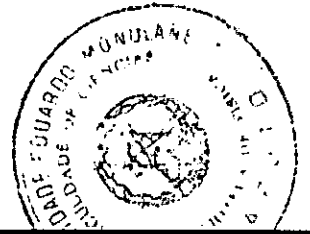


F19-04

BD

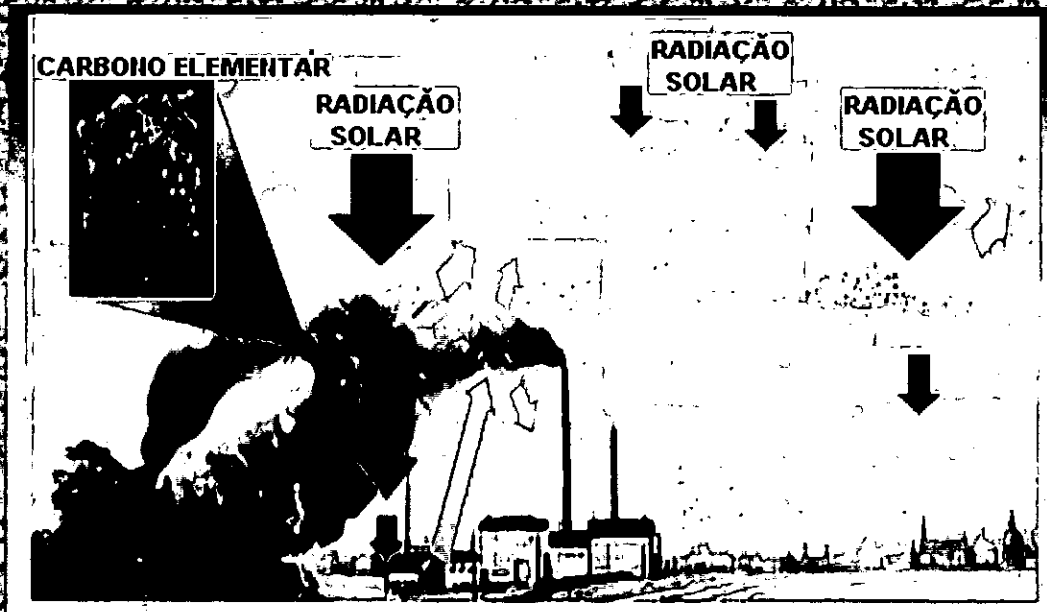


UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Trabalho de Licenciatura

**UM MÉTODO PARA A MEDIÇÃO DA
CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ELEMENTAR
(CE) NUMA ATMOSFERA URBANA**

Euis Manuel João



Maputo - Moçambique
Fevereiro de 2005



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Trabalho de Licenciatura

**UM MÉTODO PARA A MEDIÇÃO DA
CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ELEMENTAR
(CE) NUMA ATMOSFERA URBANA**

Autor: Luís Manuel João

Supervisor: Prof. Doutor Rogério José Uthui

Maputo-Moçambique
Fevereiro de 2005

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra, que este trabalho para a obtenção de grau de Licenciatura em Física Aplicada, nunca foi apresentado, na sua essência, para a obtenção de qualquer outro grau, na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique) e que constitui resultado da minha investigação pessoal, estando no texto e na bibliografia, as fontes utilizadas.

Luís Manuel João

(Luís Manuel João)

14 de Fevereiro de 2005

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Manuel Luís João e Fina Uaite, e aos meus irmãos, Raúl Manuel Luís João, Alberto Manuel Luís João e Francisca Manuel Luís João.

AGRADECIMENTOS

A abordagem deste tema, só foi possível, com a ajuda preciosa e incansável de pessoas que se tornaram parte da minha vida. Portanto quero agradecer primeiramente a Deus por permitir que mais um objectivo seja alcançado, e:

- À minha família, que me apoiou em todos momentos, em particular, a mana Lúcia Chabuca e o seu marido (Vasco Soda), a quem devo a grande parte da minha carreira estudantil;
- À Associação Mozal para o Desenvolvimento da Comunidade (AMDC) – Mozal, na pessoa da Dra. Ivete Arão, a coordenadora da associação, que diversas vezes esteve apta a dar-me apoio necessário para a efectivação do curso, em geral, e da tese em particular;
- Ao Prof. Doutor Rogério José Uthui, que prontamente me encaminhou e orientou sempre que necessário;
- Aos docentes do Departamento de Física da Universidade Eduardo Mondlane, em especial ao Dr. Sacate, Dr. Cumbane, Dr. Queface, Dr. Akill, dr. Rego, dr. Luís Miguel e Eng. Faustino que incondicionalmente ajudaram-me no que podiam.
- Ao MICOA, em especial, ao Dr. Lotes, ao Dr. Luís, ao Arquitecto Bernardino e Dra. Natália à Dona Antonieta, que me ajudaram a interpretar os padrões de qualidade de ar;
- À INAM, em geral, e ao Dr. Mussa Mustafa, que me ajudaram na busca das condições meteorológicas dos dias de medições;
- À minha grande amiga, Celina Tatiana Chumaio, pelo encorajamento, paciência e dedicação incansável a minha pessoa;
- Aos meus colegas do curso, em especial, Issufo, Orlando, Ridwaan, Ataíde, Marrenjo, Meque, Duvane, Badrú, Hermínia, Moiane, Magaia, pelo companheirismo ao longo destes anos.
- Aos meus amigos, que são tantos, por isso não irei nomear, pela compreensão que tiveram nos momentos de mau humor, e não só
- Ao Dalitso, Sanducha e Laura, que em todos momentos ajudaram-me em alguns apoios académicos (impressões, encadernamento, etc.);

E finalmente a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a realização desta pesquisa, um especial obrigado por tudo.

*O conselho da sabedoria: Procure obter a sabedoria;
use tudo o que você possui para adquirir entendimento.*

Provérbio de Salomão 4:7

LISTAS DE FIGURAS**Páginas**

Figura 1:	Tipos de aerossóis e as fontes emissoras dos mesmos.....	6
Figura 2:	Transporte médio de massas de ar na escala sinóptica entre a superfície e os 500 hPa.....	13
Figura 3:	Transporte das massas de ar a partir da região de Highveld.....	14
Figura 4:	Inalação de aerossóis de diferentes tamanhos. Partes em preto representando a presença de gases e particulado inalável depositado no sistema respiratório humano, de acordo com o tamanho das partículas.....	16
Figura 5:	Esquema de produção, por meio da queima, do carbono elementar e o seu impacto ambiental.....	22
Figura 6:	Esquema elucidativo do Efeito de Estufa	24
Figura 7.a:	O Kit completo do amostrador portátil de ar — MiniVol	27
Figura 7.b:	O sistema de montagem do MiniVol.....	27
Figura 8.a:	A impactação usada para amostragem de PM _{2.5}	28
Figura 8.b:	Os filtros puros de Quartzo de 47 mm, usados no processo de amostragem do material particulado de carbono elementar.....	28
Figura 9:	Esquema ilustrativo do circuito usado para a montagem do densitómetro manual de fabrico local.....	33
Figura 10:	Processo de construção, desde a) a preparação dos materiais, até b) a ligação das componentes para formar um circuito.....	34
Figura 11:	Pormenor da parte interna do densitómetro.....	35
Figura 12:	Curva de calibração do instrumento construído.....	36
Figura 13:	Densitómetro manual, ilustrando o processo de leitura da atenuação da tensão do particulado fino depositado sobre o filtro.....	37
Figura 14:	Uma balança visual, demonstrando o uso de uma escala de 'Atenuação'.....	38
Figura 15:	Médias diárias da concentração dos aerossóis de PM _{2.5} sobre a cidade de Maputo durante o período de 10 de Setembro a 10 de Outubro de 2004.....	40
Figura 16:	Bairros da cidade ilustrando os médios, máximos e mínimos valores da concentração de PM _{2.5} . BC-Bairro Central, BLC-Bairro de Luís Cabral, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.....	41
Figura 17:	Médios, máximos e mínimos valores da concentração de PM _{2.5} em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. BC-Bairro Central, BLC-Bairro de Luís Cabral, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.....	43
Figura 18:	Médias diárias da concentração dos aerossóis de carbono elementar sobre a cidade de Maputo durante o período de 10 de Setembro à 10 de Outubro de 2004.....	44

Figura 19:	Bairros da cidade ilustrando os médios, máximos, mínimos e a frequência de ocorrência de [CE]>Padrão nacional. BC-Bairro Central, BLC-Bairro de Luís Cabral, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.....	45
Figura 20:	Médios, máximos, mínimos e a frequência de ocorrência de [CE]> Padrão nacional, em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. BLC-Bairro de Luís Cabral, BC-Bairro Central, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.....	47
Figura 21:	Percentagem de CE em PM _{2,5} , representa a porção de carbono elementar (CE) no material particulado sobre a cidade de Maputo durante o período de 10 de Setembro à 10 de outubro de 2004.....	48

LISTAS DE TABELAS

	Páginas	
Tabela 1:	Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.....	19
Tabela 2:	Dados padrões de qualidade do ar nacional e da EPA, para alguns dos principais centros urbanos.....	20
Tabela 3:	Valores médios, máximos e mínimos de [PM _{2,5}] e a frequência de ocorrência de [PM _{2,5}] maior que o padrão nacional de toda amostragem.....	40
Tabela 4:	Valores médios, máximos e mínimos de [PM _{2,5}] e a frequência de ocorrência de [PM _{2,5}] maior que o padrão nacional, em função dos dias de semana.....	42
Tabela 5:	Valores médios, máximos e mínimos de [CE] e a frequência de ocorrência de [CE] maior que o padrão nacional de toda amostragem.....	45
Tabela 6:	Valores médios, máximos e mínimos de [CE] e a frequência de ocorrência de [CE] maior que o padrão nacional, em função dos dias de semana.....	46
Tabela 7:	Médias mensais da concentração PM _{2,5} sobre a cidade de Maputo durante todo o período de amostragem.....	a1
Tabela 8:	Bairros da cidade ilustrando os médios, máximos e mínimos valores da concentração de PM _{2,5} ; a) BLC-Bairro de Luís Cabral, b) BC-Bairro Central, c)HU-Hulene, d) CU-Campus Universitário.....	a2
Tabela 9:	Médios, máximos e mínimos valores da concentração de PM _{2,5} em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. i) BC-Bairro Central, ii) BLC-Bairro de Luís Cabral, iii) HU-Hulene, iv) CU-Campus Universitário	a3
Tabela 10:	Médias mensais da concentração de carbono elementar-CE sobre a cidade de Maputo durante todo o período de amostragem; o desvio padrão, erro absoluto e o erro relativo.....	a4

Tabela11: Bairros da cidade ilustrando os mínimos, médios e máximos valores da concentração de CE; o desvio padrão, erro absoluto e o erro relativo.a) BLC-Bairro de Luís Cabral, b) BC-Bairro Central, c)HU-Hulene e d) CU-Campus Universitário.....	a5
Tabela12: Médios, máximos e mínimos valores da concentração de CE em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. i) BC-Bairro Central, ii) BLC-Bairro de Luís Cabral, iii) HU-Hulene e iv) CU-Campus Universitário.....	a6
Tabela13: Folha de registro de dados de tensão todo o período de mostragem para diferentes bairros: a) Campus Universitário, b)Bairro Luís Cabral, c) Bairro de Hulene e d) Bairro Central.....	a7

ACRÓNIMOS

MiniVol — Amostrador Portátil de ar

NASA – National Aeronautic and Space Administration = Administração Nacional Aeronáutica e Espacial

IPCC – Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas

INAM – Instituto Nacional de Meteorologia

INE – Instituto Nacional de Estatística

INAV – Instituto Nacional de Aviação

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

C.U. – Campus Universitário

CE— Carbono Elementar

BC — Bairro Central

HU – Hulene

B.L.C. – Bairro Luís Cabral

EPA — Agência americana para a protecção ambiental

MICOA – Ministério para Coordenação da Acção Ambiental

PM_{2.5}— Material particulado com diâmetro menor ou igual a 2.5 µm

PM₁₀— Material particulado com diâmetro menor ou igual a 10 µm

UNIDADES

cm² — centímetro quadrado

µg/m³ — micrograma por metros cúbicos

V — Volt

mmHg — milímetro de mercúrio

°C — Graus Celsius

lpm — Litros por minutos

ppb — parte por bilhão

ppm — partes por milhão

SÍMBOLOS

m — massa;

A — é a atenuação da mancha

ρ_{EC} — é a densidade de carbono elementar;

m_{EC} — é a massa total de carbono elementar da amostra;

S_{mancha} — é a área da mancha original colectada;

$[EC]_{amb}$ — é a concentração de carbono elementar no ar, nas condições ambientais;

V_{amb} — é o volume total do ar, nas condições ambientais;

V_{std} — é o volume total do ar, nas condições padrões;

$[U_o]$ — é a tensão em cada filtro de medição;

$U_{o/c}$ — é a tensão em cada zona com manchas do filtro de calibração;

$U_{s/m}$ — é a tensão do filtro de calibração, numa zona sem mancha;

$[U]$ — é a tensão do filtro antes de medição do ar;

ln — logarítmo natural

P_{amb} — é a pressão do ar, nas condições ambientais;

P_{std} — é a pressão do ar, nas condições padrões;

T_{amb} — é a temperatura, nas condições ambientais;

T_{std} — é a temperatura, nas condições padrões;

Q_{std} — é a taxa de fluxo do ar nas condições de padrões;

$Q_{in} = 5.0$ lpm — é a taxa de fluxo do ar actual.

Resumo

Quantidades consideráveis de aerossóis de carbono elementar-CE são produzidos na África Austral, em geral, e em Moçambique, em particular, fundamentalmente pelas actividades humanas tais como queimadas de vegetação por fogo posto, actividades industriais, transporte e queima de combustíveis fósseis para a produção de energia. A medição da concentração de carbono elementar na atmosfera urbana de Maputo é de extrema importância para avaliar os efeitos dos aerossóis na saúde e no clima da região. Devido ao efeito da atenuação da radiação solar, os aerossóis de carbono elementar podem afectar a distribuição da radiação sobre a superfície terrestre, influenciando assim o aquecimento ou esfriamento da região.

Interesse na medição da concentração de carbono elementar na atmosfera da cidade de Maputo, tem vindo a aumentar, devido ao grande aumento dos níveis de poluição na atmosfera e, principalmente, dada a necessidade de se conhecer a qualidade do ar que respiramos.

Da análise de dados obtidos na determinação da concentração de CE sobre a cidade de Maputo, usando um amostrador portátil de ar – MiniVol e um densitómetro manual, entre 10 de Setembro à 10 de Outubro de 2004, verificou-se que, em aproximadamente 19% das medições, registou-se uma concentração de CE superior ao padrão nacional ($65\mu\text{g}/\text{m}^3$) e uma média diária de $(2.67 \pm 0.26)\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que significa um nível elevado de aerossóis de carbono elementar, na atmosfera.

De acordo com os mesmos dados, observou-se que, os mais elevados níveis da concentração de aerossóis, com uma concentração de CE entre 2.13 e $7.69\mu\text{g}/\text{m}^3$, foram observados no Hulene, enquanto que no Bairro Central, este se mostrou mais abaixo entre 0.45 e $1.61\mu\text{g}/\text{m}^3$. Portanto com base nestes resultados, observou-se que, apesar de existirem zonas como Campus Universitário, em que se pode encontrar grandes movimentações de poeira (correspondente à partículas grossas), a queima de combustíveis fósseis e da biomassa são grandes factores que contribuem para o aumento de níveis de aerossóis de CE no centro urbano.

Índice

Páginas

Declaração de honra.....	i
Dedicatória.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Ditado.....	iv
Listas de figuras.....	v
Listas de tabelas.....	vi
Acrónimos.....	vii
Unidades e Símbolos.....	viii
Resumo.....	ix
Índice.....	x

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS..... 1

1.1	Introdução.....	1
1.1.1	Estrutura do trabalho de licenciatura.....	3
1.2	Objectivos.....	3
1.2.1	Geral.....	4
1.2.2	Específicos.....	4

CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 5

2.1	Fundamentos sobre carbono elementar (CE).....	5
2.1.1	Carbono elementar (CE) ou Black carbon (BC).....	5
2.1.2	A poluição em centros urbanos.....	5
2.1.3	A cidade de Maputo.....	10
2.1.4	Caracterização geográfica e climática.....	10
2.1.5	Principais fontes emissoras de poluentes.....	10
2.2	Circulação atmosférica e o transporte de aerossóis de carbono elementar (CE).....	12
2.3	Os padrões da qualidade do ar, a poluição e a saúde.....	15
2.4	Impacto de carbono elementar sobre o clima.....	21
2.4.1	Balanço radiativo.....	21
2.4.2	Padrão de vento.....	22

x

2.4.3	Carbono elementar a favor do meio ambiente.....	23
2.4.3.1	Fenómeno de efeito estufa.....	23
2.5	Fontes de poluição na atmosfera.....	24
2.5.1	Classificação das fontes de poluição na atmosfera.....	25
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....		26
3.1	Localização e descrição dos locais de observação.....	26
3.2	Material e métodos usados.....	26
3.2.1	Material.....	27
3.2.1.1	Descrição do amostrador portátil de ar – MiniVol.....	27
3.2.1.2	Modo de amostragem de material particulado.....	28
3.2.1.3	Procedimentos de amostragem de PM2.5.....	28
3.2.2	Método gravimétrico.....	29
3.3	Processamento de dados.....	30
3.3.1	Cálculo da concentração de material particulado (PM2.5).....	30
3.3.2	Medição da concentração de carbono elementar.....	32
3.3.2.1	Construção e descrição do densitómetro manual de fabrico local.....	32
3.3.2.1.1	Componentes usados.....	33
3.3.2.1.2	Testagem do densitómetro.....	34
3.3.2.1.3	Calibração do densitómetro.....	35
3.3.2.2.	Análise de carbono elementar por atenuação das manchas.....	37
CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		39
4.1	Concentração do material particulado (PM _{2.5}) durante o período de amostragem.....	39
4.1.1	Concentração de aerossóis de carbono elementar em diferentes locais de observação	40
4.1.2	Análise em função da variação diurna da concentração de aerossóis de carbono elementar.....	42
4.2.	Concentração dos aerossóis de carbono elementar durante o período de amostragem.....	43
4.2.1.	Concentração de aerossóis de carbono elementar em diferentes locais de observação	44

4.2.2	Análise em função da variação do meio e fim de semana, da concentração de aerossóis de carbono elementar.....	6
4.3	Porção de carbono elementar em $PM_{2.5}$ (CE/ $PM_{2.5}$).....	48
	CAPÍTULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	49
5.1	Conclusões.....	49
5.2	Recomendações.....	50
5.3	Limitações	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

ANEXOS

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Nesta secção, faz-se uma breve introdução acerca do trabalho, a estrutura da dissertação e a descrição dos objectivos do trabalho.

1.1. Introdução

O aumento dos níveis de poluição, e a preocupação na protecção e preservação do meio ambiente, tem vindo, nos últimos anos, a motivar estudos de modo a conciliar o desenvolvimento sócio-económico com o uso racionalizado dos recursos naturais, pois o aumento dos níveis de poluição tem danificado os nossos recursos de vida. Sendo um desses recursos o ar puro, que é de vital importância para a vida do homem e dos ecossistemas naturais do nosso planeta, as organizações de protecção do meio ambiente têm trabalhado, arduamente, na sensibilização das pessoas quanto ao problema do aumento dos níveis de poluição. É de salientar que estudos feitos recentemente, mais precisamente aqui na África Austral, deixaram bem claros, que, embora o ar possa ser contaminado por processos naturais fora do controle do homem, as actividades humanas são hoje reconhecidas como o maior agente de poluição ambiental (EPA,1999; Castanho, 1999; Utui, 1999).

