



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**POLUIÇÃO POR PARTÍCULAS NA CIDADE DO LOBITO,  
ANGOLA**  
**UM ESTUDO DE MAGNETISMO AMBIENTAL**

Anísio Williams Fernandes Francisco

**MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – RAMO AMBIENTE E ORDENAMENTO**

**Outubro, 2012**





**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**POLUIÇÃO POR PARTÍCULAS NA CIDADE DO LOBITO,  
ANGOLA**  
**UM ESTUDO DE MAGNETISMO AMBIENTAL**

Anísio Williams Fernandes Francisco

**MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS**  
**AMBIENTE E ORDENAMENTO**

**Orientadores**

**Prof. Doutora Celeste dos Santos Romualdo Gomes, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia, Universidade de Coimbra**

**Prof. Doutora Elsa Maria de Carvalho Gomes, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia, Universidade de Coimbra**

**Outubro, 2012**

Aos meus pais, à minha amada esposa,  
à minha filha, Djamila de Jesus, e às minhas  
sobrinhas, Avozinha e Mimosa

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e por iluminar todos meus dias.

Exteriorizo os meus mais sinceros e profundos agradecimentos às minhas orientadoras, Professoras Doutora Celeste Romualdo Gomes e Doutora Elsa Maria de Carvalho Gomes, pela forma sábia e responsável como me orientaram durante todo o trabalho.

À Professora Doutora Helena Sant'Ovaia, pela oportunidade que tive de medir a suscetibilidade magnética das minhas amostras no Laboratório de Magnetismo do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, da Universidade do Porto.

Ao Mestre Armando Rocha, pela ajuda nos trabalhos de laboratório, e à Mestre Ana Lourenço, pela amabilidade e pela ajuda na elaboração das imagens, ilustrando os pontos de amostragem.

À Administração Municipal do Lobito, à Delegacia Municipal de Saúde e ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Delegação de Benguela, pelo dados fornecidos.

Ao Departamento de Ciências da Terra (D.C.T.) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e à Universidade Privada de Angola (U.P.R.A.) - Lubango, pela oportunidade concedida. O meu agradecimento é extensivo ainda a todos os Professores que, durante o período de formação, souberam com firmeza e sapiência transmitir os seus conhecimentos.

À direção da Biblioteca do DCT e, em especial à Dra. Cristina Brojo, D. Conceição, pela ajuda na localização das obras bibliográficas.

Os meus agradecimentos são também extensivos aos demais funcionários do Departamento de Ciências da Terra, em especial, ao Sr. João Moura, pelo Apoio e simpatia, ao Sr. Carlos Maia, pelas análises de raios-X e pelas respostas às dúvidas que lhe fui colocando sobre os difractogramas, ao Sr. Júlio Ribeiro, pela entrega e dedicação, desde a localização de bibliografias assim como pela reprodução do trabalho, ao Sr. Armando Silva, pelo apoio dado na resolução dos problemas informáticos, e à D. Aurora Ferreira, pelo apoio e carinho.

Não poderia deixar de agradecer aos Serviços da Ação Social, em especial à Dra. Rosário Gomes e à D. Gracinda, os meus mais profundos e sinceros agradecimentos pelo alojamento.

A todos os Colegas da Escola do II Clico do Ensino Secundário do Bocoio, em especial a Direção da Escola na pessoa do Diretor, Dr. Januário Kupassala, professor Salomão Kutunda, Marcelino Abílio e Ricardo Bapolo.

Aos jovens Lito e Dicas, no Lubango, os meus agradecimentos pelo alojamento durante os dois anos de formação.

Aos meus colegas de curso e, em especial, ao colega Amílcar, pelo apoio prestado durante a formação.

Ao Mestrando Abél Simão Jamba Viegas, à Dra. Elsa Mutali e ao Bacharel Isaías Tchipuco, pelo apoio prestado durante a recolha do material e envio de dados.

Por último, mas não menos importante, o meu profundo agradecimento à minha família, em especial à minha querida e invejável mãe, Maria Lopes F. Correia, à minha amada e incansável esposa, Marcelina D. Calológico e aos meus tios, irmão e sobrinhos.

