 278 02 01 082355 041007  
 47 13269 15065 14978 23654 43 40 52 36 8945 292 04 01 085437 041007  
 48 13196 14976 14940 23594 46 36 41 34 8935 284 04 01 092407 041007  
 49 12737 14428 14362 22406 43 42 46 39 8935 280 04 01 095415 041007  
 50 12586 14196 14192 21955 47 35 37 33 8925 273 03 01 102601 041007  
 51 12416 14060 13991 21672 44 34 36 34 8935 274 04 01 105544 041007  
 52 12459 14081 13849 21271 46 33 38 34 8925 272 04 01 112456 041007  
 53 12353 13925 13672 20748 34 32 34 30 8916 267 03 01 115331 041007  
 54 12045 13047 13253 19418 49 46 49 38 8916 287 03 01 122515 041007  
 55 11811 13081 12409 17268 48 32 50 32 8916 298 04 01 125346 041007  
 56 10795 11745 10693 13714 44 38 52 37 8916 300 03 01 132248 041007  
 57 8130 7460 7885 11500 42 28 32 31 8925 254 03 01 065744 051007  
 58 1820 1926 2190 3488 34 32 34 32 8916 264 05 01 072858 051007  
 59 11521 12683 11997 18655 49 35 444 34 8916 277 04 01 101443 051007