Grande parte dos materiais poluentes do ar são de origem antropogénica, como por exemplo: queimadas de florestas por fogo posto, processos industriais, agricultura, transporte, queima de combustíveis fósseis para a produção de energia, actividades comuns de pinturas de edificios, etc.

A atmosfera de um centro urbano é um complexo constituído por gases e partículas poluentes emitidas por fontes móveis e fixas ou gerados por reacções químicas, que excedem as concentrações naturais da atmosfera.

Em Moçambique, o grau de qualidade de ar que as pessoas respiram não é conhecido. Estudos abordando estes temas têm se tornado comuns e habituais, mas ainda não se atingiram as dimensões necessárias para que este problema seja conhecido e tomado mais em consideração (Utui, 1999, Queface, 1999 e Saldiva, 1992).

Segundo estudos divulgados pela OMS, um Homem adulto faz passar por seus pulmões, em média, cerca de 12 m³ de ar por dia, precisa de consumir cerca de 1.5 kg/dia de alimento sólido, 2 kg/dia de água e 15 kg/dia de ar, do qual retira o oxigénio que o sangue absorve e distribui pelo corpo todo. Esse mesmo Homem pode viver cinco semanas sem comida, cinco dias sem água, mas não mais que cinco minutos sem ar o que, o obriga a respirar o ar disponível, poluído ou não. Daí o contributo com mais um estudo nesta área concretamente no que diz respeito à qualidade do ar urbano.

A cidade de Maputo apresenta nas últimas décadas um grande desenvolvimento industrial e comercial, o que resultou num acentuado crescimento da população, levando a um colapso do sistema de transporte que não acompanhou o crescimento da cidade. O material particulado inalável e gases poluentes, como o carbono elementar, presentes na atmosfera são tóxicos à saúde e cancerígenos (Queface, 1999; Utui, 1999).

Estudos epidemiológicos apresentam o aumento da morbidade e da mortalidade da população, em episódios de altas concentrações de particulados inaláveis (Saldiva et al., 1992). Os aerossóis de carbono elementar interferem nas propriedades radiativas da atmosfera, podendo actuar como núcleos de condensação de nuvens, o que pode alterar as condições climáticas locais (Andrade e Dias, 1999, Martins, 1998).

Com o intuito de determinar a concentração das partículas de carbono elementar na cidade de Maputo, quanto à composição e tamanho, identificar as principais fontes de emissão e processos deste poluente, em particular a contribuição das queimadas ou combustões na poluição da cidade de Maputo, foi realizado uma campanha de amostragem num período de transição de Inverno para o Verão

(Setembro de 2004). A instrumentação utilizada inclui o Amostrador Portátil de ar MiniVol e um Densitómetro Manual de fabrico local, o que permitiu a obtenção dos dados da concentração de carbono elementar (CE).

1.1.1. Estrutura do trabalho de licenciatura

No **Capítulo 1**, faz-se uma introdução, que é de uma forma geral a abordagem do assunto, os resultados que dele se espera, e os objectivos da pesquisa; O **Capítulo 2**, apresenta um resumo dos fundamentos teóricos sobre a poluição atmosférica; **Capítulo 3**, apresenta detalhes sobre a metodologia de investigação usada e os procedimentos experimentais; O **Capítulo 4**, apresenta os resultados e uma breve análise dos mesmos; E o **Capítulo 5**, apresenta as conclusões, recomendações e limitações encontradas durante a realização deste trabalho.

1.2. Objectivos

A presença de carbono elementar (CE) na atmosfera e os efeitos deste composto sobre os seres humanos são bem conhecidos quando as suas concentrações atingem elevados níveis. Qualquer estudo atmosférico (como a inventariação dos gases do efeito estufa-GHG, aquecimento global, a caracterização ópticas dos aerossóis atmosféricos, etc.) que venha a ser feito, bem como a sua análise sobre os efeitos de altas concentrações de CE que possam vir a ocorrer, requerem um conhecimento dos níveis de poluição atmosférica. O presente trabalho têm os seguintes objectivos:

1.2.1. Geral

- ❖ Determinar a concentração de carbono elementar (CE) na atmosfera urbana da cidade de Maputo, introduzindo uma técnica para o controlo desta espécie química em Moçambique.

1.2.2. Específicos

- ❖ Estudar as possíveis fontes de carbono elementar (CE) e a sua contribuição para o aumento de níveis do mesmo;

- ❖ Determinar a concentração do material particulado com diâmetro menor que $2.5\mu\text{m}$ para uma posterior correlação com a concentração de carbono elementar, usando amostrador portátil de ar MiniVol;
- ❖ Quantificar as fracções de carbono elementar (CE) nos aerossóis de diferentes áreas da cidade de Maputo usando um densitómetro por forma a desenvolver medidas de mitigação;
- ❖ Estabelecer a relação entre a concentração de $\text{PM}_{2.5}$ e de CE;
- ❖ Calcular a percentagem de CE no material particulado $\text{PM}_{2.5}$;
- ❖ Construir e calibrar o densitómetro manual de fabrico local, com base em padrões de qualidade de ar;
- ❖ Testagem do instrumento construído;
- ❖ Determinação da atenuação das manchas em filtros de medição;

O objectivo principal deste trabalho, para além de pressupor a construção de um instrumento de medição (densitómetro manual de fabrico local), inicia uma nova etapa de estudos no nosso país em volta dos aerossóis de *carbono elementar (CE)*, que permite medir a sua concentração e compreender a quantidade de carbono elementar no ar.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo da revisão bibliográfica, faz um levantamento teórico dos conceitos ligados ao carbono elementar, partindo da definição, descrição qualitativa de um centro urbano, o clima e a localização geográfica de Maputo Cidade, fontes de emissão, padrões de qualidade de ar e as consequências de inalação excessiva desta espécie química.

2.1. Fundamentos teóricos

2.1.1. Carbono elementar (CE) ou "Black carbon (BC)"

Carbono elementar (CE) é um composto de carbono muito complexo, livre na atmosfera e formado por várias cadeias de hidrocarbonetos. É um aerossol (partícula que mede de 0,001 até 1 micro e que se encontra suspensas no ar). O CE tem diâmetro na ordem de 0,1 micros, considerado grande se comparado com o gás carbónico (CO_2), uma estrutura bem menor formada por carbono e oxigénio. O carbono elementar é um particulado sólido que se forma no acto da queima de derivados de petróleo (fonte de carbono antiga) e de biomassa como a floresta, que é uma fonte mais recente formada por estruturas de carbono (Evangelista et al., 2001).

O carbono elementar (CE) não é tão nocivo à saúde quanto os outros compostos como óxidos de nitrogénio (NO_x), o gás carbónico (CO_2) ou o ozono (O_3). Estes elementos, por serem mais nocivos à saúde humana, são regulados por um limite. Já o carbono elementar (CE) tem uma implicação maior sobre a qualidade do ar do ponto de vista climático e do balanço radiativo (Evangelista et al., 2001).

Em áreas urbanas, para além dos componentes naturais presentes na atmosfera, são lançados para a atmosfera gases e partículas poluentes ou não que, sob diferentes condições meteorológicas (pressão, temperatura, humidades e radiação solar), sofrem reacções formando substâncias adicionais às já emitidas, que contribuem para o agravamento da poluição dos grandes centros urbanos.

Aerossol é um termo usado para descrever vários tipos de pequenas partículas na atmosfera, sólidas ou líquidas em suspensão. As partículas de aerossol atmosféricos são constituídas por uma mistura de partículas de origem primária (emissão directa da fonte) e secundária (transformação de gás para partícula). (Seinfeld, 2002).

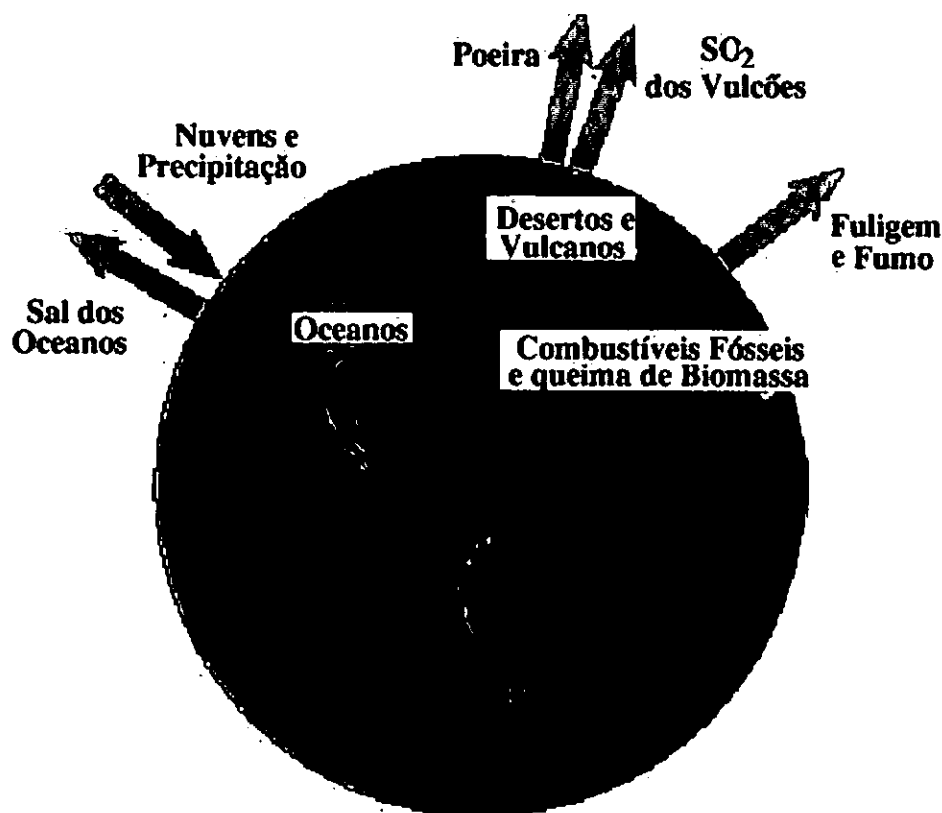


Figura 1: Tipos de aerossóis e as fontes emissoras dos mesmos. (Adaptado de http://bssn.gsfc.nasa.gov/proto_measure.html).

Figura 1: Tipos de aerossóis e as fontes emissoras dos mesmos. (Adaptado de http://bssn.gsfc.nasa.gov/proto_measure.html).

As partículas de aerossol possuem tamanhos que variam de nanómetros (nm) a dezenas de micrómetros (μm) de diâmetro. O particulado é naturalmente dividido em duas modas definidas por intervalos de tamanho, onde se tem maior concentração de partículas:

- a) a moda das partículas finas, menores que $2.5 \mu\text{m}$ de diâmetro aerodinâmico e
- b) a moda das partículas grossas, maiores que $2.5 \mu\text{m}$.

Isto é conveniente, pois as fracções de tamanhos possuem diferentes propriedades físicas e químicas, diferentes processos de emissão e remoção na atmosfera. A moda grossa é geralmente constituída por partículas primárias, formadas a partir de processos mecânicos, como ressuspensão de poeira do solo por ventos, sal marinho, cinzas de combustão e emissões biogénicas naturais.

A moda fina contém partículas geradas por processos de combustão por indústrias, veículos e partículas secundárias, provenientes da formação de partículas na atmosfera a partir de gases, como por exemplo, a formação de sulfatos a partir de SO_2 (Seinfeld e Pandis, 1998).

O particulado inalável (conjunto que engloba as partículas das modas finas e grossas maiores do que $10 \mu\text{m}$) é basicamente constituído por sulfatos, nitratos, amónia, aerossol carbonáceo, sais marinhos (NaCl), elementos de solo (Al, Si, Ti, Ca, Fe), metais pesados (Pb, Zn, Cu, V, Ni, Cd, Cr, outros) e água.

O aerossol carbonáceo é hoje reconhecido como o componente mais abundante em massa no aerossol urbano (Puri, 1996). O material carbonáceo é constituído por compostos de carbono orgânico primário e secundário. As fontes primárias são, principalmente, a combustão incompleta de combustíveis fósseis ou evaporação, processos industriais e emissão biogénica.

As fontes secundárias são formadas a partir de compostos orgânicos voláteis (VOC). O *black carbon*¹, é predominantemente produto primário dos processos de combustão incompleta.

O particulado possui, em geral, tempo de permanência de dias a semanas na atmosfera. Pode ser, entretanto, transportado a longas distâncias por correntes de ar favoráveis, interferindo na química e física da atmosfera, não somente em escala local mas também em escala regional e até global.

Os processos de remoção de aerossóis ocorrem basicamente por deposição seca e húmida. A deposição seca ocorre devido à acção de gravidade sobre as partículas, sendo mais eficiente na fracção grossa do particulado. A deposição húmida ocorre por remoção de partículas dentro e em baixo das nuvens, devido a precipitação (Puri et al., 1996).

Os aerossóis que contribuem para a poluição atmosférica de um ambiente urbano podem ser prejudiciais à saúde da população, influenciando directamente em sua morbidade e mortalidade. Alguns aerossóis são cancerígenos por conterem metais constituídos por arsénio-As, crómio-Cr, cádmio-Cd, chumbo-Pb, Zinco-Zn e compostos orgânicos como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dentre outros (Puri et al., 1996).

Os aerossóis podem reduzir a visibilidade, motivo para o encerramento de aeroportos devido à ocorrência de nevoeiro. São responsáveis pela acidificação das chuvas, do solo e degradação de monumentos (Chuvas ácidas devido à oxidação de SO₂ formando ácido sulfúrico). Além disso, os aerossóis jogam um papel definitivo no balanço radiativo da atmosfera. Dependendo das suas características como o tamanho, forma e composição química, os aerossóis apresentam propriedades ópticas diferentes, espalhando ou absorvendo radiação solar, promovendo resfriamento ou aquecimento da atmosfera.

¹ Fumo Negro ou carbono elementar é a tradução para o português de Black Carbon, Neste trabalho será utilizada a terminologia inglesa *Black Carbon*

O efeito de resfriamento da atmosfera pode estar compensando o efeito de aquecimento gerado pelos gases de efeito estufa² em regiões industrializadas do hemisfério norte (Seinfeld e Pandis, 1998). Indirectamente influenciam a formação de nuvens actuando como núcleos de condensação (Wallace e Hobbs, 1998).

Os gases poluentes presentes numa atmosfera urbana são de produção primária e secundária. Os principais gases tóxicos emitidos directamente pelas fontes são os NO_x (óxidos de nitrogénio), SO_x (óxidos de enxofre), CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono), NH₃ (amónio), CH₄ (metano), VOC (compostos orgânicos voláteis). Os gases de produção secundária são formados a partir das reacções químicas e fotoquímicas na atmosfera como ozono (O₃) e hidrocarbonetos policíclicos e aromáticos (PAH). O ozono é produzido a partir das reacções fotoquímicas, pelos precursores NO_x e VOC.

Os NO_x, SO_x e VOC sofrem reacções químicas transformando-se em partículas finas ou reagem na superfície das partículas, agregando-se a elas. Os gases tóxicos promovem o aumento da morbidade e mortalidade da população, além de trazerem consequências nocivas para o meio ambiente. Os gases de efeito estufa possuem importante papel nas alterações climáticas globais.

Gases como Clorofluorcarbono (CFC) e NO_x, emitidos na atmosfera e que atingem a estratosfera, são responsáveis pela destruição do ozono estratosférico. O ozono estratosférico absorve a radiação ultravioleta prejudicial ao desenvolvimento dos seres vivos (Andrade e Dias, 1999).

Os gases possuem tempo de vida (ou de permanência) na atmosfera que varia de minutos a séculos. O longo período de permanência e as consequências devido a presença destes gases na atmosfera gera grandes discussões a respeito do controle de emissões de poluentes nos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

² Os principais gases do efeito estufa são o CO₂, CH₄, o Ozono troposférico, N₂O e compostos halogénicos que são lançados na atmosfera devido à industrialização e emissões de queimadas. Estes gases absorvem a radiação no infravermelho que é emitida pela superfície terrestre, promovendo o aquecimento da atmosfera.

2.1.3. A cidade de Maputo

A província de Maputo é o maior conglomerado populacional do país e está localizada na zona sul de Moçambique. Ela é constituída por dois (02) municípios (Maputo cidade e Matola) que compreendem uma área total de 675 Km². Dos quais 300 Km² corresponde a área urbanizada (Maputo cidade).

(Ver o mapa da cidade de Maputo no anexo).

2.1.4. Caracterização geográfica e climática

A cidade de Maputo está localizada geograficamente no litoral, latitude 25° 56' e longitude 32° 35' Este. A cidade é drenada pela bacia de Incomati. Possui uma população de 1.073.938 habitantes (em 2004) e uma extensão de 300 Km², com 72 m de altitude, sendo a mais povoada cidade do país (INE, 2003).

O Clima pode ser resumido em duas estações bem definidas com um Verão chuvoso e um Inverno seco. O Inverno é caracterizado pela ocorrência de frentes frias, o que é favorável à dispersão de poluentes (INAM, 2000).

2.1.5. Principais fontes emissoras de poluentes

A frota de veículos da cidade de Maputo apresenta um crescimento acentuado de a 20 anos para cá. Na época de 1990 havia um crescimento do parque automóvel de cerca de 0.59% (correspondente a 4701 veículos por ano), e actualmente (em 2003) atingem um pouco mais de 4.92%, o que totaliza uma frota de cerca de oito mil e noventa e sete (8.097) veículos por ano, contra dez mil e cento e vinte e um (10.121) veículos de todo o Maputo e cento e sessenta e quatro mil e quinhentos e setenta e cinco (164.575) veículos de todo o país (INAV, 2003).

O elevado número de veículos num contorno urbano, ao invés do conforto de transporte individual, gera o desconforto devido aos congestionamentos que chegam a quilómetros de extensão em horários de picos, além dos problemas gerados na saúde da população devido às emissões poluentes.

Os principais problemas acerca de emissão veicular são: o tipo de combustível e a idade dos veículos. Os combustíveis como a gasolina e o diesel, levam à emissão de NO_x , CO , SO_x , hidrocarbonetos e material particulado. Os gases responsáveis pelo aquecimento global da Terra, encontram-se na combustão de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados, e nas cidades cerca de 40% deve-se à queima de gasolina e de óleo diesel, facto que se justifica pelo número de veículos automóveis que aí circulam (INAV, 2003).

A emissão de veículos movidos a diesel e gasolina é a principal fonte de gases e partículas poluentes na atmosfera. A combustão incompleta tem como produtos: NO_x , CO_2 , CO , SO_2 , particulado de *carbono elementar (CE)* e hidrocarbonetos: formaldeídos e acetaldeídos, que também são produzidos secundariamente na atmosfera. Compostos como benzeno, xileno, tolueno são emitidos a partir da combustão incompleta ou por evaporação directa de combustíveis (EPA, 1999).