## Resumo

O presente trabalho consiste num estudo de magnetismo ambiental para a caracterização de poeiras, realizado na cidade do Lobito, localizada na costa ocidental da região central de Angola. Foram realizadas duas campanhas de amostragem de matéria particulada (poeiras), em locais devidamente selecionados e preparados para o efeito, sendo a primeira de 27 de outubro a 14 de novembro de 2011 e a segunda de 22 de julho a 5 de agosto de 2012. O tempo de acumulação das poeiras foi de 7 e 15 dias. Após a colheita das amostras, mediu-se a suscetibilidade magnética (SM), para as amostras das duas campanhas, a magnetização remanescente isotérmica a 1 T e a -25, -100 e -300 mT ( $MRI_{1T}$ ,  $MRI_{-25mT}$ ,  $MRI_{-100mT}$ ,  $MRI_{-300mT}$ ). Os minerais responsáveis pela magnetização das amostras estudadas são maioritariamente do tipo magnetite/maghemite, como revelam os quocientes  $S_{-300}$ , com valores médios de 0,97, para as amostras da primeira campanha de amostragem e 0,96 para as da segunda campanha. Estes materiais são, em grande parte, de origem antrópica e formaram-se, por exemplo, durante os processos de queima dos combustíveis fósseis, associados a atividades industriais e de tráfego rodoviário. A média dos valores de  $S_{-300}$  para três amostras de fuligem recolhida no tubo de escape de 3 automóveis foi 0,96. Este valor é compatível com os valores de  $S_{-300}$  para as amostras de poeira, mostrando a possibilidade de ocorrência de partículas com a mesma origem em todas as amostras estudadas. Os valores obtidos na primeira campanha são mais elevados em relação aos da segunda cerca de 1,20 vezes (considerando as médias da SM e da  $MRI_{1T}$ ). Da análise dos mapas, podemos concluir que os valores de SM e  $IRM_{1T}$  se distribuem de forma semelhante nas 2 campanhas de amostragem, destacando-se o local LZB6 onde os valores são sempre mais elevados, correspondendo ao local com maior concentração em partículas ferrimagnéticas. Este local é próximo de uma base militar. Para a 1ª amostragem, os valores de  $MRI_{1T}/SM$  variam entre 8,50 e 16,35  $kAm^{-1}$ , sendo a média 11,34  $kAm^{-1}$ . Para a 2ª, variam entre 8,25 e 14,37  $kAm^{-1}$ , sendo a média 11,04  $kAm^{-1}$ . Como os minerais ferromagnéticos presentes são do tipo magnetite/maghemite (estruturas ferrimagnéticas), os valores de  $MRI_{1T}/SM$  indicam uma granulometria de 5 a 8 micra para aquelas partículas. No que diz respeito à mineralogia, determinada por difração de raios X, esta traduz essencialmente a composição mineralógica das rochas e dos materiais de construção, com destaque para a presença constante de quartzo, feldspato, mica, argila, calcite e dolomite. Será importante continuar a desenvolver estudos sobre a poluição e, em particular, sobre a poluição por partículas, tendo em atenção, por exemplo, o número de internamentos, devido a doenças respiratórias agudas, no Município do Lobito, de 2006 a 2011.

## Abstract

This environmental magnetism study was carried out in the city of Lobito, located on the western coast of central Angola. The purpose of this study is to evaluate the levels of particle pollution in the study area. Dust sampling was carried out in selected sites in two campaigns: from October 27<sup>th</sup> to November 14<sup>th</sup>, 2011, and from 22<sup>nd</sup> July to 5<sup>th</sup> August, 2012. The periods of dust accumulation were of 7 and 15 days. The magnetic susceptibility (MS) and the isothermal remanent magnetization at 1 T, -25 mT, -100 mT, and -300 mT (IRM<sub>1T</sub>, IRM<sub>-25mT</sub>, IRM<sub>-100mT</sub>, IRM<sub>-300mT</sub>) were measured. The minerals responsible for the magnetization of the studied samples are mostly of the type magnetite/maghemite, according to the S<sub>-300</sub> values, with average values of 0.97, for the samples of the first campaign, and 0.96, for the second campaign. These materials are largely of anthropic origin and are the result of, for example, the burning of fossil fuels due to industrial activities and road traffic. The S<sub>-300</sub> mean value for three samples of soot, collected in exhaust pipes of three vehicles, was 0.96. This value is compatible with the values of S<sub>-300</sub> of the dust samples, showing that there are particles of the same origin in all the studied samples. Considering the average of MS and IRM<sub>1T</sub>, the values obtained in the first year are about 1.20 times higher than the values for the second year. MS and IRM<sub>1T</sub> values are similarly distributed in both sampling campaigns, highlighting the LZB6 site where values are always higher, owing to the highest concentration of ferrimagnetic particles. This site is near a military base. For the first sampling campaign the quotients IRM<sub>1T</sub>/MS are between 8.50 and 16.35 KAm<sup>-1</sup>, the average being 11.34 KAm<sup>-1</sup>. For the second sampling campaign, the values range between 8.25 and 14.37 KAm<sup>-1</sup>, the average being 11.04 KAm<sup>-1</sup>. As ferromagnetic minerals are of the type magnetite/maghemite (ferrimagnetic structures) IRM<sub>1T</sub>/MS values indicate a particle size of 5 to 8 microns for those particles. With respect to mineralogy, determined by X-ray diffraction, it reflects, essentially, the mineralogical composition of rocks and building materials, with emphasis on the constant presence of quartz, feldspar, mica, clay, calcite and dolomite. It will be important to continue this kind of studies on pollution and, in particular, on particle pollution, taking into account, for example, the number of hospitalizations due to acute respiratory diseases in the city of Lobito, from 2006 to 2011.

# Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice	vi
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos	2
1.2 – Fundamentação	2
2 - ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL	3
2.1 - Magnetismo ambiental	3
2.1.1 - Poluição por partículas	5
2.1.2 - Principais poluentes atmosféricos	7
2.2 - Origem das partículas	7
2.2.1 - Origem natural	8
2.2.2 - Origem antrópica	9
2.3 - Efeitos da poluição por partículas na saúde humana	10
2.4 - Propriedades magnéticas dos materiais	12
2.4.1 - Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo	13
2.5 - O magnetismo ambiental aplicados a estudos de poluição	16
3 - PARÂMETROS MAGNÉTICOS E COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DE POEIRAS DA CIDADE DO LOBITO	19
3.1 - Caracterização da área de estudo	19
3.1.1 - Enquadramento geográfico e administrativo	19
3.1.2 - Enquadramento geológico	21
3.1.3 - Enquadramento geomorfológico	22
3.1.4 - Demografia	24
3.1.5 - Clima	25
3.1.6 - Qualidade do ar e saúde pública	25
3.1.7 - Uso e ocupação do solo	27
3.1.8 - Tipo de vegetação	28
3.1.9 - Indústrias principais e sua localização	28
3.2 - Métodos e técnicas	29
3.2.1 - Colheita das amostras	29
3.2.2 - Caracterização da amostragem	31
3.2.3 - Trabalhos laboratoriais	34
3.3 - Resultados	37
3.3.1 - Parâmetros magnéticos das poeiras	37
3.3.2 - Composição mineralógica das poeiras	42
4 – CONCLUSÕES	44
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46