A cidade de Maputo possui uma lixeira, sempre aberta, localizada no bairro de Hulene (lixeira de Hulene) e um aterro sanitário-oficial no bairro de Beloluane (lixeira de Mavoco) e uma única incineradora privada no bairro de Polana. Na lixeira de Hulene, são despejados, ao céu aberto, tanto os resíduos domiciliares e os resíduos hospitalares, enquanto que no aterro sanitário, é depositado apenas o lixo industrial perigoso.

Os resíduos sólidos hospitalares na incineradora são queimados à temperatura de $\sim 1200^\circ\text{C}$ e como produtos da emissão têm-se o CO_2 , vapor de água e material particulado (MICOA, 2004).

O solo ressuspenso é o principal componente do particulado grosso. É proveniente do solo exposto como em ruas de terra e poeira que se acumula nas ruas pavimentadas, de onde é suspenso por ventos e pela própria movimentação de veículos.

2.2. Circulação e o transporte atmosférico de aerossóis de CE

A principal força que gera o transporte dos aerossóis, é a circulação prevalecente na região. A região da África Austral é dominada pela circulação média da atmosfera sobre o subcontinente, isto é, pela circulação anticiclónica.

Anticiclone é uma zona de alta pressão com ar a circular no sentido horário no hemisfério norte e em sentido contrário no hemisfério sul, havendo uma descida geral e lenta de ar em certa área (Gilpin, 1980).

Estudos conduzidos recentemente na África Austral, indicam que as condições de circulação atmosférica prevalecentes na região, favorecem a acumulação e transporte, até grandes distâncias (milhares de quilómetros), de materiais poluentes do ar. Grande parte destes são produzidos por actividades humanas, tais como: queimadas de vegetação, processos industriais, agricultura, uso de combustíveis lenhosos e transportes (Queface e Cumbane, 1999).

O transporte dos materiais poluentes produzidos por estas actividades não conhecem fronteiras de países, e a sua permanência por tempo relativamente longo na atmosfera sobre o nosso subcontinente possui potencial para provocar mudanças no clima regional e desastres ecológicos com consequências imprevisíveis (Utui, 1999).

Moçambique, devido à sua localização na região oriental do continente africano, banhado a leste pelo oceano Índico, estendendo-se desde 10.5 ° até 27° Sul de latitude, e desde 30° até 40.5° Este de longitude (Ferreira et al., 1965), também é afectado pelos anticiclones prevalecentes na região.

O transporte dos anticiclones dominantes para a costa Este da África do Sul e também para o Oceano Índico à cerca de 30° S, o que corresponde aproximadamente à 56% de todos tipos de circulação de escala sinóptica (*fig. 3*); 44% corresponde a parcelas de ar recirculado originadas sobre o subcontinente, isto é, a parcela de ar no mínimo faz uma trajectória circular (360°) sobre o continente, antes de partir para a margem continental e sair para um dos oceanos

adjacentes. A trajectória menos importante, é o transporte de massas de ar em direcção ao Oceano Atlântico (18%).

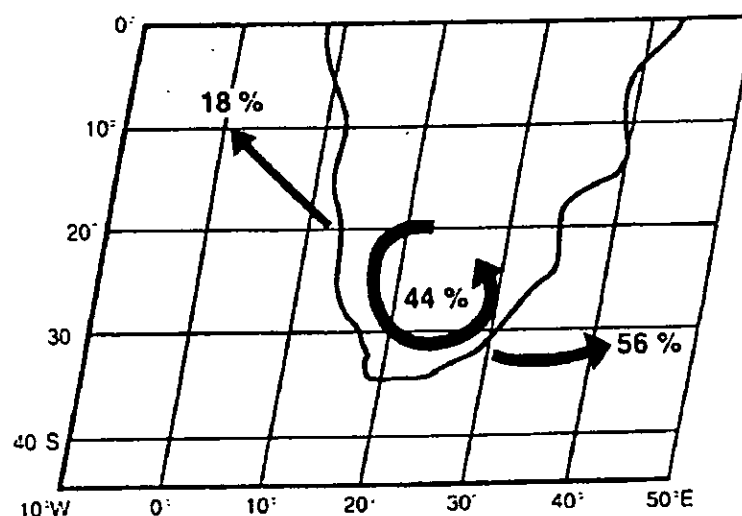


Figura 2. Transporte médio de massas de ar na escala sinóptica entre a superfície e os 500 hPa (Piketh et al., 2000).

A mistura vertical na atmosfera é o maior processo que influencia a dispersão e está muito ligada à estrutura termodinâmica da atmosfera. A larga escala de subsidência associada aos anticiclones continentais prevaletentes, resulta num movimento vertical direccionado para baixo sobre a África Austral (Piketh et al., 2000).

A subsidência do ar produz um aquecimento adiabático, o que, resulta numa atmosfera seca suprimindo a mistura convectiva e resultando em altas condições de estabilidade que favorecem a formação de inversão radiativa na superfície, inversões elevadas de subsidência e camadas absolutamente estáveis.

A camada estável e a circulação atmosférica anticiclónica dominante na África Austral, resulta na acumulação dos aerossóis naturais e antropogénicos (por exemplo, carbono elementar (CE) na atmosfera.

Mais recentemente, na região de Highveld (África do Sul), fez-se uma observação de oito (8) anos de trajectória climática (Freiman e Piketh, 2002) e confirmou-se a prevalência da recirculação sobre o subcontinente (33%) e o transporte para a costa Este (39%), figura 4.

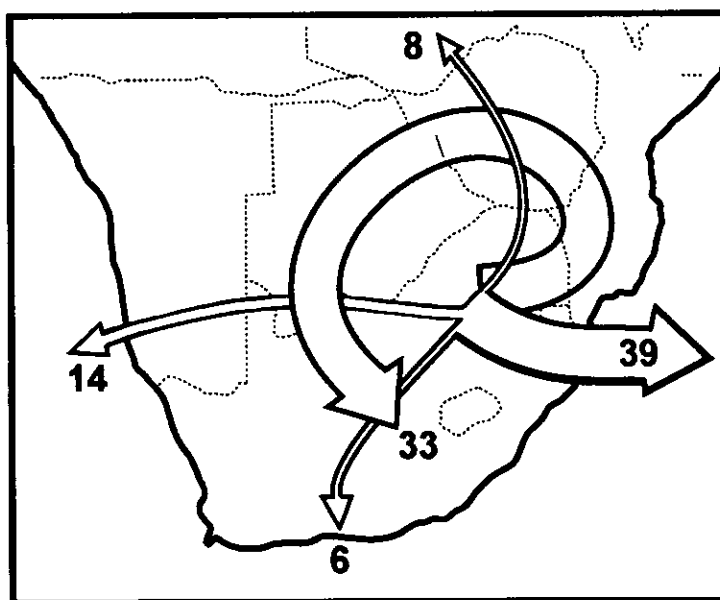


Figura 3: Transporte das massas de ar a partir da região de Highveld (Freiman e Piketh, 2002).

Uma vez que Highveld é uma área altamente industrializada, pode-se supor que uma grande quantidade de aerossóis antropogénicos e naturais, são transportados em direcção à costa Este da África do Austral (Queface, 2002).

Então, baseada nesta e outras hipóteses é que se fizeram estudos das propriedades ópticas dos aerossóis para a possível determinação da concentração de carbono elementar sobre a costa Este da África Austral, concretamente em Maputo Cidade.

2.3. Os padrões da qualidade do ar, a poluição e a saúde

Os efeitos adversos da poluição atmosférica na saúde humana são muito antigos, havendo registros em estudos arqueológicos desde a época medieval (Murray, 1998).

A partir da industrialização dos grandes centros urbanos, vários episódios de altas concentrações de poluentes emitidos pelas indústrias, associados à condições meteorológicas desfavoráveis, mostraram na prática os feitos de Dezembro de 1952, em Londres, Inglaterra, onde altas concentrações de dióxido de enxofre e partículas inaláveis causaram 4.000 mortes a mais do que normal no período (Schwartz, 1995). Episódios na Bélgica, Vale de Mense, 1930, em Nova York, 1953, entre outros, foram registrados (Murray et al., 1998).

É nítida a associação entre a poluição e mortalidade nos episódios citados. Mesmo com concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar, o efeito de poluição na saúde humana é mostrado estatisticamente a partir de verificação de correlação entre variação de concentração de poluentes e admissão em prontos socorros e aumento de mortalidade, em estudos nos Estados Unidos, China, Santiago do Chile (Murray e Zmirou, 1998).

Estudos realizados na Faculdade de Medicina da USP (Universidade de São Paulo, Brasil) mostraram um aumento de 23% do número de admissões de crianças menores de 13 anos em prontos socorros em São Paulo, nos dias em que as concentrações do particulado inalável (partículas menores que 10 μm - PM_{10}) chegaram a 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Verificou-se ainda um aumento de 13% na mortalidade de idosos com concentrações de PM_{10} da ordem de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Saldiva et al., 1995).

Estudos toxicológicos de efeitos directos dos poluentes na saúde de ratos e rãs são realizados em laboratório, verificando-se uma alteração do comportamento, processos de inflamações e infecções das vias respiratórias destes animais (Macchione, 1999; Saldiva, 1995).

Alguns efeitos toxilógicos de gases poluentes e particulado inalável são bem conhecidos na literatura (Seinfeld, 1998; EPA, 1999; Murray, 1998).

Por meio da respiração, os poluentes atingem as vias pulmonares, promovendo diferentes processos de inflamação que debilitam o sistema respiratório (figura 5).

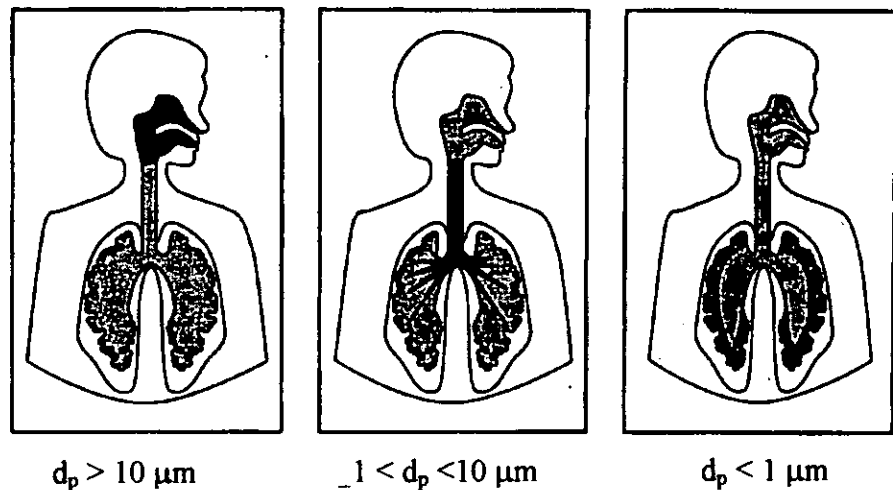


Figura 4: Inalação de aerossóis de diferentes tamanhos. Partes em preto representando a presença de gases e particulado inalável depositado no sistema respiratório humano, de acordo com o tamanho das partículas (d_p é o diâmetro das partículas). (Fonte: Revista do meio ambiente industrial, ano IV, Ed. 23, número 22, Janeiro/Fevereiro de 2000).

Os efeitos adversos da poluição na saúde são mais notados em crianças, idosas e em pessoas que sofrem de doenças respiratórias e cardiovasculares. Nestas pessoas, os poluentes levam a um agravamento “do quadro da saúde”, promovendo infecções mais graves como bronquites, pneumonias, asma, câncer, também podendo antecipar a morte (Zmirou e Seinfeld, 1998; EPA, 1999).

Com relação ao particulado inalável, hoje em dia se controla basicamente o particulado total em suspensão (TSP) na atmosfera, mas não se controla a *fumaça*⁵ e o particulado inalável. Diversos estudos relacionando efeitos da poluição na saúde mostram que a exposição ao particulado fino ($< 2.5 \mu\text{m}$) pode causar mortes prematuras e problemas respiratórios, pois correspondem à fração que atinge as vias respiratórias inferiores (nível alveolar), e nestas não há mecanismos eficientes de expulsão destes gases poluentes.

⁵ Fumaça é o parâmetro definido para caracterizar o teor de fuligem na atmosfera, medida pelo grau de absorção de luz do particulado em suspensão.

Por outro lado, o particulado grosso tende a se acumular nas vias respiratórias superiores, agravando problemas como a asma, em pessoas com deficiências respiratórias.

Nas vias superiores existem mecanismos naturais de expulsão do particulado cuja eficiência é diferenciado entre pessoas saudáveis e com problemas respiratórias (Macchione, 1999; Saldiva et al., 1995).

As evidências sobre os efeitos danosos do $PM_{2.5}$ à saúde humana levaram a Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos – EPA, a criar um padrão de qualidade do ar específico para esta fracção do particulado inalável (EPA, 1999).

O estudo científico “Estudos Epidemiológicos de Investigação de Aerossóis Inaláveis (Aerosol Research inhalation Epidemiology Study-ARIES)” visa identificar quais são os reais efeitos do carbono orgânico no organismo e quais os principais compostos orgânicos presentes na atmosfera, para que medidas preventivas possam ser tomadas tendo-se em vista que o particulado fino é constituído por 20 a 60% de massa de carbono orgânico e que a sua composição molecular na atmosfera ainda é pouco conhecida e conseqüentemente, seus efeitos na saúde humana também (Bascom, 1996).

Devido aos efeitos prejudiciais dos poluentes do ser humano foram definidos padrões de qualidade do ar. Os padrões de qualidade do ar definem, para cada poluente, o limite máximo de concentração à qual a população pode ficar exposta, de forma a garantir a protecção à saúde e bem estar, baseados em estudos de caracterização dos efeitos.

Os padrões nacionais de qualidade do ar foram definidos no *Regulamento de padrões de emissões e qualidade ambiental* pelo MICOA – Ministério para Coordenação Ambiental (MICOA, 2004). Foram estabelecidos nacional e internacionalmente dois padrões de qualidade do ar.

O padrão primário que estabelece o limite máximo tolerável para a saúde da população, e o secundário (que não consta na tabela 2 porque ainda não foi determinado para o nosso país), mais perigoso, que prevê o mínimo de efeito adverso à população, fauna e flora, deteriorização dos materiais e comprometimento à visibilidade.

Nas áreas urbanas aplicam-se somente os padrões primários, os secundários são aplicados em áreas de preservação. A tabela 2, expõe os valores dos padrões nacionais e da EPA que são o particulado total em suspensão, particulado inalável, particulado fino e gases: dióxido de enxofre, dióxido de nitrogénio, monóxido de carbono e ozono.

Verifica-se uma equivalência entre os padrões nacionais e os da agência americana (EPA), excepto no que concerne ao controle do particulado fino, em que não há padrão nacional.

Existe hoje uma grande discussão em torno dos valores estabelecidos como padrões de qualidade do ar. Durante os últimos anos, inúmeros estudos sobre a caracterização da poluição atmosférica em centros urbanos e os seus efeitos na saúde vêm se desenvolvendo e mostrando de forma cada vez mais clara, quais são suas causas e os seus efeitos na saúde humana, para além do impacto ambiental na fauna e flora.

As substâncias usualmente consideradas poluentes da atmosfera e suas principais origens são apresentadas na Tabela 1, que se segue:

Tabela 1: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera (Fonte: Revista meio ambiente industrial, ano IV, Ed. 23, número 22, Janeiro/Fevereiro de 2000).

POLUENTE	CARACTERÍSTICA	FONTES PRINCIPAIS	EFEITOS GERAIS SOBRE A SAÚDE
Partículas totais suspensas (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar na forma de poeiras, neblina, aerossol, fumaça ou fuligem. Tamanho <10 micro.	Processos industriais e automóveis, poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa	Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito sobre a saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonares, asma e bronquite.
Partículas inaláveis (MP10)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina. Aerossol, fumaça ou fuligem. Tamanho <10 micro.	Processos de combustão (indústrias e automóveis), aerossol secundário (formação na atmosfera).	Aumento de atendimento hospitalar e mortes prematuras.
Dióxido de enxofre (SO ₂), etc.	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palito, de fósforos, pode ser transformado em SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustíveis, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crónicas de coração e pulmões são mais sensíveis ao SO ₂ .

Questiona-se a possibilidade de pessoas saudáveis, que vivem em ambiente urbano poluído, isto é, expostas, a longo prazo, a concentrações de poluentes acima dos estabelecidos pelos padrões de qualidade do ar, apresentam um aumento de sensibilidade tornando-se um grupo mais susceptível a doenças respiratórias.

Tabela 2: Dados padrões de qualidade do ar nacional e da EPA, para alguns dos principais centros urbanos. Fonte (MICOA, Junho 2004; EPA, 1999)

<i>Poluente</i>	<i>Tempo de Exposição</i>	<i>Padrão Nacional Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Padrão EPA Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Métodos de Medição</i>
Partículas totais em suspensão	24 horas	200	-	Amostrador de grandes volumes
	MAA	80	-	
Partículas inaláveis PM_{10}	24 horas	150	150	Separação inercial/filtro
	MAA	50	50	
Partículas inaláveis $\text{PM}_{2.5}$	24 horas	-	65	Separação inercial/filtro
	MAA	-	15	
Fumaça	24 horas	150	-	Reflectância
	MAA	60	-	
Dióxido de Enxofre	24 horas	300 (115 ppb)	365 (140ppb)	Pararosanilina
	MAA	80 (30ppb)	80 (30ppb)	
Dióxido de Nitrogénio	1 hora	400	-	Quimioluminiscência
	MAA	100 (53ppb)	100 (53ppb)	
Monóxido de carbono	1 hora	40.000 (35ppm)	40.000 (35ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas	10.000 (9ppm)	10.000 (9ppm)	
Ozono	1 hora	160 (120ppb)	235 (120ppb)	Quimioluminiscência
	8 horas	-	157 (80ppb)	

Onde os valores médios de 24, 8 e 1 horas não podem ser exercidos mais de uma vez em um ano.

MAA— corresponde a média aritmética anual;

Existem alguns estudos a este respeito, porém há muito que se entender no que diz respeito aos efeitos dos poluentes na saúde (McMurry, 2002).

2.4. Impacto de carbono elementar sobre o clima

O carbono elementar (EC), como uma microfuligem, interfere na absorção da radiação do Sol na atmosfera, agregando calor a ela e interferindo no clima. Chega a aumentar em 1° C a temperatura da região em que se concentra (Evangelista et al., 2001).

Pesquisas apontam que o carbono elementar actua como “forçante” climático. Sua concentração na atmosfera é responsável, de facto, por parte do aquecimento global.

Efectuar medidas dessa estrutura química na atmosfera, tem importância, porque é indicadora da actividade humana tanto pelas queimadas quanto pela poluição urbana. Ao mesmo tempo, o composto tem implicação no balanço radiativo global, interferindo no clima (Evangelista et al., 2001; Chung, 2002).

2.4.1. Balanço radiativo

Numa atmosfera sem carbono elementar, a radiação ultravioleta vinda dos raios solares sofre dois efeitos: é reflectida no topo da atmosfera e volta para o espaço ou entra por ela, passando a interagir com a superfície. Essa radiação que atinge a superfície da Terra em parte retorna para a atmosfera e a outra é transformada em calor já na própria superfície. Retornando para a atmosfera, ela é responsável por seu aquecimento. Se o carbono elementar está presente, ele tem grande capacidade de absorver a radiação que volta para a atmosfera, que é na região do infravermelho térmico.

O carbono elementar adiciona calor à atmosfera, aumentando o aquecimento atmosférico (Evangelista et al., 2001; Ackerman, 1981 e Andrea, 1983).

Estudos de monitoramento de carbono elementar e de outros parâmetros meteorológicos, como a passagem de frentes, a velocidade do vento, a cobertura de nuvens, que são reguladores de carbono elementar na atmosfera, têm sido realizados em diferentes partes do mundo. As pesquisas actuais apresentam estimativas da emissão global de carbono elementar e do quanto ele interfere no aumento da temperatura global.

2.4.2. Padrão de vento

Quando se aquece uma região, há uma alteração da pressão, atraindo mais massa para ele. O ar aquecido tende a subir, e, fazendo isso, ele atrai outra massa de ar para ocupar aquele espaço. Na atmosfera, isso ocorre numa escala grande, com várias implicações climáticas, de acordo com a figura 6:

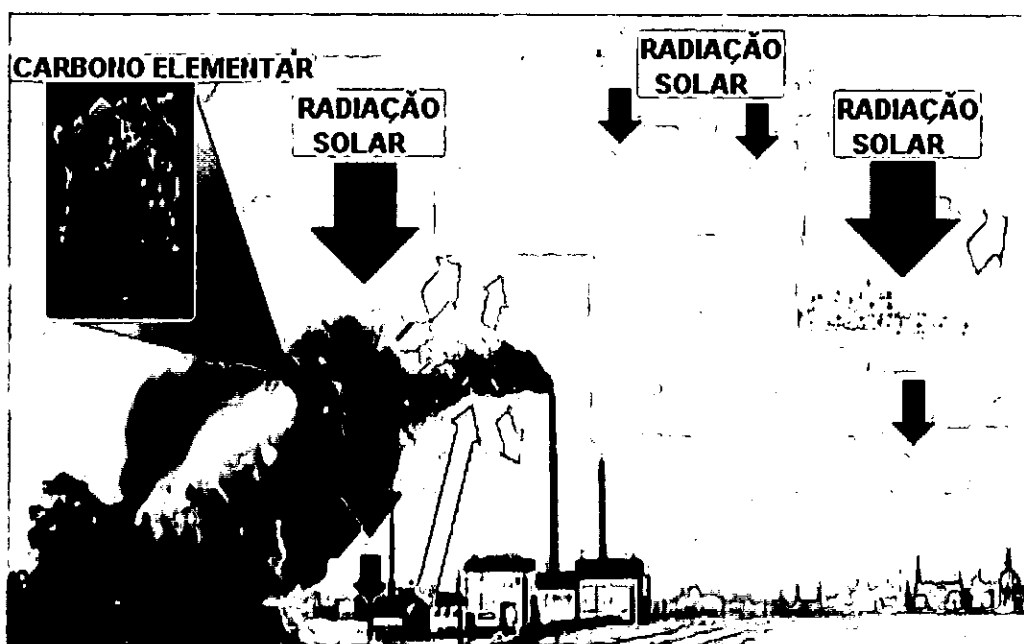


Figura 5: Esquema de produção, por meio da queima, do carbono elementar e o seu impacto ambiental (Fonte: Evangelista, 2001).

2.4.3. Carbono elementar a favor do meio ambiente

No Verão de 2003, mais de 14 mil pessoas morreram com o calor intenso na França, que ultrapassou os 40°C, algo atípico para a região que apresenta, nessa época do ano, uma temperatura média de 15°C a 25°C. Diminuir os índices de concentração no ar de gases como o carbono elementar (EC), gás carbónico (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e ozono (O₃), responsáveis pelo efeito estufa, é a única forma de evitar bruscas mudanças climáticas globais no futuro, com efeitos ainda imprevisíveis. As medidas necessárias ao retrocesso desse quadro são o controle ou redução da queima de combustíveis fósseis (como o petróleo), a conservação das florestas e, sobretudo, o reflorestamento de áreas desmatadas (Evangelista et al., 2001; Ackerman, 1981).

2.4.3.1. Fenómeno de efeito estufa

O efeito estufa baseia-se no facto da “*transformação*” de comprimento de onda: a atmosfera e o globo recebem radiação de pequenos comprimentos de onda (para os quais a atmosfera é praticamente “*transparente*”) e “transformam-na” em radiação de grandes comprimentos de onda (para os quais a atmosfera é praticamente “*opaca*”).

A radiação que a superfície da terra recebe do Sol e uma quantidade equivalente que ela devolve sob a forma de radiação infravermelha, os gases atmosféricos estão em equilíbrio; a superfície da terra absorve a radiação solar de diferentes comprimentos de onda, medidos em nanómetros (nm), e emite radiação infravermelha, medida em micrómetros (µm).

O efeito de carbono elementar, pode ser oposto ao efeito de estufa (aquecimento da atmosfera), isto é, refrescando em vez de aquecer a atmosfera. Sendo assim, é de notar que o aquecimento por efeito estufa pode-se encontrar em qualquer lugar, mas o efeito por resfriamento da atmosfera é dependente da região, e de zonas com ventos baixos próximas de áreas industrializadas (Nasa facts, 1996 e Parungo, 1994).

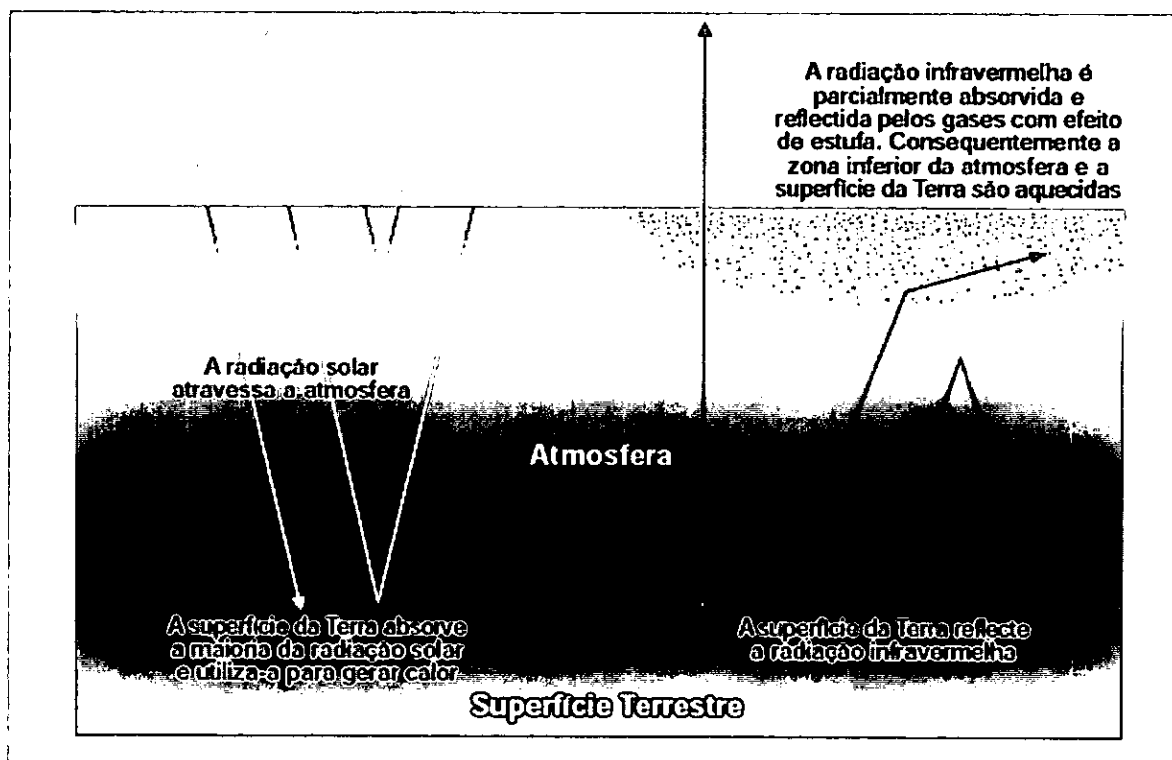


Figura 6: Esquema elucidativo do Efeito de Estufa(Adaptado de "The Environment in Switzerland", SFSO/SAEL, 1997).

2.5. Fontes de poluição na atmosfera

As fontes de emissão de poluentes podem ser as mais variadas possíveis (ver anexos). A emissão de gases tóxicos por veículos automotores é a maior fonte de poluição atmosférica.

Nas cidades, esses veículos são responsáveis por 40% da poluição do ar, porque emitem gases como o carbono elementar, o monóxido e o dióxido de carbono, o óxido de nitrogénio, o dióxido de enxofre, derivados de hidrocarbonetos e chumbo. As refinarias de petróleo, indústrias químicas e siderúrgicas, fábricas de papel e cimento emitem enxofre, chumbo e outros metais pesados, e diversos resíduos sólidos.

(www.medioambiente.fegamp.es/sectores/Airel/EfectInvernTODog.htm).

A identificação de uma fonte de poluição atmosférica, depende, antes de mais nada, dos padrões adoptados para definir os agentes poluidores e seus efeitos sobre homens, animais, vegetais ou outros materiais, assim como dos critérios para medir os poluentes e seus efeitos.

2.5.1 Classificação das fontes de poluição na atmosfera

1. Fontes antropogénicas

a) *Sulfatos* – Emissão de dióxido de enxofre, proveniente de: Combustões domésticas, usinas termoeléctricas, refinarias de petróleo, olarias, usinas de aço e ferro.

b) *Carbono elementar* – Pequenas partículas, proveniente de: emissões de veículos, combustões domésticas, usinas de gás, geração de electricidade, fábricas de cimento, refinarias de petróleo, fornos de cal, fábricas de cerâmica, fundições, estufas e carvão.

c) *Orgânicos* – Emissão de hidrocarbonetos, proveniente de: veículos, refinarias de petróleo, etc.

d) *Nitratos* – Emissão de Óxido de Nitrogénio, provenientes de: veículos, fábricas de ácido nítrico, usinas termoeléctricas, usinas de ferro e aço, fábricas de fertilizantes.

e) *Poeiras* – Emissão de pequenas partículas, proveniente de: veículos de corrida nos desertos, pedreiras, demolidoras, construção e demolição de edifícios.

2. Fontes Naturais

a) O solo que nos fornece as poeiras de terra, oriundas de locais desabrigados de vegetação, como estradas, desertos, etc.

b) A vegetação constituída de resíduos vegetais, levantados pelos ventos, ou por pólen.

c) Dos oceanos são desprendidas gotículas de água carregadas ou não de sais que não disseminadas pelos ventos. O sal assim carregado constitui mais uma parcela de pequenas partículas na atmosfera.

d) Vulcões e fontes naturais de líquidos, gases e vapores, que podem inundar uma região.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

Neste capítulo, fala-se dos materiais e a descrição dos métodos aqui utilizados tanto para a determinação da concentração de $PM_{2.5}$ como a medição da concentração de carbono elementar, a construção e a calibração do densitómetro manual de fabrico local.

3.1. Localização e descrição dos locais de observação

O local escolhido para a realização deste trabalho foi a cidade de Maputo (latitude $25^{\circ} 56'$; longitude $32^{\circ} 35'$ Este; altitude 72 m), mais precisamente em quatro (4) diferentes pontos, nomeadamente: Bairro Luís Cabral e Bairro Central, pelo facto de estarem próximos de zonas com grande movimentação de pessoas e viaturas ou de prováveis fontes de poluição; Hulene (lixeira), devido à poluição proveniente da queima da biomassa e de resíduos oriundos de diferentes fontes de lixo da cidade e sobre o Campus universitário, pois encontra-se longe das prováveis fontes de poluição, onde se espera índices muito baixos de quantidade de aerossóis.

3.2. Material e métodos

Para a realização deste trabalho, usou-se um amostrador Portátil de ar-MiniVol automático, que mede o fluxo de ar, volume total do ar amostrado e o tempo de exposição da amostra, num período corrente de até 30 dias.

A recolha dos dados foi feita diariamente nas horas normais e de pico. E o intervalo de tempo para as leituras foi de 24 horas em todos locais anteriormente mencionados no subcapítulo 3.1.

O instrumento não deve ser usado em dias de chuva devido ao facto de poder ser danificado por ter chupado água.

3.2.1. Material

3.2.1.1. Descrição do amostrador portátil de ar – MiniVol

O amostrador portátil de ar — *MiniVol* é basicamente uma bomba da vácuo, controlada por um contador programável que pode ser posto para “correr” seis vezes dentro de 24 horas ou durante uma semana. Quando usado ao ar livre, este pode ser pendurado em agrupamentos montados numa variedade de estruturas como vigas, postes, árvores, etc., figura 8.

MiniVol faz a amostragem da matéria particulada (PM10, PM2.5, TSP) e/ou dos gases não reactivos gás (CO, NOx). Quanto ao peso e portabilidade, o *MiniVol* é ideal para áreas muito remotas (distantes) ou locais já estabelecidas como não permanente. O volume actual da taxa de fluxo deve ser de 5 litros por minutos (5 lpm) nas condições ambientais ($T_{std}=24^{\circ}\text{C}$ e $P_{std}=764$ mmHg). Para certificar uma constante de taxa de fluxo de 5 lpm através do separador de tamanhos nas diferentes temperaturas ambientais e pressões atmosféricas, o amostrador deve ser ajustado para cada projecto de amostragem.

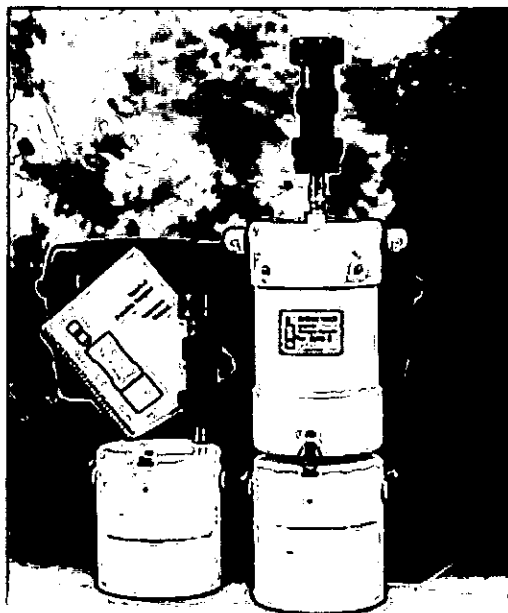


Figura 7. a: O Kit completo do amostrador portátil de ar — MiniVol.

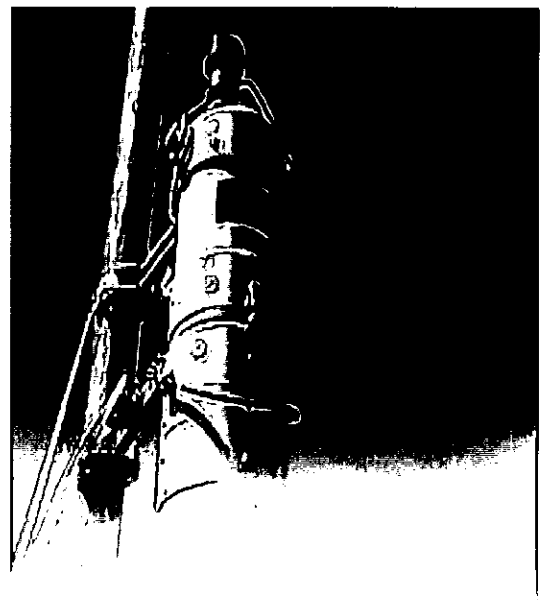


Fig.7.b: O sistema de montagem do MiniVol.

3.2.1.2. Modo de amostragem de material particulado

No modo de amostragem de material particulado (PM), o ar é chupado através dum separador de tamanho de partículas e em seguida através dum filtro médio. A separação do tamanho de partículas é realizada por impactação (processo de deixar passar partículas de um certo tamanho).

Impactadores estão dispostos com um ponto-corte de 10 microns (PM_{10}) e um ponto-corte de 2.5 microns. Operar o amostrador sem um impactador permite a colecção de total de material particulado em suspensão (TSP). O cronómetro programável automaticamente desligará a bomba no fim do período de amostragem.

3.2.1.3. Procedimentos de amostragem de $PM_{2.5}$

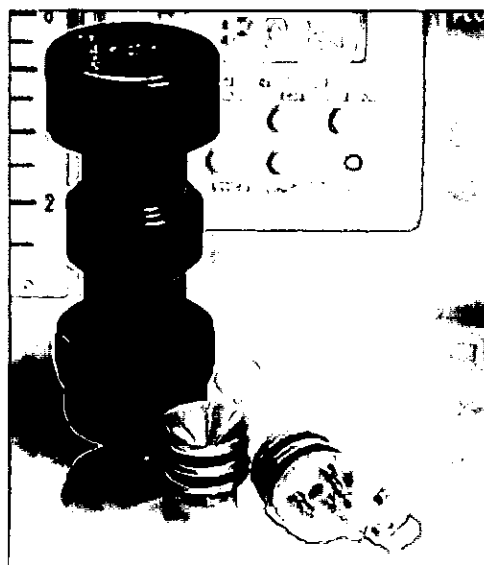


Figura 8.a: A impactação usada amostragem de $PM_{2.5}$.

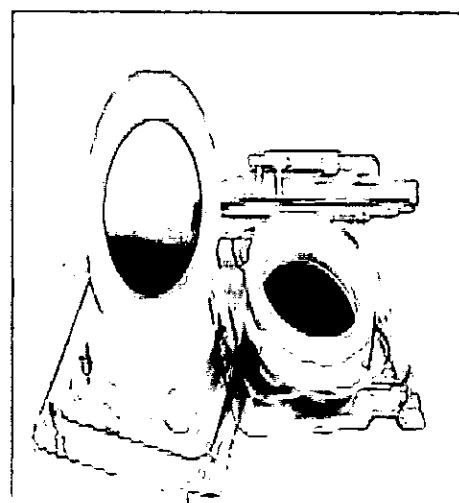


Fig. 8.b: Os filtros puros de Quartzo de 47 para mm, usados no processo de amostragem do material particulado de carbono elementar.

Para a amostragem do particulado, o MiniVol usa filtros de 47mm de diâmetro para coleccionar material particulado. Os Filtros devem ser pesados antes e depois da exposição, com uma microbalança de precisão de um micrograma (1 µg).

Existem vários tipos diferentes de filtros:

- Filtro de Filme de fibra — Teflon-coberto de vidro, ideal para análise gravimétrica;
- Filtro puro de Quartzo — Recomendado para uma análise química baseada nas combinações com carbono para uma posterior análise de gravimétrica.
- Filtro puro de Teflon — Recomendado para uma análise química baseada nas combinações sem carbono para uma posterior análise gravimétrica.

3.2.2. Método gravimétrico

Gravimetria é o método utilizado para se determinar a massa do material particulado colectado nos filtros. O princípio é muito simples: a massa do filtro é medida antes e depois da amostragem, a diferença entre elas é devida ao material particulado depositado. Conhecendo-se a massa e sabendo-se o volume do ar amostrado registrado no totalizador, pode-se determinar a concentração do particulado colectado na fracções finas e grossas correspondente a cada filtro.