## 1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, o Ser Humano debate-se com problemas ambientais, como o aquecimento global e a poluição do ar, do solo e da água que atingem, de forma global, todos os países, pondo em risco a sobrevivência dos seres vivos. A atividade humana, como uma das causadoras destes problemas, muitas vezes por negligência, outras por aversez de lucros, usando poluentes, tem deteriorado o ambiente.

A Norma Internacional ISSO 14001 (2004:2) define o ambiente como “o espaço em torno do qual uma organização opera, incluindo o ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, os seres humanos e suas inter-relações.” A Lei de Bases do Ambiente da República de Angola (Lei nº 5/98 de Junho) define “o ambiente como um conjunto dos sistemas físicos, químicos, biológicos e suas relações com os fatores económicos, sociais e culturais com efeitos direto ou indireto, mediato ou imediato, sobre os seres vivos e a qualidade de vida dos seres humanos.”

Entre os vários poluentes, daremos destaque às partículas em suspensão, conhecidas como matéria particulada (PM), capaz de, quando em dimensões inferiores a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>), penetrar profundamente no aparelho respiratório e causar danos significativos à saúde e qualidade de vida dos seres vivos. Numa primeira aproximação, a matéria particulada é composta por partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Contudo, muitas destas partículas acabam por se acumular em vários locais, dependendo da área da superfície terrestre considerada.

A emissão de poluentes para a atmosfera está associada ao desenvolvimento urbano e industrial e ao crescimento da utilização de veículos automóveis. Contudo, a poluição do ar, que consiste na alteração do equilíbrio físico, químico ou biológico, tem efeitos danosos no normal funcionamento das formas de vida. Ela constitui um dos problemas mais graves que a humanidade enfrenta, afetando assim a saúde e a qualidade de vida dos seres vivos, em especial dos seres humanos.

O presente trabalho reflete esta problemática, sendo mais um estudo a somar a muitos outros que têm vindo a ser desenvolvidos em várias localidades, por todo o mundo. Este consiste num estudo de poluição urbana por partículas na cidade do Lobito, Angola utilizando métodos do Magnetismo Ambiental.

## **1.1 - Objetivos**

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os níveis de poluição por partículas na cidade do Lobito. Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar, do ponto de vista das propriedades magnéticas e da composição mineralógica, a matéria particulada em amostras de poeira recolhidas em locais selecionados da cidade do Lobito;

- Caracterizar, quanto às propriedades magnéticas, a matéria particulada presente em amostras de fuligem recolhidas no tubo de escape de três automóveis;

- Identificar as estruturas ferrimagnéticas presentes na matéria particulada das amostras de poeira e das amostras de fuligem do tubo de escape de três automóveis;

- Identificar as fontes de matéria particulada, considerando as amostras estudadas;

- Relacionar os dados obtidos pelos diferentes métodos utilizados;

- Comparar os dados relativos aos níveis de poluição por partículas nas duas campanhas de amostragem.

## **1.2 - Fundamentação**

O presente estudo desenvolve o tema “Poluição por partículas na cidade do Lobito, Angola”. A frequência do Curso de Mestrado na área de Ambiente e Ordenamento do Território permitiu, entre outros, efetuar uma reflexão sobre os problemas ambientais locais, em particular sobre os da cidade do Lobito.

Tendo em conta o crescimento do parque industrial e a sua diversificação por um lado, e o aumento considerável de automóveis (sobretudo usados) e obras de construção civil, por outro, considerou-se pertinente um estudo sobre o impacto ambiental de todos os processos envolvidos. Aliou-se ainda o facto da insuficiência bibliográfica relacionada com temas sobre poluição por partículas no Lobito.

A partir das técnicas utilizadas e dos resultados, assim como pela experiência pessoal, considerou-se muito importante e necessário o desenvolvimento do tema com amplitude e profundidade, e sobretudo, de forma lógica e sistemática.

## 2 - ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

### 2.1 - Magnetismo ambiental

O estudo das propriedades magnéticas dos materiais e a sua relação com aspetos ambientais remonta à década de setenta do século XX. Com a aplicação das técnicas magnéticas a novos tipos de amostras (solos, sedimentos marinhos, poeiras, materiais biológicos, entre outros), surgiu uma nova área de estudo, o magnetismo ambiental, que foi formalmente considerado como disciplina por Thompson e colaboradores, em 1980 (THOMPSON & OLDFIELD, 1986; VEROSUB & ROBERTS, 1995; DEKKERS, 1997; MAHER & THOMPSON, 1999).

VEROSUB & ROBERTS (1995) definiram o magnetismo ambiental como a aplicação de técnicas magnéticas a situações em que o transporte, deposição ou transformações de partículas são influenciados por processos ambientais que ocorrem na atmosfera, hidrosfera ou litosfera.