A análise gravimétrica possui um princípio simples requer certos procedimentos para garantir a qualidade da medida. A primeira etapa consiste na escolha de um lote de filtros de policarbonatos que atenda à necessidade de toda amostragem. A massa é obtida em uma balança micro-analítica electrónica de precisão nominal de 1µg. Antes e após cada pesagem as películas de policarbonatos ficam expostas a fontes radioactivas durante 24 horas para neutralizar as cargas eléctricas presentes em sua superfície, porque estas podem alterar os resultados da pesagem.

Na segunda etapa os filtros são montados em suportes e embalados em papel de alumínio para serem levados ao campo. Tais procedimentos são realizados dentro do laboratório que possui um ambiente controlado adequado com uma temperatura de 20° C e uma humidade relativa de 50%, e o manuseio dos filtros é exclusivamente realizado com pinças dentro de um vidro com fluxo laminar de ar limpo. Os filtros são levados ao campo e amostrados, trazidos de volta ao laboratório e sempre embalados em petri-dishes de plástico.

Da mesma forma que antes, sofrem uma climatização de 24°C, são expostos às fontes radioactivas, e a massa final é medida. As massas são medidas duas vezes por cada filtro. Obtêm-se as médias antes e depois de amostragem. A diferença entre elas fornece a massa do material particulado depositado durante a amostragem. O procedimento descrito é realizado para o filtro de recolha do particulado fino e grosso e obtêm-se a massa do material particulado fino e grosso para cada período de amostragem. Em média, os filtros da firma Nucleopore® possui uma massa de 15mg, antes de serem expostos a amostragem e depois de expostos contêm material particulado cuja massa, em média é de 300µg.

3.3. Processamento de dados

3.3.1. Cálculo da concentração de material particulado (PM_{2.5})

Para se calcular a concentração de PM (neste caso concreto, PM_{2.5}) para uma amostra medida pelo amostrador portátil de ar MiniVol, calcula-se antes o volume de ar que atravessou o filtro nas condições padrões, V_{std} , ou nas condições ambientais, V_{amb} . Isto foi facilmente feito com base em procedimentos:

1. Calcula-se a taxa de fluxo do ar nas condições de padrões, Q_{std} , usando a equação:

$$Q_{std} = (m * Q_{in} + b) * \sqrt{\frac{P_{std} * T_{amb}}{T_{std} * P_{amb}}} \quad (1)$$

m é a rampa ou inclinação da curva de correlação no acto de calibração;
 b é o interceptador ou valor quando a curva de correlação no acto calibração toca a vertical.

P_{std} , e T_{std} são obtidos a partir da folha de calibração.

A rampa, m , e o interceptador, b , do amostrador de calibrações são obtidos através da segunda página da folha de calibração e os valores destas grandezas (m e b) encontram-se no anexo. As unidades de Q_{std} são *litros/minutos*.

2. Calcula-se o volume de ar que atravessou o filtro durante o período de amostragem nas condições de padrão, V_{std} (em metros cúbicos):

$$V_{std} = \frac{Q_{std} * t_{hr} * 60 \text{ min/hr}}{1000 \text{ l/m}^3} \quad (2)$$

Onde: t_{hr} = período de amostragem, em horas.

No uso actual dos amostradores portáteis, as temperaturas, pressões e as leituras de fluxómetro só são notáveis no começo (quando o amostrador está posto para correr) e no fim (quando o amostrador está recoberto) do período amostragem. Então, calcula-se Q_{std} para as condições do começo e do término e usa-se a média de Q_{std} para determinar V_{std} .

3. Para se calcular a concentração nas condições ambientais, corrige-se o volume do ar nas condições padrões, V_{std} , para o volume do ar nas condições ambientais:

$$V_{amb} = V_{std} * \left(\frac{P_{std}}{P_{amb}} \right) \left(\frac{T_{amb}}{T_{std}} \right) \quad (3)$$

4. Finalmente calcula-se a concentração de $PM_{2.5}$, dividindo a massa líquida ganha do filtro pelo volume do ar que atravessou o filtro:

$$[PM_{2.5}]_{amb} = \frac{M_{PM_{2.5}}}{V_{amb}} \quad (4)$$

Onde : $[PM_{2.5}]_{amb}$ = concentração da $PM_{2.5}$, em $\mu g/m^3$ (ambiente)

$M_{PM_{2.5}}$ = Massa da matéria particulada colectada no filtro, em $\mu gramas$.

3.3.2. Medição da concentração de carbono elementar

3.3.2.1. Construção e descrição do densitómetro manual de fabrico local

O densitómetro manual de fabrico local é um aparelho usado para medir a densidade de carbono elementar com base na determinação da atenuação de manchas em filtros. Esta técnica consiste em fazer passar um feixe de luz, proveniente de uma fonte (lâmpada de 6V) através de uma fenda de 1 mm de diâmetro, da qual se coloca o filtro a medir que é atravessado pelo feixe. Este feixe é detectado por um fotodiodo *Si PIN S1722-02* sensível à luz, com um diâmetro activo de cerca de 4.1 mm. O detector tem uma sensibilidade até 100V e pode operar até uma temperatura de 60°C.

O densitómetro é um aparelho equipado para operar com fontes de potência DC (corrente contínua). Ele tem em si, duas baterias de 9V ligadas em série entre si e com um amplificador operacional (LM 741) e ainda em série com a lâmpada e o interruptor (Vide a figura 9):

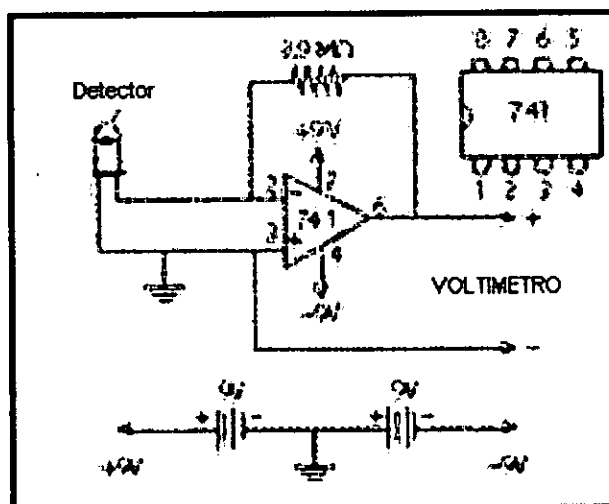


Figura 9: Esquema ilustrativo do circuito usado para a montagem do densitómetro manual de fabrico local.

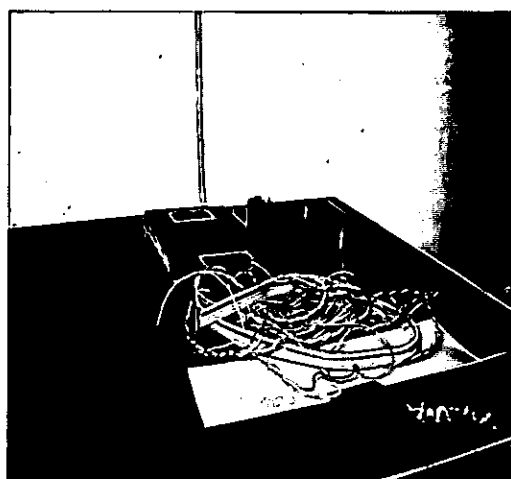
O triângulo marcado por “741” é um amplificador operacional. Na operação, a luz proveniente da lâmpada gera, no detector, uma corrente eléctrica. Esta corrente vai para o amplificador onde a corrente do detector é transformada para voltagem e amplificada pela quantidade de reacção da resistência em Ohms entre a entrada (pino 2) e a saída (pino 6) do amplificador. Só se a reacção da resistência do resistor tem uma resistência de $3.9M\Omega$. A Voltagem do amplificador é medida com uso de voltímetro ou multímetro digital.

3.3.2.1.1. Componentes usados

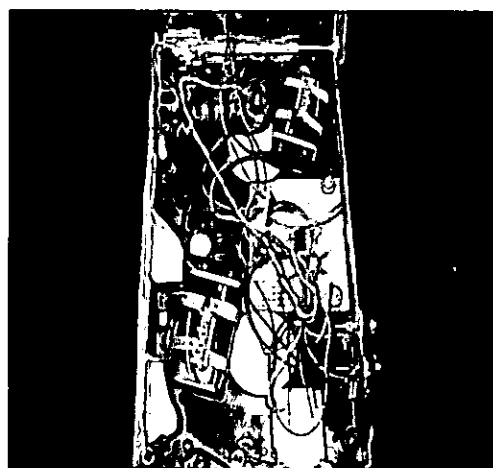
A montagem do densitómetro manual de fabrico local foi realizada usando as seguintes componentes:

- 2 cassetes de vídeo;
- 1 amplificador operacional LM 741;
- 1 placa simples para as ligação do circuito;
- 1 interruptor;
- 1 lâmpada de 6V;
- 1 detector ou fotodiodo do tipo *Si PIN SI722-02*;
- 2 baterias de 9V;

- 1 resistência de $3.9M\Omega$;
- 2 terminais ou pólos para a saída do sinal;
- 1 cartolina;
- Cola;
- 100 parafusos com respectivas porcas;
- 1 mola do tipo solenoidal;
- Fios de ligação.



a) Uma parte dos materiais para a construção



b) Depois de feita a ligação das componentes

Figura 10: Processo de construção, desde a) a preparação dos materiais, até b) a ligação das componentes para formar um circuito.

3.3.2.1.2. Testagem do densímetro

O processo de ligar ou desligar o densitómetro é feito com base no interruptor. Prime-se o botão do interruptor para ligar a lâmpada e novamente para desligar. Após ligar-se o interruptor a lâmpada acende e em seguida é necessário verificar se a tensão máxima U de $0.5V$ é observada no multímetro digital. Esta verificação faz-se aproximando o braço que contém o detector até encostar a fenda.

Caso não for verificada é necessário medir a tensão das baterias, pois são as baterias que podem fazer com que a tensão registada diminua ou não (figura 11).

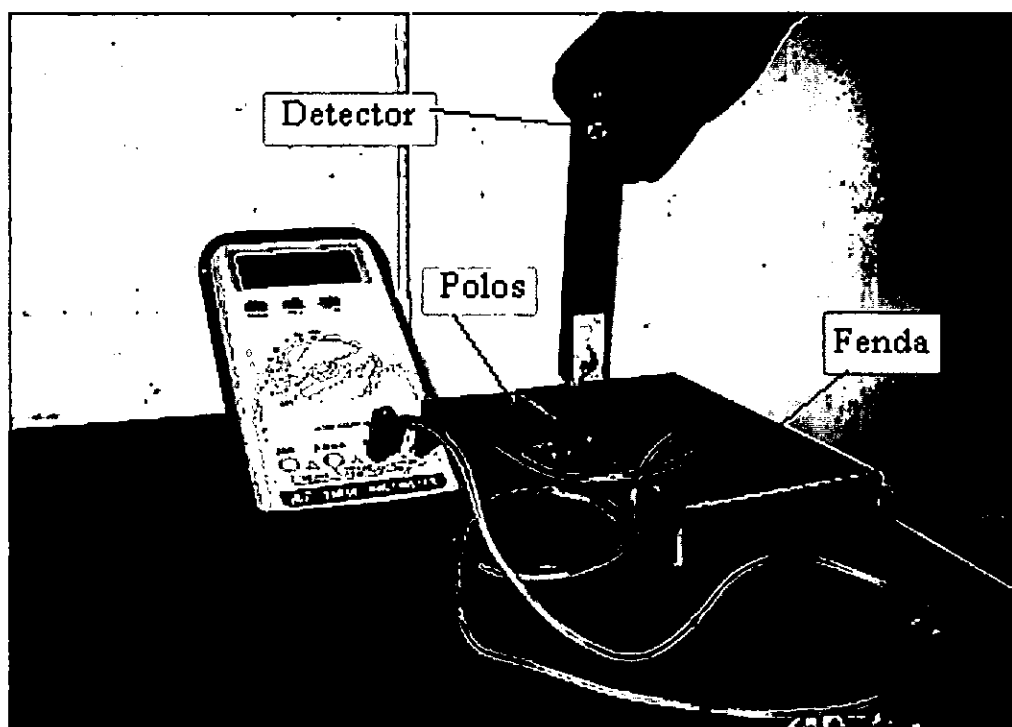


Figura 11: Pormenor da parte interna do densitómetro.

Como mostra a figura 11, no braço do densitómetro temos o detector. Assim aproximando o braço que contém o detector, o multímetro regista uma tensão que significa presença de luz.

3.3.2.1.3. Calibração do densitómetro

A curva de calibração do densitómetro que nos fornece a relação entre as leituras de densidade do densitómetro manual de fabrico local (o densitómetro construído) e as densidades padrões (usam o densitómetro X-Rite 381, existente no nosso laboratório), foi feita medindo as densidades dos filtros de calibração do densitómetro X-Rite 381, um instrumento recomendado para a medição da densidade de carbono elementar na atmosfera (Anexo: tabela 13). A partir desta curva pode-se fazer a correspondência a cada leitura feita pelo aparelho construído.

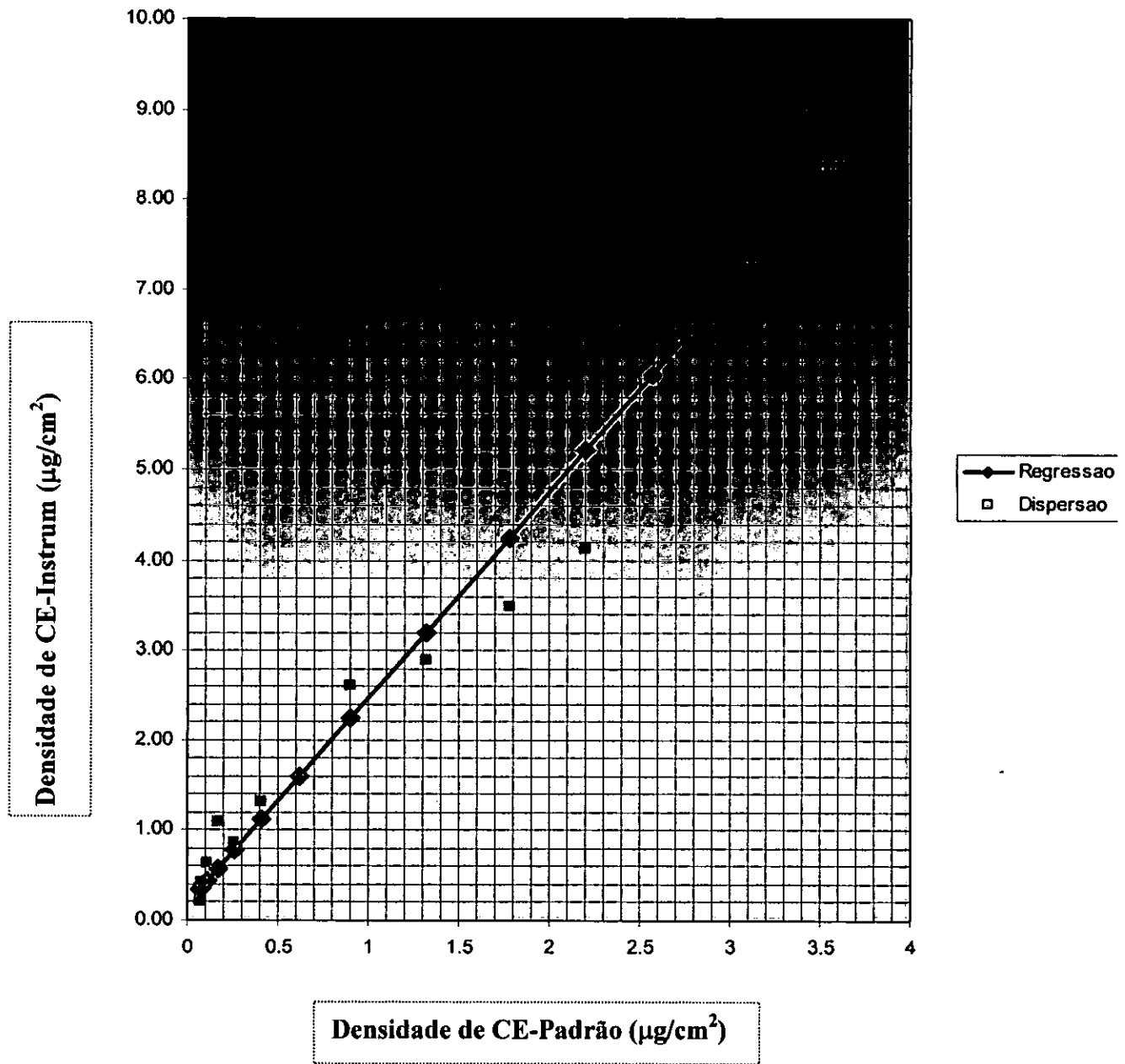


Figura 12: Curva de calibração do instrumento construído. Relação entre a densidade padrão de carbono elementar e a densidade medida pelo instrumento construído.

3.3.2.2. Análise de carbono elementar por atenuação das manchas

A análise da atenuação foi utilizada para medir a densidade de *Carbono elementar* presente nos filtros finos. O carbono elementar é um composto predominantemente presente na fracção fina do aerossol.

A técnica de medida de *carbono elementar* por atenuação das manchas é utilizada, dada a propriedade deste possuir alta secção de choque de absorção de luz na região visível. Para isto foi utilizado um densitómetro manual de fabrico local. O filtro é posto entre uma fonte de luz e uma fotocélula ou detector e a determinação da densidade do material particulado fino, correspondente ao *carbono elementar*, é feita varrendo toda área do filtro pelo feixe de luz e registrando as tensões com base no multímetro, figura 13.

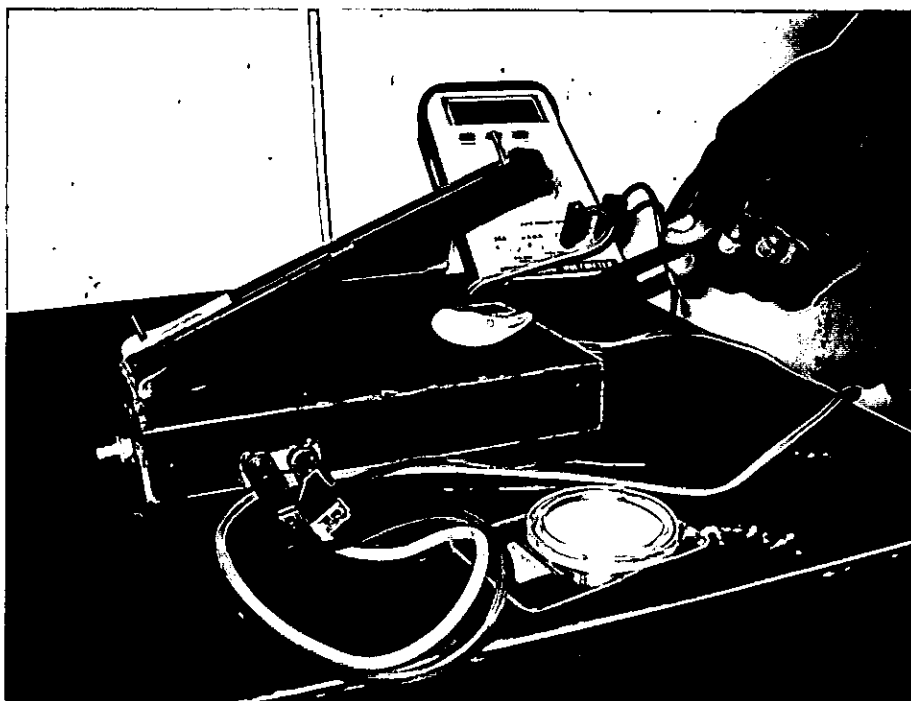


Figura 13: Densitómetro manual, ilustrando o processo de leitura da atenuação da tensão do particulado fino depositado sobre o filtro.