Desde a industrialização, as partículas ferromagnéticas s.l. aerotransportadas têm sido dominadas por fontes antropogénicas, como a queima de combustíveis fósseis e as indústrias do ferro e do aço (BLUNDELL *et al.*, 2009). A queima dos combustíveis fósseis pode produzir entre 500 e 10 000 ppm de magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e o carvão mais de 160 000 ppm em cinzas (FLANDERS, 1994).

Outras fontes estão relacionadas com os travões dos veículos e dos comboios. A hematite pode também estar presente, mas o sinal magnético das partículas é dominado por compostos associados a partículas do tipo magnetite e maghemite (HANSEN *et al.*, 1981). O solo, nas áreas urbanas e industriais e em locais situados na direção preferencial do vento, pode incluir estas partículas ferromagnéticas em quantidades variáveis (FLANDERS, 1999).

A queima dos combustíveis fósseis é um meio de entrada das partículas na atmosfera, as quais, devido ao seu tamanho diminuto (menos de 1  $\mu\text{m}$ ), se podem dispersar por longas distâncias (MANAHAN, 2000).

As fontes antropogénicas primárias de “metais urbanos” (De MIGUEL *et al.*, 1997) como o chumbo, o cobre e o zinco podem também estar associadas com a exploração mineira ou com a posterior fundição dos minérios que requerem calor proveniente da queima de combustíveis fósseis, fornecendo uma posterior ligação aos sinais magnéticos.

As partículas ferrimagnéticas provenientes dos veículos estão associadas a concentrações elevadas de metais, especialmente chumbo, cobre e zinco (BECKWITH *et al.*, 1986), provenientes das tintas, dos aditivos aos combustíveis, dos pneus e das peças de desgaste dos veículos como, por exemplo, os discos dos travões.

A suscetibilidade magnética (MS), de baixa frequência, e a magnetização remanescente isotérmica a 1 tesla ( $MRI_{1T}$ ) são geralmente equivalentes à concentração de minerais ferrimagnéticos como a magnetite e a maghemite que podem provir de um grande número de fontes. Por vezes, as partículas poluentes apresentam um grão mais grosseiro do que os minerais magnéticos de origem pedogénica e não apresentam uma dependência com a frequência, mas contribuem para uma suscetibilidade magnética geral ( $X_{LF}$ ).

Os valores das  $PM_{10}$ , com origem no tráfego, diminuem, não só com o aumento da distância às estradas, mas também com o aumento da altura (MAHER *et al.*, 2008; MITCHELL & MAHER, 2009). Assim, os dados de  $PM_{10}$  das estações convencionais de monitorização podem ser um indicador fraco da exposição a que estão sujeitas as populações.

Um grande número de estudos científicos usou as propriedades magnéticas das partículas como uma prova dos níveis de poluição das partículas (e.g., MATZKA & MAHER, 1999; HANESCH *et al.*, 2007; MAHER *et al.*, 2008; SZÖNYI *et al.*, 2008). Demonstrou-se uma relação forte entre a magnetização remanescente de saturação e/ou os valores de suscetibilidade magnética e a presença de partículas poluentes, produzidas por processos de combustão e/ou abrasão (GAUTAM *et al.*, 2004; HALSALL *et al.*, 2008, MAHER *et al.*, 2008) e os metais tóxicos, tais como o chumbo e o ferro (MAHER *et al.*, 2008).

Em tempo seco, a deposição de partículas poluentes (PRYOR *et al.*, 2007) é considerada mais importante do que em tempo chuvoso, particularmente próximo das fontes de poluição (BUSINGER, 1986; PRYOR *et al.*, 2007).

Atualmente chegou-se à conclusão que uma das tarefas mais urgentes, para a proteção do ambiente urbano, é monitorizar as cargas de partículas presentes e futuras a partir de fontes poluentes pontuais e difusas, o que permite traçar políticas que visem reduzir emissões e avaliar a sua efetividade a longo prazo (SHU *et al.*, 2001).

### **2.1.1 - Poluição por partículas**

A agência de proteção ambiental dos E.U.A. define poluente como qualquer substância que, quando introduzida no ambiente, afeta negativamente a utilidade de um recurso (HILL, 1997). Quanto à poluição atmosférica, esta é definida como a presença de materiais indesejáveis no ar, em quantidades suficientemente grandes para produzir efeitos nocivos (NEVERS, 1995). De referir que esta definição não restringe a poluição a ações humanas, embora, normalmente, se fale apenas nestas.

A Lei de Base do Ambiente da República de Angola define poluição como “a deposição no ambiente de substâncias ou resíduos, independentemente da sua forma, bem como a emissão de luz, som e outras formas de energia, de tal modo e em quantidade tal que o afeta negativamente”.

A qualidade do ar está relacionada com a ação/efeito que os valores de concentração dos vários poluentes têm na fauna, flora e na saúde humana. Assim, considera-se que, numa determinada área, podem ocorrer emissões, desde que não sejam ultrapassadas as concentrações limiares, estipuladas como aceitáveis para a qualidade do ar. Estas são avaliadas pela medição da poluição causada por substâncias químicas, lançadas diretamente para a atmosfera, ou resultantes de reações químicas ocorridas entre os poluentes e que alteram a constituição natural da atmosfera.

A gestão das emissões dos poluentes está relacionada com o facto de a sua concentração, aplicável a cada indústria, não poder ultrapassar os limites obrigatórios, independentemente dos valores da qualidade do ar, serem ou não atingidos. Esta estratégia baseia-se, essencialmente, na aplicação das melhores técnicas disponíveis e no conceito da produção mais limpa.

O motor de combustão foi inventado em 1876 e a sua aplicação, no início do século XX, com o aparecimento das siderurgias e das indústrias de produtos químicos, promoveu o apogeu da intervenção do ser humano sobre o planeta. Estes processos não foram acompanhados de técnicas/procedimentos que avaliassem o seu impacto sobre o ambiente, a toxicidade dos resíduos produzidos ou os prováveis danos para a saúde. Como consequência, a população mundial tem-se deparado com os resultados desastrosos deste processo e tem lutado para entender o que são resíduos, procurando soluções que minimizem os seus efeitos nefastos, para o planeta e seus habitantes.

Um dos sistemas que mais tem sido agredido pelo Ser Humano é o ar, indispensável à vida, e que, provavelmente, não recebeu maior atenção pelo facto de ser abundante, invisível e inodoro. O ar é um recurso natural do qual depende toda a vida na Terra e cuja qualidade influencia os ecossistemas.

O controlo da poluição atmosférica pode ser efetuado a vários níveis (GOMES, 2001; BRAGA *et al.*, 2004):

#### **Nível Local**

- Caracterização qualitativa e quantitativa das emissões na fonte;
- Monitorização e avaliação da qualidade do ar;
- Inventários de fontes e emissões;
- Planos de melhoria da qualidade do ar;
- Aplicação de legislação;
- Inspeção e fiscalização.

#### **Nível Nacional**

- Inventários de fontes e emissões;
- Planos de redução de emissões (fontes móveis e fixas);
- Combustíveis e energias menos poluentes;
- Avaliação da rede nacional de qualidade do ar;
- Implementação do quadro normativo nacional;
- Aplicação de instrumentos de mercado (taxas de emissão, incentivos fiscais, subsídios);
- Definição de tetos nacionais de emissões.

#### **Nível Regional**

- Inventários de emissões;
- Diretivas comunitárias;
- Programas e estratégias de redução;
- Convenções e protocolos de redução das emissões a nível de EU/ONU (Convenção Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância e Protocolos conexos).

## **Nível global**

- Inventários de emissões;
- Identificação de problemas à escala global, definição e implementação de estratégias para a sua solução (Convenção de Viena para limitação da redução da camada de ozono, Protocolo de Montreal, Convenção Quadro sobre as Alterações Climáticas e Protocolo de Quioto).

### **2.1.2 - Principais poluentes atmosféricos**

A poluição atmosférica de origem antrópica é a principal responsável pela degradação do ar e deriva de grandes fontes, em especial os transportes, os aquecimentos domésticos, as atividades agrícolas, domésticas e industriais (SIMÕES, 2001).

A Comunidade Europeia tem, desde há alguns anos, vindo a dedicar particular atenção a este problema, tendo estabelecido limites para a concentração dos poluentes mais representativos, a saber: compostos orgânicos voláteis (COV), elementos químicos, dióxido de enxofre, gases responsáveis pelo efeito de estufa, matéria particulada, monóxido de carbono, óxidos de azoto e ozono.

Estes poluentes têm origens semelhantes, por exemplo, nos processos de combustão, a elevadas temperaturas, do carvão e derivados do petróleo, atividade fotoquímica e nas centrais petrolíferas.

### **2.2 - Origem das partículas**

A matéria particulada, na atmosfera, é constituída por uma mistura, em suspensão, de partículas líquidas e sólidas, cujo tamanho e composição dependem das fontes emissoras (DOCKERY & POPE, 1994 *in* DIAS, 2005), variando, geralmente, entre 0,01 e 0,20  $\mu\text{m}$  (PETROVSKY & ELLWOOD, 1999).

As partículas presentes numa amostra podem ter origens diversas, sendo umas naturais e outras como resultado da intervenção do homem. É essencial conseguir a distinção entre essas origens. Podem ser sólidas ou pequenas gotículas de fumo, poeiras e vapor condensado no ar. São emitidas, sobretudo, no sector dos transportes, por motores a gasóleo, bem como pelas indústrias (cimenteiras, indústria química e refinarias, entre outros) e pelas obras de construção civil. Os processos agrícolas, como a aragem dos solos, e o aquecimento doméstico, entre outros, também são produtores de partículas. Quanto mais finas as partículas,

mais facilmente são inaladas, penetrando no sistema respiratório e nele se alojando, podendo causar infecções.

A sua dimensão também determina o tempo durante o qual as partículas ficam em suspensão no ar. A fração grosseira, ou seja, as partículas com um diâmetro entre 2,5 e 10  $\mu\text{m}$ , designadas por PM10, tende a desaparecer após algumas horas, enquanto as partículas de diâmetro inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5) podem permanecer muitos dias ou até semanas na atmosfera.

A dimensão das partículas é expressa em relação ao tamanho aerodinâmico, definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (DOCKERY & POPE, 1994, citados em DIAS, 2005), variando, geralmente, entre 0,01 e 0,20  $\mu\text{m}$  (PETROVSKY & ELLWOOD, 1999). Como mencionado anteriormente, a perigosidade da PM depende do seu tamanho.

### **2.2.1 - Origem natural**

As partículas de origem natural têm a sua maior incidência em vulcões, tempestades de poeiras e materiais da crosta (solos e rochas). A pulverização de água marinha é também uma grande fonte de partículas suspensas na atmosfera.