Partículas aerotransportadas aparecerão como uma mancha no filtro de tecido, de cor castanha ou cinzentas. Manchas de cor castanhas são, normalmente causadas por partículas de pó. O pó não afecta a análise de CE. A cinza é causada através de fuligem (partículas suspensas de carbono). Porque carbono é intensamente negro, pode ser descoberto em quantidades pequenas. Então, compara-se a amostra para a balança visual mostrada aqui, figura 14.

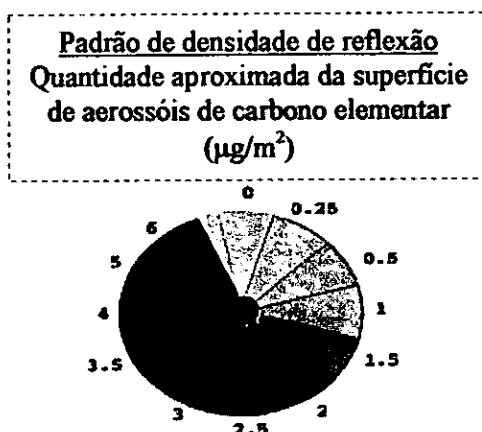


Figura 14: Uma balança visual, demonstrando o uso de uma escala de 'Atenuação'

A atenuação da mancha é determinada pela expressão abaixo:

$$A = 100 \ln \frac{[U]}{[U_0]} \quad (5)$$

Conhecida a atenuação da mancha, a densidade de carbono elementar na mancha, é dada através da expressão:

$$\rho_{EC} = \frac{A}{12} \quad (6)$$

A partir da densidade de carbono elementar, pode-se calcular a massa de carbono elementar, na mancha, pela fórmula:

$$m_{EC} = \rho_{EC} * S_{manchas} \quad (7)$$

E finalmente chega-se a determinação da concentração de carbono elementar, pela expressão:

$$[EC] = \frac{m_{EC}}{V_{amb}} \quad (8)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção, faz-se uma breve apresentação e discussão dos resultados obtidos nos diferentes bairros onde foi feita a medição, e comparam-se os valores medidos aos fins de semana aos do meio de semana, tanto para o $PM_{2.5}$ como para o carbono elementar.

4.1. Concentração do material particulado ($PM_{2.5}$) durante o período de amostragem

É uma grandeza de medida que nos permite avaliar o nível de poluição da nossa atmosfera, em que valores mais elevados que os padrões de qualidade do ar (para o nosso caso concreto, $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração do material particulado $PM_{2.5}$), representam uma atmosfera poluída; e valores mais baixos (inferiores que $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) atmosfera limpa ou não poluída.

Tomando todo o período de medições, a média diária da concentração de $PM_{2.5}$, observada aos 30m de altitude, como ilustra a figura 15, teve um valor médio de $53.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e com um desvio padrão de 3.96.

De acordo com a figura 15, observa-se que a concentração de $PM_{2.5}$ registada no dia 18 de Setembro apresenta um valor elevado $99.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que apesar de ter diminuído até $19.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alguns dias (10 Setembro, 19 de Setembro e 26 de Setembro), estes voltaram a ter uma nova ascensão que atingiu o seu pico de $96.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 22 de Setembro. Portanto, apesar da escala espacial ser menor, verificou-se uma diferença notável da concentração do material particulado $PM_{2.5}$, o que proporciona uma certa concentração de carbono elementar sobre a cidade de Maputo, de acordo com o descrito no subcapítulo 4.2.

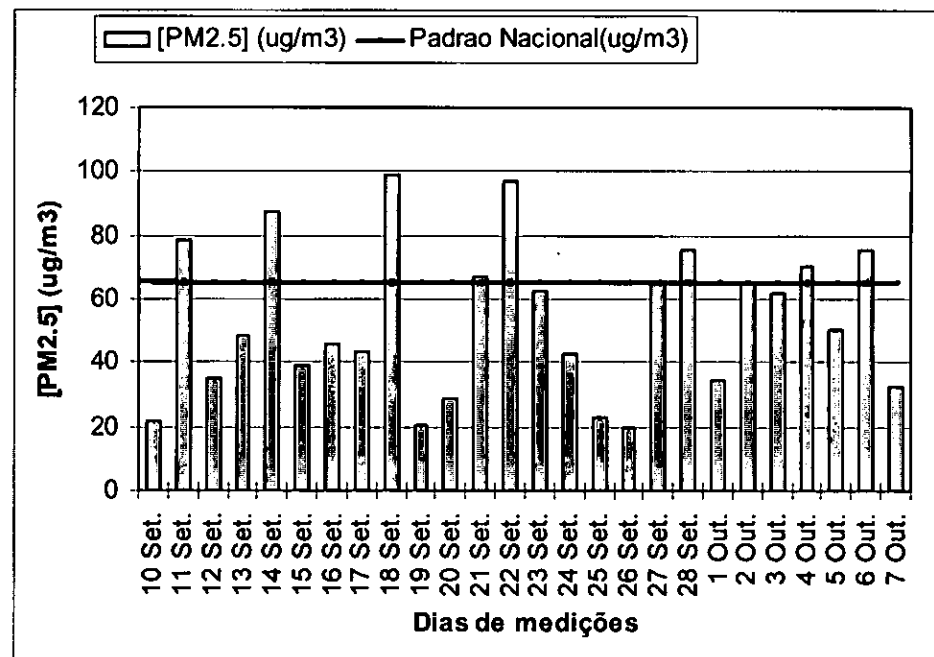


Figura 15: Médias diárias da concentração PM_{2.5} sobre a cidade de Maputo durante o período de 10 de Setembro à 10 de Outubro de 2004.

O risco vermelho da figura 15, representa o padrão nacional de emissão de PM_{2.5} (65µg/m³). Na mesma figura, 9 dias de medições têm uma concentração de PM_{2.5} maior que 65µg/m³, o que corresponde 35% de toda a amostragem (26 dias).

4.1.1. Concentração de PM_{2.5} em diferentes locais de observação

Procurando fazer uma amostragem em diferentes bairros da cidade de Maputo, apresenta-se abaixo, uma tabela que contém valores médios, máximos e mínimos de toda a amostragem e a frequência de ocorrência de [PM_{2.5}] maior que o padrão nacional.

Tabela 3: Valores médios, máximos e mínimos de [PM_{2.5}] e a frequência de ocorrência de [PM_{2.5}] maior que o padrão nacional de toda amostragem.

LOCAL	Toda amostragem			
	Médio	Máximo	Mínimo	Freq. [PM _{2.5}] > P.Nac.
B.L.C.	51.92	99.1	20.5	2
B.C.	55.6	75.53	32.46	2
HU	56.56	96.85	19.83	6
C.U.	41.26	78.82	22.02	1

Os valores médios, máximos e mínimos de $[PM_{2.5}]$, foram observados durante 26 dias de medições; a considerar que em cada bairro, foi feita a medição durante 7 dias e construiu-se o seguinte histograma:

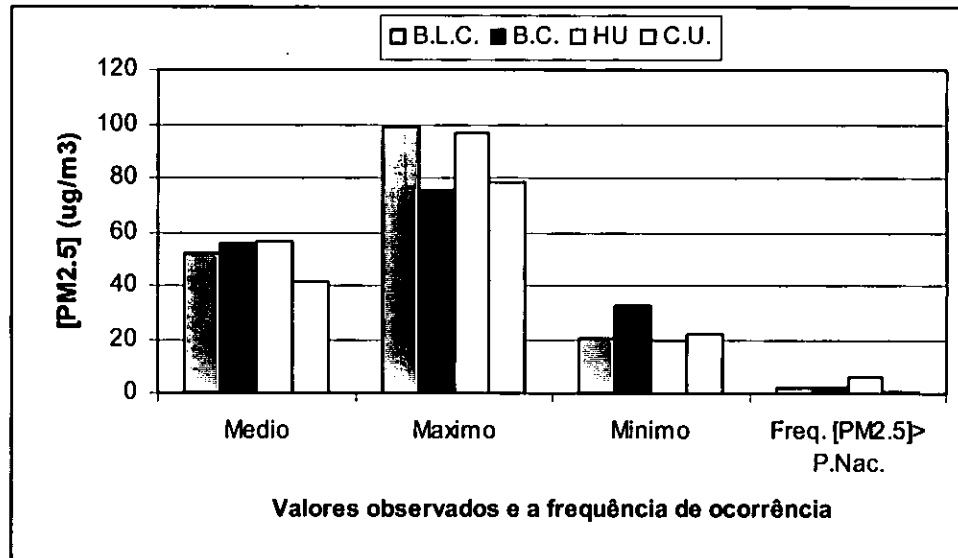


Figura 16: Bairros da cidade ilustrando os valores médios, máximos, mínimos e a frequência de ocorrência da concentração de $PM_{2.5}$ > Padrão Nacional. BC-Bairro Central, BLC-Bairro de Luís Cabral, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.

Os resultados da concentração de $PM_{2.5}$ observados nos diversos locais para os 30m de altitude (fig.16), mostraram que o bairro Luís Cabral apresenta valores mais elevados ($99.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ de máximo e $20.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ de mínimo), enquanto que, no Campus universitário tinha-se valores mais baixos ($78.82\mu\text{g}/\text{m}^3$ de máximo e $19.83\mu\text{g}/\text{m}^3$ de mínimo); os motivos para isto podem ser o facto de o bairro Luís Cabral ter um tráfego automóvel acentuado (EN4) e a proximidade da empresa produtora de cimento (a Cimentos de Moçambique), o que provoca um aumento na quantidade de aerossóis do $PM_{2.5}$ neste local.

Ao contrário disto, no Campus universitário o facto de existirem poucas fontes de aerossóis do $PM_{2.5}$, torna esta zona com o valor mais baixo da concentração.

4.1.2. Análise da concentração do material particulado $PM_{2.5}$ em função da variação do meio e fim de semana.

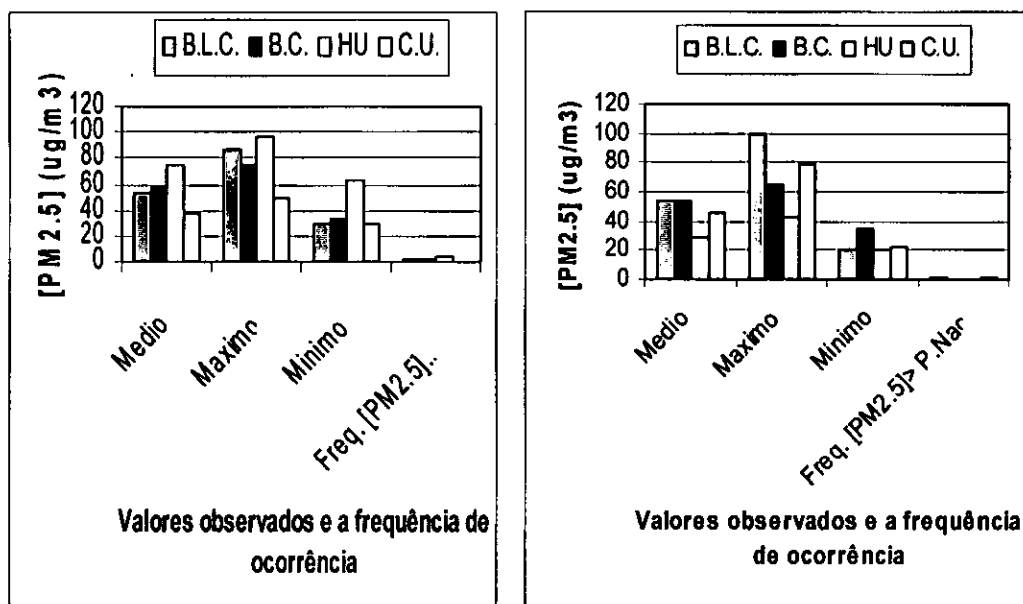
Nesta secção, faz-se uma análise comparativa da $[PM_{2.5}]$, em função do meio e fim de semana.

De acordo com a tabela 4, pode-se observar que o maior número de eventos com $[PM_{2.5}] > 65 \mu g/m^3$, foi observado durante o meio de semana (com maior destaque, no bairro de Hulene, onde foi observada a maior frequência de ocorrência de $[PM_{2.5}] > 65 \mu g/m^3$). Os motivos para isto, podem ser, em geral, o facto de ter um tráfego automóvel acentuado durante o meio de semana.

Tabela 4: Valores médios, máximos e mínimos de $[PM_{2.5}]$ e a frequência de ocorrência de $[PM_{2.5}]$ maior que o padrão nacional, em função dos dias de semana.

LOCAL	MEIO DE SEMANA			
	Médio	Máximo	Mínimo	Freq. $[PM_{2.5}] > P.Nac.$
B.L.C.	53.5	87.22	28.73	2
B.C.	57.02	75.53	32.46	2
HU	74.94	96.85	62.36	3
C.U.	38.27	48.68	28.76	0
FINS DE SEMANA				
B.L.C.	54.24	99.1	20.5	1
B.C.	53.72	64.8	34.42	0
HU	28.63	43.03	19.83	0
C.U.	45.24	78.82	22.02	1

Fazendo uma análise, bairro por bairro, pode-se dizer que o bairro Hulene possui uma lixeira, onde a actividade de depósito e queima de lixo é maior durante o meio de semana do que aos fins de semana. É de referir que, tanto o bairro o Hulene como os bairros Central e Luís Cabral, têm, em comum, um tráfego automóvel acentuado, durante o meio de semana do que aos fins de semana. Todos estes bairros, usam, em comum, carvão vegetal como fonte de energia para confeccionar os alimentos, daí a frequente queima de biomassa. Enquanto que o Campus universitário, não possui nenhuma frequência de ocorrência de $[PM_{2.5}] > \text{Padrão nacional}$, durante o meio de semana.



a) Meio de semana

b) Fins de semana

Figura 17: Médios, máximos, mínimos e a frequência de ocorrência da concentração de PM_{2.5}>Padrão nacional, em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. BC-Bairro Central, BLC-Bairro de Luís Cabral, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.

Nos dias do meio de semana, observa-se um valor mínimo novamente no **Bairro Luís Cabral** ($28.73\mu\text{g}/\text{m}^3$) e um valor máximo no **Bairro Hulene** ($96.85\mu\text{g}/\text{m}^3$), provavelmente por se trata de um período em que a actividade de deposição de muito lixo e a posterior queima e maior tráfego automóvel. De referir que, na figura 17, o bairro Hulene possui o máximo de [PM_{2.5}], durante o meio de semana, quase o dobro dos fins de semana, por motivos acima mencionados.

4.2. Concentração dos aerossóis de carbono elementar-CE durante o período de amostragem.

Tomando todo o período de medições, a média diária da concentração de carbono elementar, observada aos 30 m de altitude, como ilustra a figura 18, teve um valor médio de $2.67\mu\text{g}/\text{m}^3$ e com desvio padrão de 0.26.

De acordo com a figura 18, observa-se que a concentração de carbono elementar registada no dia 21 de Setembro apresenta um valor elevado ($7.69\mu\text{g}/\text{m}^3$), que apesar de ter diminuído até $0.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ em alguns dias (2 de Outubro até 7 de Outubro), estes voltaram a ter uma nova ascensão que atingiu o seu pico ($4.96\mu\text{g}/\text{m}^3$) no dia 28 de Setembro.

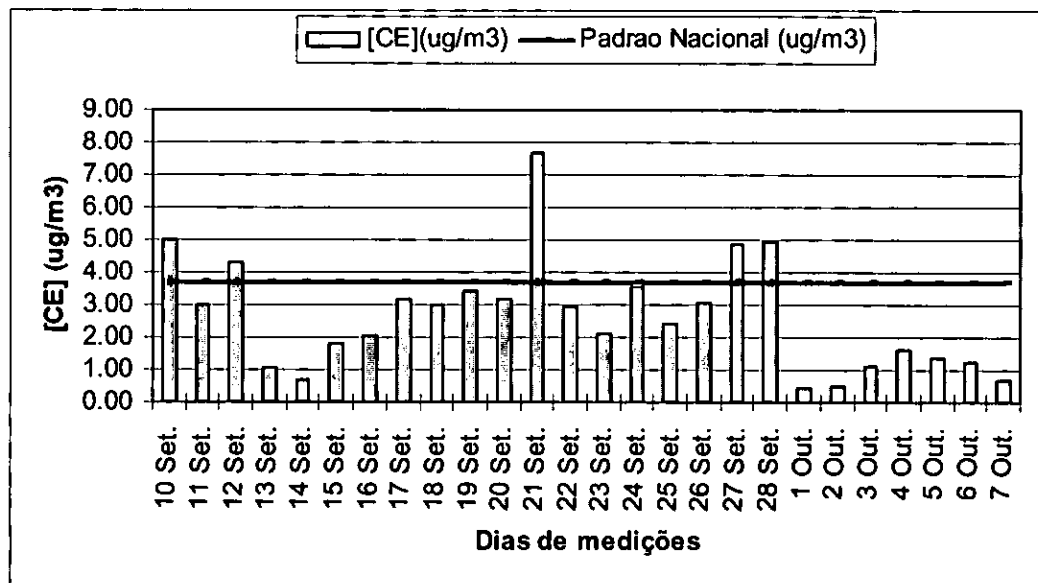


Figura 18: Médias diárias da concentração dos aerossóis de carbono elementar sobre a cidade de Maputo durante o período de 10 de Setembro à 10 de Outubro de 2004.

O risco vermelho da figura 18, representa o padrão nacional de emissão de CE ($3.69\mu\text{g}/\text{m}^3$). Na mesma figura, 5 dias de medições têm uma concentração de CE maior que $3.69\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que corresponde 19% de toda a amostragem (26 dias).

O dia 21 de Setembro, destacou-se com um pico máximo de [CE], em diferença aos outros dias em que se observou $[\text{CE}] > \text{padrão nacional}$. Os motivos para isto, pode ser o facto de ter sido um dia nublado e observado no Hulene, o que provavelmente pode ser associado a maior queima de lixo.

4.2.1. Concentração de aerossóis de carbono elementar em diferentes locais de observação.

Nesta secção, apresentam-se os resultados da concentração de carbono elementar observados nos diferentes bairros da cidade de Maputo. Assim a figura 19, mostra os resultados obtidos.

Os resultados da concentração de carbono elementar observados nos diversos locais para os 30m de altitude (fig.19), mostraram que, a zona do Hulene (lixreira) apresenta valores mais elevados ($7.69\mu\text{g}/\text{m}^3$), enquanto que, no Bairro Central observaram-se valores mais baixos ($1.61\mu\text{g}/\text{m}^3$); os motivos para isto, podem ser o facto de o bairro de Hulene ter um tráfego automóvel acentuado ter-se observado queima de resíduos na lixeira, o que provocou um aumento na quantidade de aerossóis de carbono elementar neste local.

Tabela 5: Valores médios, máximos e mínimos de [CE] e a frequência de ocorrência de [CE] maior que o padrão nacional de toda amostragem.

LOCAL	Toda amostragem			
	Médio	Máximo	Mínimo	Freq. [EC]> P.Nac.
B.L.C.	3.06	3.42	2.71	0
B.C.	1	1.61	0.45	0
HU	3.86	7.69	2.13	3
C.U.	2.56	4.97	0.66	2

Os valores médios, máximos e mínimos de [CE], foram observados durante 26 dias de medições; a considerar que em cada bairro, foi feita a medição durante 7 dias e construiu-se o histograma seguinte:

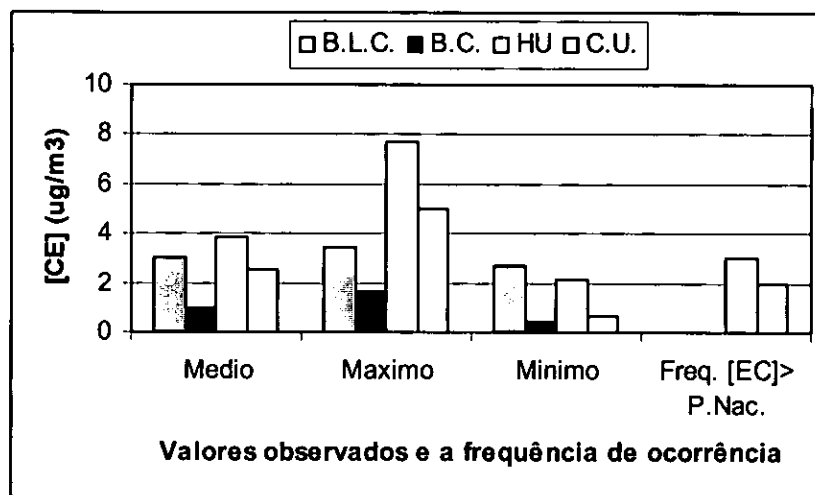


Figura 19: : Bairros da cidade ilustrando os valores médios, máximos, mínimos e a frequência de ocorrência da concentração de CE > Padrão Nacional. BC-Bairro Central, BLC-Bairro de Luís Cabral, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.

Ao contrário disto, no Bairro Central o facto de não se usarem, provavelmente outras fontes de carbono elementar (como a queima de biomassa e outros), torna esta zona com o valor mais baixo da concentração de CE ($0.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ de mínima).

4.2.2. Análise da concentração de aerossóis de carbono elementar em função da variação do meio e fim de semana.

Os resultados obtidos da concentração de carbono elementar, observados durante meios de semana em relação aos fins de semana, mostram uma diferença, de acordo com a figura 20.

De acordo com a tabela 4, pode-se observar que os eventos com $[\text{CE}] > 3.69\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi observado no meio de semana (no bairro de Hulene) e nos fins de semana (Campus universitário). Os motivos para isto, podem ser, em geral, o facto de ter um tráfego automóvel acentuado e maior actividade de depósito e queima de lixo durante o meio de semana e a queima de biomassa durante os fins semana.

Tabela 6: Valores médios, máximos e mínimos de $[\text{CE}]$ e a frequência de ocorrência de $[\text{CE}]$ maior que o padrão nacional, em função dos dias de semana.

LOCAL	MEIO DE SEMANA			
	Médio	Mínimo	Máximo	Freq. $[\text{EC}] > \text{P.Nac.}$
B.L.C	1.76	1.16	3.17	0
B.C.	1.23	0.71	1.61	0
HU	4.52	2.13	7.69	3
C.U.	1.4	0.66	2.09	0
FINS DE SEMANA				
B.L.C	2.21	3	3.42	0
B.C.	0.69	0.45	1.1	0
HU	2.86	2.43	3.56	0
C.U.	4.1	3.01	4.97	2

Fazendo uma análise, bairro por bairro, pode-se dizer que o bairro Hulene possui uma lixeira, onde a actividade de depósito e queima de lixo é maior durante o meio de semana do que aos fins de semana.

É de referir que, tanto o bairro o Hulene como os bairros Central e Luís Cabral, têm, em comum, um tráfego automóvel acentuado, durante o meio de semana do que aos fins de semana. Todos estes bairros, usam, em comum, carvão vegetal como fonte de energia para confeccionar os alimentos, daí a frequente queima de biomassa. Enquanto que o Campus universitário, não possui nenhuma frequência de ocorrência de $[CE] > \text{Padrão nacional}$, durante o meio de semana.

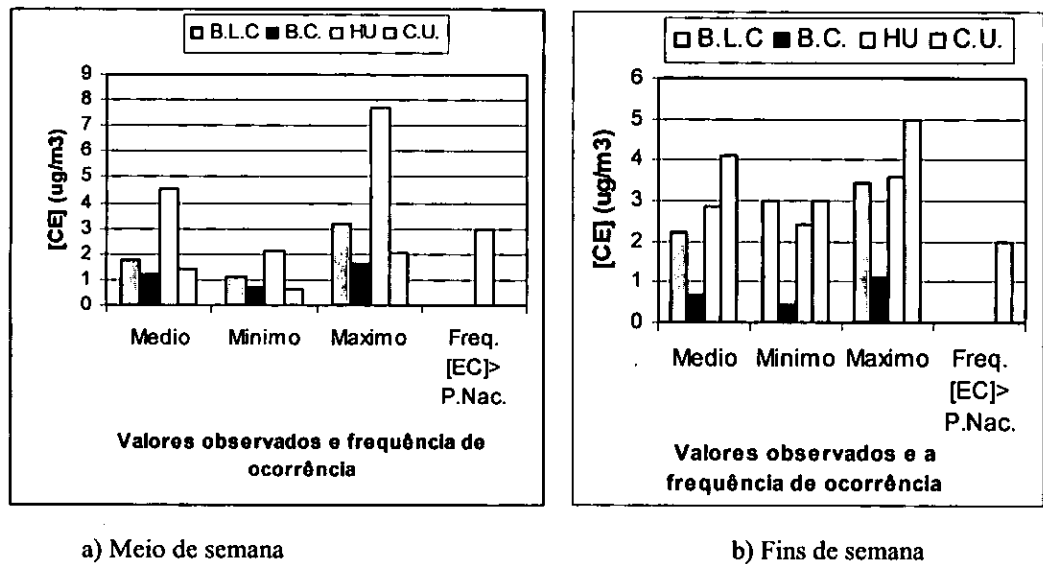


Figura 20: Médios, máximos, mínimos e a frequência de ocorrência $[CE] > \text{padrão nacional}$, em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. BLC-Bairro de Luís Cabral, BC-Bairro Central, CU-Campus Universitário e HU-Hulene.

Nos dias do meio de semana, observa-se um valor mínimo novamente no **Campus universitário** ($0.66\mu\text{g}/\text{m}^3$) e um valor máximo na zona de **Hulene** ($7.69\mu\text{g}/\text{m}^3$), pois, trata-se de um período de muita actividade de deposição de lixo e queima naquele ponto da cidade e acentuado tráfego automóvel.

4.3. Porção de carbono elementar em $PM_{2.5}$ (CE/ $PM_{2.5}$)

A razão das concentrações de CE em $PM_{2.5}$ tem sido usado para estudar a emissão e transformação característica de aerossóis. De referir que, a razão CE/ $PM_{2.5}$, acima de 6.1%, tem sido usado como indicador da presença de aerossóis no material particulado ($PM_{2.5}$), ou ainda, é usada para identificar a formação de partículas primárias, resultantes, em centros urbanos, de emissões pelos veículos a motor e em indústrias, figura 21:

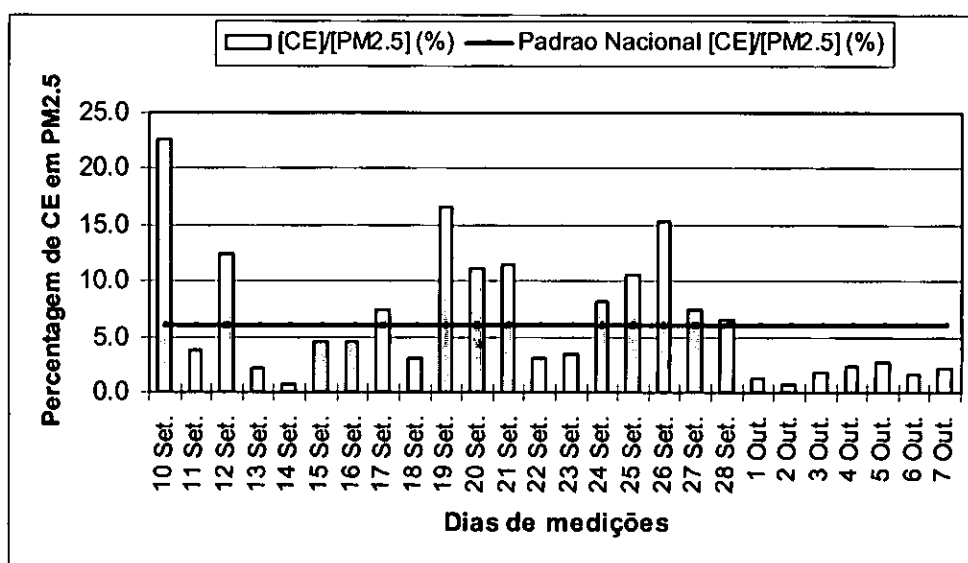


Figura 21: Percentagem de CE em $PM_{2.5}$, representa a porção de carbono elementar (CE) no material particulado sobre a cidade de Maputo durante o período de 10 de Setembro à 10 de Outubro de 2004.

O risco vermelho da figura 21, representa a porção do padrão nacional de emissão de CE no padrão nacional de $PM_{2.5}$. Na mesma figura, 11 dias de medições, tem uma porção de CE em $PM_{2.5}$ maior que 6.1%, o que corresponde 42% de toda a amostragem (26 dias).

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta secção, faz-se a apresentação das considerações finais, as conclusões, recomendações e as possíveis limitações encontradas durante a realização deste trabalho.

5.1. Conclusões

Em uma região urbana de atmosfera complexa, como a cidade de Maputo foi possível por meio de metodologia gravimétrica, de amostragem e de atenuação em manchas obter a identificação e a quantidade das fontes de poluentes.

No período de transição de Verão ao Inverno (Setembro-Outubro) foi observado, de uma forma geral, uma grande variedade das concentrações de particulado $PM_{2.5}$ e gases. As concentrações de carbono elementar variam de 0.45 à $7.69\mu\text{g}/\text{m}^3$, em médias diárias.

O factor meteorológico apresenta-se decisivo na medição das concentrações de poluentes. Foram identificados períodos frequentes em que a região apresentou-se sob a acção de sistemas de alta pressão estacionárias, que dificultavam a dispersão de poluentes, promovendo a acumulação destes de um dia para outro.

A acumulação de poluentes ocasionou elevadas concentrações de carbono elementar que superaram o padrão nacional de qualidade de ar ($3.69\mu\text{g}/\text{m}^3$ em médias de 24 horas) em alguns dias distintos.

Os máximos de concentração de carbono elementar, por cada Bairro, foram observados durante o fim de semana, com excepção do bairro Hulene, o máximo foi observado durante o meio de semana, quando o tráfego automóvel era mais acentuado e nas horas em que a temperatura atingia o seu máximo diurno.

Conhecer a concentração de carbono elementar é relevante pois este possui propriedades de absorção da radiação solar produzindo efeitos significativos nos processos radiativos atmosféricos.

Terminadas as medições da concentração de carbono elementar sobre a cidade de Maputo usando um amostrador portátil de ar MiniVol e o densitómetro manual de fabrico local, no período compreendido entre 10 de Setembro à 10 de Outubro de 2004, com os resultados obtidos chegou-se as seguintes conclusões:

- Segundo os padrões da EPA, uma atmosfera limpa para uma cidade urbana é aquela que apresenta valores de concentração de carbono elementar inferiores 19% de concentração de carbono elementar acima do padrão de emissão de CE, não apresenta uma atmosfera poluída, mas possui uma quantidade considerável de aerossóis de CE.
- No anexo, página a1, erro relativo apresentado (17.8% para $PM_{2.5}$ e 27.7% para CE), constitui o desvio do valor estudado em relação ao padrão nacional de emissão de um centro urbano, tanto para $PM_{2.5}$ como para o CE

$$(Erd = \frac{|\bar{X} - 65 \mu\text{g}/\text{m}^3|}{65 \mu\text{g}/\text{m}^3} * 100\%).$$

- Tomando todo período de medições, observou-se um erro relativo de 7.4% e 9.7% para $PM_{2.5}$ e CE, respectivamente. Um erro considerado não exagerado para um grau de confiança de 95% (e esses erros foram determinados de modo: $Er = \frac{\delta}{X} * 100\%$). Daí que os resultados podem ser considerados dentro do diapasão de medições ótimas.

5.2. Recomendações

Sugere-se em futuros estudos, que sejam feitos em períodos mais longos e que, se possível, sejam alastrados por outras cidades e províncias do nosso país, usando mais instrumentos, de modo a obter-se uma maior diversidade de informação e valores mais precisos.

Seria também recomendável, a realização destas pesquisas em locais estratégicos, tais como, zonas industriais, onde observa-se com frequência, a prática de combustão para a transformação de energias; em zonas rurais com mais práticas de queimadas descontroladas. Acredita-se que, os dados resultantes das medições feitas nestes pontos comparados aos já obtidos, dariam maior variabilidade nos resultados.

Recomenda-se, ainda, a criação de intercâmbio científico com outras universidades, por forma a criar métodos comparativos nos resultados dos trabalhos de investigação.

5.3. Limitações

Para uma boa efectivação do trabalho de investigação, tive as seguintes limitações:

- A falta de colaboração em locais de medição, chegando a levar mais tempo do que o esperado;
- A falta de materiais para a construção do densitómetro, pois que era necessário que se trabalhasse com material de oficina;
- A falta de financiamento suficiente que cubra a todas as necessidades no trabalho;
- A falta de dados em algumas instituições que estejam ligados ao tema do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ackerman, T.P., and O.B.Toon (1981), Absorption of visible radiation in atmosphere containing mixtures of absorbing and nonabsorbing particles, *Appl. Opt.*, 20(20), 3661-3668.
- [2] Andrade, M.F., Dias, M.A.F.S. (1999), Precipitation trends and the effects of Aerosol: Urban climate change in São Paulo. *In international Conference on Environmental Physics*. Brasilia, Brasil.
- [3] Bascom, R. (1996), Environmental factors and respiratory hypersensitivity. *The Americas. Toxica lett*, 86:115.
- [4] Castanho, A. D. A. (1999), *Determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera urbana de São Paulo*. (www.teses.USP.br/teses/disponiveis/43/4313/tde-19122003-145359).
- [5] Chung, S.H., and J.H. Seinfeld (2002), Global distribution and climate forcing of carbonaceous aerosols, *J. Geophys. Res.*
- [6] Cumbane, J.J. (1999), *Transporte Trans-Fronteiriço de Poluentes de ar na região de África Austral*, Maputo-Moçambique.
- [7] EPA (1999), *Consulta de internet da Agência de protecção Ambiental Americana*. www.Epa.gov.
- [8] Evangelista, H. (2001), Black carbon altera o clima, Brasil — São Paulo. www.bioclima.gov.br
- [9] Ferreira, H.A. (1965), *Climatologia Dinâmica da África meridional*, Lisboa.
- [10] Freiman, M. T.; Piketh, S. J. (2002) – *Air transport into and out of the industrial Highveld of South Africa* – *Journal of Applied Meteorology*, submitted.

- [11] Gilpin, A. (1980) – Dicionário de Termos do Ambiente – 256pp – Publicações Dom Quixote – Lisboa.
- [12] INAV (2003), Instituto Nacional de Viação, *Ficha técnica sobre o crescimento do parque automóvel*; Maputo.
- [13] INAM (2000), Instituto Nacional de Meteorologia, *Boletim Meteorológico Nacional*, Moçambique. <http://www.inam.gov.mz>.
- [14] INE (2003), Instituto Nacional de Estatística, *Censo populacional Moçambicano*. <http://www.ine.gov.mz>.
- [15] Macchione, M.(1999). São Paulo. *Dissertação de Doutorado*. Instituto de Química da Universidade de São Paulo.
- [16] Martins, J.V., Artaxo, P., Liou, C., Reid, J.S., Hobbs, P.V., Wallace, K. & Kaufman, Y.J. (1998), *effects of back carbon content, particles size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in Brazil*, *J. Geophys. Res.*, 103 (D24), 32.41-32050.
- [17] McMurry, P.H., X. Wang, K. Park, and K. Ehara (2002), The relationship between mass and mobility for atmospheric particles: A new technique for measuring particles density, *Aerosol Sci. Technol.*, 36(2), 227-238.
- [18] MICOA –Ministério para a coordenação Ambiental (2004), *Regulamento de padrões de emissões e qualidade ambiental*;
- [19] Murray, E., & Zmirou, P. (1998), Sección 2.1, *Impactos en la salud*. Editado por Kuylenstierna, J., Hicks, K., Herrera, R. In: Contaminación atmosférica Regional en los Países en Desarrollo.
- [20] NASA Facts. *Atmospheric Aerosols: What Are They and Why Are They So Important?*. 5pp. 11 de Agosto, 1996.
<http://oea.lare.nasa.gov/PAIS/Aerosols.html>.

- [21] Parungo, F, Nagamoto, ., C., Zhou, M.Y., Hansen, A.D.A. & Harris, J. (1994), *Aeolian transport of aerosol black carbon from China to the ocean*, Atmos. Environ., 28(20), 3251-3260.
- [22] Pinketh S.J. (2000), Transport of aerosol and trace gases over southern Africa, *Unpublished PhD Thesis, Journal of Geophysical Research*, 106, 9787-9806.
- [23] Puri, E.S.S., Hansson, H.C., Edner, H.(1996). *Urban air pollution source apportionment using a combination of aerosol and gas monitoring techniques*. Atmospheric Environment, Vol.30, nº 115; p.2795-2809.
- [24] Queface, A.J. (1999), *Atmospheric Aerosol Loading Off The East Coast Of Southern Africa*, Tese de Mestrado, Universidade de Witwaterstand, Johanburg (África do Sul).
- [25] Raves, F.; Wilson, J. & Vandingenen, R. (1995) – *Aerosols dynamics and its implications for the global aerosol climatology – in Aerosol Forcing of Climate –* Charlson, R. J. And Heintzenberg, J., (eds) – John Wiley & Sons, New York – NY – chapter 8.
- [26] Saldiva, P.H.N., Pope, C.A., Schwartz, J., Dockey, D.W., Barone, I.(1995), *Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brasil*. Arch. Environmental health, Vol. 64, p.159-163.
- [27] Seinfeld, J.H., & S.N. Pandis (1998), *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, J. Wiley & Sons, New York, NY.
- [28] Utui, R.J. (1999) - Projecto SAFARI 2000: Southern African Regional Science Initiative -2pp - Maputo – <http://safari.geep.virginia.edu>.

ANEXOS

Valores da concentração do material particulado (PM_{2.5})

Tabela 7: Médias mensais da concentração $PM_{2.5}$ sobre a cidade de Maputo durante todo o período de amostragem.