A origem das partículas está associada ao tipo de material que se considera e à sua formação. Por exemplo, os minerais magnéticos podem aparecer através de processos geológicos que atuam em diferentes tipos de rochas. Nas rochas ígneas, os minerais magnéticos, magnetites e maghemites com titânio, desenvolvem-se a partir do arrefecimento do magma e, nas rochas metamórficas, aparecem em diferentes fácies. Nas sedimentares e solos, surgem misturas complexas de minerais magnéticos que podem ter origem detrítica (relacionada com o transporte e com o enterramento que modificam os minerais magnéticos derivados de rochas ígneas e metamórficas), biogénica (processos intracelulares bacterianos podem levar à formação de óxidos e sulfuretos de Fe), ou autigénica (devido a processos químicos inorgânicos) (MAHER & THOMPSON, 1999).

As erupções vulcânicas também são responsáveis pelo aparecimento de minerais magnéticos na matéria particulada atmosférica, verificando-se que os valores da suscetibilidade magnética, medidos em sedimentos lacustres e marinhos de áreas vulcânicas, são elevados (THOMPSON & OLDFIELD, 1986).



Os incêndios são também um dos principais responsáveis pela existência de material ferrimagnético, pois facilitam processos erosivos, levando a que, por ação do vento, esse material incorpore as poeiras atmosféricas. Além disso, o aquecimento de compostos de Fe, durante a queima de solos superficiais, leva à formação de partículas fortemente magnéticas. Acresce ainda que a desflorestação contribui fortemente para a não remoção da atmosfera dos gases responsáveis pelo efeito de estufa (GEE).

Algumas das partículas magnéticas podem ainda resultar de fluxos cósmicos de partículas extraterrestres (GOMES, 2001, SIMÕES *et al.*, 2001, citados em DIAS, 2005).

### **2.2.2 - Origem antrópica**

As atividades antropogénicas, em especial, a queima de combustíveis fósseis, a manufatura do ferro e do aço e a fundição de metais, são responsáveis pela ocorrência de esférulas magnéticas na atmosfera. Este facto é confirmado pelo aumento significativo das referidas esférulas, após a revolução industrial (HANESCH *et al.*, 2002).

Por esta razão, tem sido frequentemente referido que a poluição atmosférica de origem antrópica é a principal responsável pela degradação do ar, sendo o transporte rodoviário e a indústria energética apontados como principais fontes emissoras destas partículas. É também importante notar que particulados antrópicos urbanos contêm, quase invariavelmente, partículas magnéticas (FLANDERS, 1994, MATZKA & MAHER, 1999, PETROVSKY & ELLWOOD, 1999, citados em MAHER *et al.*, 2008). Em termos de composição, estas partículas mostram um enriquecimento num conjunto de elementos potencialmente tóxicos, incluindo Al, Ba, Br, C, Cd, Cl, Cr, Fe, Mn, N, Na, Pb, Si, Ti, V, Zn e ainda pólenes, esporos e outros materiais biológicos (MATZKA & MAHER, 1999; GOMES, 2001; BRAGA *et al.*, 2004, citados em DIAS, 2005; HUNT *et al.*, 1995 e HARRISON & JONES, 1995, citados em MAHER *et al.*, 2008).

THOMPSON & OLDFIELD (1986) concluíram que a maioria das partículas magnéticas lançadas na atmosfera tem origem na queima de combustíveis fósseis, em especial carvão e derivados de petróleo. Estas partículas, que se formam a partir da queima de resíduos não-voláteis, muitas vezes uma mistura de óxidos de Fe fracamente magnéticos (tipo hematite) e fortemente magnéticos (tipo magnetite/maghemite), derivam da presença de impurezas de Fe nos combustíveis, (MUXWORTHY *et al.*, 2003; MAHER *et al.*, 2008). Dependendo do tipo de combustível e da temperatura de combustão, as partículas magnéticas finas são maioritariamente esférulas e grãos de formas irregulares que contêm quantidades e

granulometrias variáveis de grãos de magnetite e hematite (MORENO *et al.*, 2003). É então reconhecido que as partículas magnéticas se encontram associadas a partículas atmosféricas (HUNT *et al.*, 1984 e HUNT, 1986 *in* SHILTON *et al.*, 2005). Registe-se ainda que a maioria dos combustíveis fósseis não queimados é essencialmente não magnética, com momentos magnéticos correspondentes a aproximadamente 10 ppm de magnetite, no entanto, os produtos da queima de combustíveis fósseis são muitas vezes ricos em magnetite, com um conteúdo estimado entre 500 e 10 000 ppm (FLANDERS, 1994 *in* PETROVSKY & ELLWOOD, 1999). A título de exemplo, pode referir-se que, em cinzas de carvão, o teor de ferro pode chegar a 160 000 ppm (PETROVSKY & ELLWOOD, 1999).

### **2.3 - Efeitos da poluição por partículas na saúde humana**

Plantas e animais, incluindo o Homem, são constituídos essencialmente por onze elementos: Ca, C, Cl, H, K, Mg, N, O, P e S (BELL, 1998). Adicionalmente, outros estão presentes em quantidades traço. Dois grupos de elementos traço, os essenciais e os potencialmente perigosos, são importantes no que diz respeito à saúde. Segundo MILLS (1996 *in* Bell, 1998), os que são essenciais para os animais são: o F, Fe, I, Mn, Mo, Ni, Sn e o V. Estes elementos são, normalmente, benéficos à saúde humana, mas também podem tornar-se tóxicos quando em excesso no organismo. Há discussão sobre o nível a partir do qual um efeito pode ser considerado adverso, pois a situação altera-se constantemente, à medida que aumenta a sensibilidade das medições, e efeitos muito reduzidos são determinados (FERGUSSON, 1990). Refira-se que existem substâncias, como por exemplo o Fe, o Mo, e o Se, que têm limites de concentração relativamente curtos entre os níveis tóxicos e essenciais (i.e., por volta de alguns microgramas por gramas) (BELL, 1998).