Dados de calibração de MiniVol

A rampa $m=10021$

O interceptador $b=0.0051$

$P_{std}=764$ mmHg

$T_{std}=298$ K

$T_{amb}=297$ K

Dias Medição	$[PM_{2.5}]$ ($\mu g/m^3$)	δ	Δ	Ea	
10 Set.	22.02	6.16	31.43	0.59	
11 Set.	78.82	4.98	25.37	0.47	
12 Set.	34.87	3.64	18.58	0.35	
13 Set.	40.65	0.94	4.77	0.09	
14 Set.	87.22	6.62	33.77	0.63	
15 Set.	39.23	2.79	14.22	0.27	
16 Set.	45.76	1.51	7.69	0.14	
17 Set.	43.12	2.03	10.33	0.19	
18 Set.	99.1	8.95	45.65	0.85	
19 Set.	20.5	6.46	32.95	0.62	
20 Set.	28.73	4.85	24.72	0.46	
21 Set.	66.8	2.62	13.35	0.25	
22 Set.	96.85	8.51	43.40	0.81	
23 Set.	62.36	1.75	8.91	0.17	
24 Set.	43.03	2.04	10.42	0.19	
25 Set.	23.02	5.97	30.43	0.57	
26 Set.	19.83	6.59	33.62	0.63	
27 Set.	65.4	2.34	11.95	0.22	
28 Set.	75.15	4.26	21.70	0.41	
1 Out.	34.42	3.73	19.03	0.36	
2 Out.	64.8	2.23	11.35	0.21	
3 Out.	61.94	1.66	8.49	0.16	
4 Out.	69.94	3.23	16.49	0.31	
5 Out.	50.13	0.65	3.32	0.06	
6 Out.	75.53	4.33	22.08	0.41	
7 Out.	32.46	4.12	20.99	0.39	Er (%)
Méd.	53.45	3.96	20.19	0.38	17.77

d) CU-Campus Universitário

Dias de Medições	M1(μg)	M2(μg)	M.Am (μg)	t.Am (h)	Vamb(m^3)	Tamb ($^{\circ}\text{C}$)	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10 Set.	15560	15600	50	22	2.27	17.9	22.02
11 Set.	15830	16100	240	21.9	3.04	23.8	78.82
12 Set.	15820	15900	120	22	3.44	23.5	34.87
13 Set.	15910	16100	150	22	3.08	23.7	48.68
14 Set.	15910	16000	100	21.9	3.35	25.1	29.88
15 Set.	15730	15900	130	22	4.52	28.1	28.76
16 Set.	15550	15800	200	22	4.37	27.4	45.76
Med							41.26
Max							78.82
Min							22.02

Tabela 9: Médios, máximos e mínimos valores da concentração de $\text{PM}_{2.5}$ em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. i) BC-Bairro Central, ii) BLC-Bairro de Luís Cabral, iii) HU-Hulene, iv) CU-Campus Universitário.

a) Meio de semana

b) Fins de semana

i) Bairro Central

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
4 Out.	69.94
5 Out.	50.13
6 Out.	75.53
7 Out.	32.46
Min	32.46
Max	75.53
Med	57.02

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1 Out.	34.42
2 Out.	64.8
3 Out.	61.94
Min	34.42
Max	64.8
Med	53.72

ii) Bairro de Luís Cabral

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14 Set.	87.22
15 Set.	39.23
16 Set.	45.53
20 Set.	28.73
21 Set.	66.8
Min	28.73
Max	87.22
Med	53.60

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17 Set.	43.12
18 Set.	99.1
19 Set.	20.5
Min	20.5
Max	99.1
Med	54.24

iii) HU-Hulene

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
22 Set.	96.85
23 Set.	62.36
27 Set.	65.4
28 Set.	75.15
Min	62.36
Max	96.85
Med	74.94

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
24 Set.	43.03
25 Set.	23.02
26 Set.	19.83
Min	19.83
Max	43.03
Med	28.63

iv) Campus Universitário

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13 Set.	48.68
14 Set.	29.88
15 Set.	28.76
16 Set.	45.76
Min	28.76
Max	48.68
Med	38.27

Dias de Medições	[PM2.5] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10 Set.	22.02
11 Set.	78.82
12 Set.	34.87
Min	22.02
Max	78.82
Med	45.24

Valores da concentração de carbono elementar-CE

Tabela 10: Médias mensais da concentração de carbono elementar-CE sobre a cidade de Maputo durante todo o período de amostragem; o desvio padrão, erro absoluto e o erro relativo.

Dias de Medições	[CE]($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	δ	Δ	Ea	Er(%)
10 Set.	4.97	0.452	2.304	0.864	
11 Set.	3.01	0.067	0.344	0.129	
12 Set.	4.33	0.326	1.664	0.624	
13 Set.	1.04	0.319	1.626	0.610	
14 Set.	0.66	0.393	2.006	0.752	
15 Set.	1.79	0.172	0.876	0.329	
16 Set.	2.09	0.113	0.576	0.216	
17 Set.	3.21	0.107	0.546	0.205	
18 Set.	3.00	0.065	0.333	0.125	
19 Set.	3.42	0.148	0.753	0.282	
20 Set.	3.17	0.100	0.509	0.191	
21 Set.	7.69	0.986	5.028	1.886	
22 Set.	2.93	0.052	0.265	0.099	
23 Set.	2.13	0.104	0.533	0.200	
24 Set.	3.56	0.176	0.896	0.336	
25 Set.	2.43	0.047	0.237	0.089	
26 Set.	3.03	0.072	0.365	0.137	
27 Set.	4.88	0.433	2.210	0.829	
28 Set.	4.96	0.450	2.294	0.860	
1 Out.	0.45	0.435	2.217	0.831	
2 Out.	0.52	0.421	2.147	0.805	
3 Out.	1.10	0.306	1.562	0.586	
4 Out.	1.61	0.208	1.059	0.397	
5 Out.	1.36	0.256	1.307	0.490	
6 Out.	1.26	0.275	1.404	0.527	
7 Out.	0.71	0.384	1.959	0.735	
Méd.	2.67	0.26	1.347	0.51	27.74
Máx.	7.69				
Min.	0.45				

Tabela 11: Bairros da cidade ilustrando os mínimos, médios e máximos valores da concentração de CE; a) BLC-Bairro de Luís Cabral, b) BC-Bairro Central, c)HU-Hulene e d) CU-Campus Universitário.

a) BLC-Bairro de Luís Cabral

- O diâmetro do filtro de amostragem é:3.9cm
- A tensão no filtro sem nada é: 0.409 V

- δ \Rightarrow Desvio padrão
- Δ \Rightarrow Desvio de cada de medição
- Ea \Rightarrow Erro absoluto

Dias de Medições	U(V)	Uo(V)	U/Uo	A	Dens.CE ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	S(cm^2)	m(μg)	Vamb (m^3)	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	δ	Δ	Ea
14 Set.	0.409	0.37	1.11	10.02	0.84	11.9	9.94	3.55	2.80	0.10	0.26	0.08
15 Set.	0.409	0.36	1.14	12.76	1.06	11.9	12.65	4.08	3.10	0.02	0.04	0.01
16 Set.	0.409	0.35	1.17	15.58	1.30	11.9	15.45	5.71	2.71	0.13	0.35	0.12
17 Set.	0.409	0.36	1.14	12.76	1.06	11.9	12.65	3.94	3.21	0.06	0.15	0.05
18 Set.	0.409	0.35	1.17	15.58	1.30	11.9	15.45	5.15	3.00	0.02	0.06	0.02
19 Set.	0.409	0.376	1.09	8.41	0.70	11.9	8.34	2.44	3.42	0.14	0.36	0.12
20 Set.	0.409	0.37	1.11	10.02	0.84	11.9	9.94	3.13	3.17	0.04	0.12	0.04
Méd.									3.06	0.07	0.19	0.06
Min.									2.71			
Máx.									3.42			

b) BC-Bairro Central

Dias de Medições	U(V)	Uo(V)	U/Uo	A	Dens.CE ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	S(cm^2)	m(μg)	Vamb (m^3)	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	δ	Δ	Ea
1 Out.	0.409	0.401	1.02	1.98	0.16	11.9	1.96	4.36	0.45	0.21	0.55	0.55
2 Out.	0.409	0.396	1.03	3.23	0.27	11.9	3.20	6.17	0.52	0.18	0.48	0.48
3 Out.	0.409	0.391	1.05	4.50	0.38	11.9	4.46	4.04	1.10	0.04	0.10	0.10
4 Out.	0.409	0.385	1.06	6.05	0.50	11.9	6.00	3.73	1.61	0.23	0.61	0.61
5 Out.	0.409	0.383	1.07	6.57	0.55	11.9	6.51	4.79	1.36	0.14	0.36	0.36
6 Out.	0.409	0.383	1.07	6.57	0.55	11.9	6.51	5.16	1.26	0.10	0.26	0.26
7 Out.	0.409	0.388	1.05	5.27	0.44	11.9	5.23	7.39	0.71	0.11	0.29	0.29
Méd.									1.00	0.14	0.38	0.38
Min.									0.45			
Máx.									1.61			

c)HU-Hulene

Dias de Medições	U(V)	Uo(V)	U/Uo	A	Dens.CE ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	S(cm^2)	m(μg)	Vamb (m^3)	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	δ	Δ	Ea
21 Set.	0.409	0.377	1.08	8.15	0.68	11.9	8.08	1.05	7.69	1.51	4.28	1.25
22 Set.	0.409	0.362	1.13	12.21	1.02	11.9	12.11	4.13	2.93	0.17	0.49	0.14
23 Set.	0.409	0.365	1.12	11.38	0.95	11.9	11.29	5.29	2.13	0.45	1.28	0.38
24 Set.	0.409	0.37	1.11	10.02	0.84	11.9	9.94	2.79	3.56	0.05	0.14	0.04
25 Set.	0.409	0.36	1.14	12.76	1.06	11.9	12.65	5.21	2.43	0.35	0.99	0.29
26 Set.	0.409	0.356	1.15	13.88	1.16	11.9	13.76	4.54	3.03	0.14	0.39	0.11
27 Set.	0.409	0.344	1.19	17.31	1.44	11.9	17.16	3.52	4.88	0.52	1.46	0.43
28 Set.	0.409	0.344	1.19	17.31	1.44	11.9	17.16	3.46	4.96	0.55	1.54	0.45
Méd.									3.42	0.47	1.32	0.39
Mín.									2.13			
Máx.									7.69			

d) CU-Campus Universitário

Dias de Medições	U(V)	Uo(V)	U/Uo	A	Dens.CE ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	S(cm^2)	m(μg)	Vamb (m^3)	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	δ	Δ	Ea
10 Set.	0.409	0.365	1.121	11.382	0.948	11.9	11.287	2.27	4.97	0.35	2.42	0.95
11 Set.	0.409	0.373	1.097	9.214	0.768	11.9	9.137	3.04	3.01	0.06	0.45	0.18
12 Set.	0.409	0.352	1.162	15.008	1.251	11.9	14.883	3.44	4.33	0.25	1.77	0.69
13 Set.	0.409	0.396	1.033	3.230	0.269	11.9	3.203	3.08	1.04	0.22	1.51	0.59
14 Set.	0.409	0.400	1.023	2.225	0.185	11.9	2.207	3.35	0.66	0.27	1.90	0.74
15 Set.	0.409	0.377	1.085	8.147	0.679	11.9	8.079	4.52	1.79	0.11	0.77	0.30
16 Set.	0.409	0.373	1.097	9.214	0.768	11.9	9.137	4.37	2.09	0.07	0.46	0.18
Méd.									2.55	0.19	1.33	0.52
Mín.									0.66			
Máx.									4.97			

Tabela 12: Médios, máximos e mínimos valores da concentração de CE em função dos dias de semana: a) meio de semana e b) fins de semana; para os diferentes locais de medições. i) BC-Bairro Central, ii) BLC-Bairro de Luís Cabral, iii) HU-Hulene e iv) CU-Campus Universitário.

a) Meio de semana

b) Fins de semana

i) Bairro Central

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
4 Out.	1.61
5 Out.	1.36
6 Out.	1.26
7 Out.	0.71
Min	0.71
Máx	1.61
Méd.	1.23

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1 Out.	0.45
2 Out.	0.52
3 Out.	1.10
Min	0.45
Máx	1.10
Méd.	0.69

ii) Bairro de Luís Cabral

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14 Set.	1.62
15 Set.	1.16
16 Set.	1.23
20 Set.	3.17
Min	1.16
Máx	3.17
Méd.	1.79

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17 Set.	3.21
18 Set.	3.00
19 Set.	3.42
Min	3.00
Máx	3.42
Méd.	3.21

iii) HU-Hulene

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
21 Set.	7.69
22 Set.	2.93
23 Set.	2.13
27 Set.	4.88
28 Set.	4.96
Min	2.13
Máx	7.69
Méd.	4.52

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
24 Set.	3.56
25 Set.	2.43
26 Set.	3.03
Min	2.43
Máx	3.56
Méd.	2.86

iv) Campus Universitário

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13 Set.	0.87
14 Set.	2.80
15 Set.	3.10
16 Set.	2.71
Min	0.87
Máx	3.10
Méd.	2.37

Dias de Medições	[CE] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10 Set.	4.15
11 Set.	2.50
12 Set.	3.61
Min	2.50
Máx	4.15
Méd	3.42

Dados analisados das leituras feitas pelo Densitómetro

Tabela 13: Dados de densidade dos filtros de calibração, tanto para o densitômetro manual de fabrico local (densidade do Instrumento-Dens.CE Inst. ou densidade do instrumento para a regressão— Dens. CE Regres.) como para o denistômetro X-Rite 381.

A tensão no escuro é: $U_e=0.16$ V
 A tensão máxima da fonte é: $U_{max}=0.42$ V,
 A tensão máxima é: $I_{max}=0.053$ A
 A resistência da lâmpada é: $R=6.4\Omega$
 A tensão da parte branca do filtro é: $U_s/m=0.41$ V

a) Dados de densidade dos filtros de calibração, tanto para o densitômetro manual de fabrico local (densidade do Instrumento-Dens.CE Inst. ou densidade do instrumento para a regressão- Dens. CE Regres.) como para o denistômetro X-Rite 381- densidade padrão

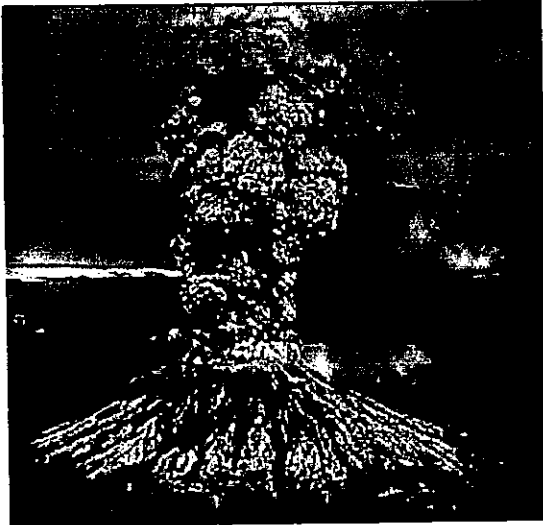
Passos	$U_0(V)$	$U(V)$	U/U_0	A	Dens. CE-Padrão ($\mu g/cm^2$)	Dens. CE-Inst. ($\mu g/cm^2$)	Dens. CE-InstRegres. ($\mu g/cm^2$)
1	0.4	0.41	1.03	2.5	0.07	0.21	0.34
2	0.39	0.41	1.05	5.0	0.08	0.42	0.37
3	0.39	0.41	1.05	5.0	0.09	0.42	0.39
4	0.38	0.41	1.08	7.6	0.11	0.63	0.44
5	0.36	0.41	1.14	13.0	0.17	1.08	0.57
6	0.37	0.41	1.11	10.3	0.26	0.86	0.78
7	0.35	0.41	1.17	15.8	0.41	1.32	1.12
8	0.34	0.41	1.21	18.7	0.62	1.56	1.60
9	0.3	0.41	1.37	31.2	0.9	2.60	2.24
10	0.29	0.41	1.41	34.6	1.32	2.89	3.20
11	0.27	0.41	1.52	41.8	1.78	3.48	4.25
12	0.25	0.41	1.64	49.5	2.2	4.12	5.20
13	0.22	0.41	1.86	62.3	2.57	5.19	6.05
14	0.18	0.41	2.28	82.3	2.89	6.86	6.78
15	0.17	0.41	2.41	88.0	3.12	7.34	7.30
16	0.16	0.41	2.56	94.1	3.23	7.84	7.55
17	0.15	0.41	2.73	100.6	3.32	8.38	7.76
18	0.14	0.41	2.93	107.5	3.45	8.95	8.06
19	0.15	0.41	2.73	100.6	3.54	8.38	8.26
20	0.15	0.41	2.73	100.6	3.61	8.38	8.42
21	0.15	0.41	2.73	100.6	3.69	8.38	8.60

b) Desvio padrão, desvio de cada medição, Erro absoluto e Erro relativo.

Méd.	δ	Δ	E_a	E_r (%)
1.78	0.65	3.00	0.71	52

**Fontes naturais e antropogénicas de emissão de aerossóis
de carbono elementar**

PROCESSOS NATURAIS



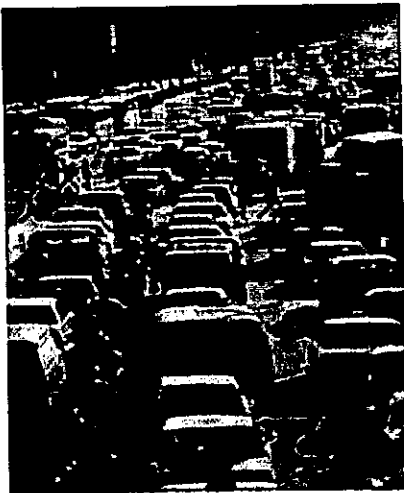
(a)



(b)

Anexo a: a), b) Fumaça das erupções vulcânicas.

ACTIVIDADES HUMANAS



(a)



(b)



(c)

Anexo b: a) Tráfego automóvel, b) Actividades industriais, e f) Queimadas à céu aberto e de florestas.

Mapa da cidade de Maputo

Condições do tempo durante o período de observações

Tabela: Condições de tempo dos dias de medições

DATA	HORAS	CONDICÃO DO CÉU	DIRECÇÃO DOS VENTOS
10-Sep	6:00:00	Muito Nublado	Sudoeste
11-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Nordeste
12-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Sudoeste
13-Sep	6:00:00	Nublado	Nordeste
14-Sep	6:00:00	Limpo	Sueste
15-Sep	6:00:00	Limpo	Sudoeste
16-Sep	6:00:00	Limpo	Nordeste
17-Sep	6:00:00	Limpo	Sueste
18-Sep	6:00:00	Limpo	Sudoeste
19-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Noroeste
20-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Sudoeste
21-Sep	6:00:00	Nublado	Nordeste
22-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Sueste
23-Sep	6:00:00	Limpo	Sudoeste
24-Sep	6:00:00	Limpo	Nordeste
25-Sep	6:00:00	Limpo	Sueste
26-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Sudoeste
27-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Noroeste
28-Sep	6:00:00	Pouco Nublado	Nordeste
1-Out	6:00:00	Nublado	Sudeste
2-Out	6:00:00	Nublado	Sudoeste
3-Out	6:00:00	Pouco nublado	Nordeste
4-Out	6:00:00	Nublado	Sueste
5-Out	6:00:00	Pouco nublado	Sudoeste
6-Out	6:00:00	Limpo	Noroeste
7-Out	6:00:00	Limpo	Sudoeste