Em contraste, os elementos potencialmente perigosos, que apresentam adversidades fisiológicas, mesmo quando em quantidades relativamente baixas, incluem: o As, o Cd, o Hg, o Pb e alguns produtos derivados do urânio (U). O Al também pode ter efeitos fisiológicos adversos em quantidades traço (BELL, 1998). Em algumas circunstâncias, os elementos podem ter efeitos antagónicos ou sinérgicos nas propriedades biológicas de outro elemento, isto é, um elemento tóxico pode ajudar na redução dos efeitos tóxicos de outro elemento, ou então potenciar ainda mais essa toxicidade (FERGUSSON, 1990).

Os poluentes atmosféricos são prejudiciais à saúde humana quando estão em concentrações acima dos limites estabelecidos. Contudo, mesmo em baixas concentrações, mas com tempo de exposição prolongado, também podem provocar graves problemas de saúde. Assim, é necessário ter-se em conta, para além, da concentração, o tempo de exposição às substâncias.

A poluição atmosférica apresenta efeitos consideráveis sobre o ambiente, afetando de forma diversa vários tipos de recursos, como por exemplo: recursos visuais e estéticos, biodiversidade, solos, qualidade da água, estruturas naturais, construções artificiais e a saúde humana, sobretudo. Esta gera ainda uma enorme degradação da qualidade de vida das populações, podendo provocar uma série de doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias. Deve-se ressaltar que estas três categorias de morbidade constituem as principais causas de morte nos grandes centros urbanos (BARBOSA, 1990). Além disso, ainda acarretam um decréscimo no sistema imunológico do indivíduo, tornando-o mais suscetível a infeções agudas.

Os mais afetados pela baixa qualidade do ar são as crianças, os idosos e as pessoas com problemas respiratórios (bronquite, asma e alergias), devendo também considerar-se a suscetibilidade individual de cada um. Segundo BRAGA *et al.* (2004), o material particulado atinge as vias aéreas inferiores, por ser composto por partículas inaláveis e não pela sua composição química. São poluentes com capacidade de transportar gases adsorvidos até às porções mais distais das vias respiratórias onde são efetuadas as trocas gasosas (tabela 1). Os mecanismos de defesa próprios dos organismos são o aparelho muco-ciliar, o espirro e a tosse.

A determinação do principal poluente, responsável pela causa dos problemas de saúde, é tarefa complexa devido à dificuldade em medir todos os poluentes numa cidade.

A deterioração da saúde da população tem, entre as várias consequências, um aumento do custo nos atendimentos à população nos serviços de saúde pública, dado que os altos níveis de poluição do ar ocasionam um aumento da procura pelas unidades básicas de saúde e hospitais. Em outras palavras, aumentam as consultas médicas, as hospitalizações e as mortes, levando, também, a um incremento do consumo de medicamentos, faltas à escola e ao trabalho, além de restringirem a prática de atividades físicas pela população afetada.

Tabela 1 – Profundidade de penetração de matéria particulada no sistema respiratório humano (adaptado de LUCKEY & VENUGOPAL, 1977 citados em FERGUSSON, 1990).

Sistema Respiratório		Matéria particulada retirada em função da dimensão das partículas (%)		
		<20 µm	<2 µm	<0,2 µm
Nasofaríngeo	Boca/nariz	15	-	
	Faringe	8	-	
Pulmonar	Traqueia	10	-	-
	Brônquios pulmonares	12	-	-
	Brônquios secundários	19	1	-
	Brônquios terciários	17	2	-
	Brônquios quaternários	6	2	1
	Brônquios terminais	6	6	6
Alveolar	Brônquios respiratórios	0	5	4
	Canais alveolares	0	25	11
	Sacos alveolares	0	0	0
<b>Total</b>	Retirada	93	41	22
	Expulsa	7	59	78

## 2.4 - Propriedades magnéticas dos materiais

A palavra magnetismo está associada ao processo pelo qual um objeto tem o poder de atrair e ser atraído por outro objeto. A matéria é constituída por átomos e estes possuem um núcleo central, de carga positiva, em torno do qual “giram” os elétrons. Além desse movimento orbital, em torno do núcleo, os elétrons giram em torno de um eixo que passa pelo seu centro; este movimento é conhecido pela palavra inglesa *spin* (MENDIRATTA, 1995).

Segundo SILVA & HOHMANN (1983) e MENDIRATTA (1995), a carga elétrica, quando em movimento, origina uma corrente elétrica. Assim, no caso do movimento orbital segue uma corrente circular que origina um momento magnético. Do mesmo modo, também o movimento de spin do elétron origina um momento magnético. Observam-se, no entanto, dois movimentos magnéticos, um orbital e outro de spin. Existe, ainda, o momento magnético do núcleo, contudo,

o seu contributo para as propriedades magnéticas macroscópicas é muito pequeno, podendo, por isso, ser desprezado (MENDIRATTA, 1995).

Contudo, a natureza do comportamento magnético dos metais é determinada pela interação dos elétrons e pela natureza do seu alinhamento, quando é aplicado um campo magnético externo (THOMPSON & OLDFIELD, 1986; MAHER & THOMPSON, 1999). Todos os materiais reagem na presença de um campo magnético. Essa reação pode ser extremamente fraca, dependendo da estrutura e composição de cada material (DEARING, 1999).

São inúmeros os objetos, utilizados no quotidiano, que utilizam o magnetismo no seu funcionamento. Os minerais não são exceção, porque respondem ao efeito da aplicação de um campo magnético, referida normalmente por indução magnética. A indução magnética é a força magnética exercida sobre um corpo, por unidade de carga elétrica (Ampère). Um dos exemplos mais habituais, onde se verifica a indução magnética, é um íman que puxa ou repele um simples prego.

São os movimentos de spin, associados ao movimento orbital, que, no conjunto, vão determinar a energia magnética total, salientando-se a importância dos elétrons que assumem o papel principal na produção da energia referida (DEKKERS, 1997).

A resposta dos materiais, à aplicação de um campo magnético, depende da sua estrutura atômica e molecular e, por isso, podem classificar-se como: diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos, ferrimagnéticos e antiferromagnéticos.

#### **2.4.1 - Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo**

O diamagnetismo é uma propriedade comum a muitos materiais. Qualquer carga em movimento, incluindo elétrons orbitais, experimenta uma força, conhecida como força de Lorentz. Esta força induz no material um momento magnético negativo, conhecido como diamagnetismo (BUTLER, 1992; MCELHINNY & McFADDEN, 2000). Pode dizer-se que o diamagnetismo é a resposta magnética mais comum à aplicação de um campo magnético externo e deve-se, em especial, ao movimento orbital do elétron. O material adquire uma magnetização negativa, fraca (momento magnético, com sentido contrário ao do campo aplicado) que desaparece assim que o campo magnético externo é removido (e.g., THOMPSON & OLDFIELD, 1986; MENDIRATTA, 1995; MAHER & THOMPSON, 1999).

O diamagnetismo observa-se em qualquer átomo, independentemente da direção inicial do movimento orbital dos elétrons. Apesar desta característica universal, o efeito do diamagnético a nível macroscópico é muito pequeno.

O comportamento paramagnético pode ocorrer quando átomos, iões ou moléculas possuem um momento magnético dipolar. Estes dipolos tendem a alinhar-se, por si só, paralelamente à direção do campo aplicado, provocando uma magnetização positiva fraca (momento magnético, com o sentido do campo aplicado). Contudo, dado que a temperatura a que os átomos se encontram é sempre superior a 0 K, a agitação térmica dos elétrons tende a destruir o seu alinhamento e, como consequência, só uma fração dos momentos estarão paralelos ao campo (paramagnetismo). Deste modo, a magnetização anula-se assim que o campo é removido (MENDIRATTA, 1995; McELHINNY & McFADDEN, 2000). Na presença de um campo magnético, os materiais paramagnéticos apresentam um comportamento oposto ao dos materiais diamagnéticos, tendo tendência a ser atraídos por campos mais fortes (e.g., THOMPSON & OLDFIELD, 1986; BUTLER, 1992; McELHINNY & McFADDEN, 2000).

Quando um material paramagnético é sujeito a um campo magnético, os momentos magnéticos de spin tendem a orientar-se paralelamente à direção do campo aplicado. Contudo, as energias magnéticas envolvidas são pequenas e a agitação térmica, constante, tende a contrariar a “ordem magnética”. O resultado da interação destes dois fatores é o responsável pelo fato da magnetização das substâncias paramagnéticas ser fraca, quando comparada com outras magnetizações. No entanto, os efeitos paramagnéticos são mais dominantes que os efeitos diamagnéticos (THOMPSON & OLDFIELD, 1986).

Em certos materiais, o spin de um elétron origina um campo magnético que tende a alinhar os spins de outros elétrons com o do primeiro. Em alguns materiais especiais, este efeito cooperativo é muito intenso e origina zonas, chamadas domínios, onde todos os spins eletrónicos estão alinhados na mesma direção. Contudo, a direção de um domínio pode ser diferente da dos seus vizinhos. Quando se sujeitam estes materiais à influência de um campo magnético externo, são os domínios, cada um como um todo, que tendem a alinhar-se paralelamente ao campo e não cada um dos spins eletrónicos. A energia necessária para orientar os domínios é muito menor que a requerida para orientar cada um dos spins. Substâncias como o ferro (Fe) e o níquel (Ni) são exemplos deste tipo de materiais (MENDIRATTA, 1995).

Materiais ferromagnéticos (s.s.), como o ferro, caracterizam-se pelo facto das suas propriedades magnéticas variarem drasticamente, para determinado valor de temperatura, conhecido como temperatura de Curie. Abaixo da temperatura de Curie, os materiais ferromagnéticos apresentam uma magnetização remanescente forte. Quando se aproximam da temperatura de Curie, perdem as características de material ferromagnético e tornam-se paramagnéticos (e.g., THOMPSON & OLDFIELD, 1986; BUTLER, 1992, McELHINNY & McFADDEN, 2000).

A magnetização remanescente dos materiais ferromagnéticos resulta da sua capacidade de magnetização espontânea que existe mesmo na ausência de um campo magnético. Todos os momentos magnéticos de elétrões vizinhos estão paralelamente alinhados.

Uma outra característica dos materiais ferromagnéticos é o facto de apresentarem um momento magnético muito superior ao dos materiais para e diamagnéticos. A intensidade elevada dos momentos magnéticos fortes deve-se ao facto das interações magnéticas entre átomos vizinhos serem tão fortes que permitem alinhar os momentos magnéticos, vencendo a agitação térmica (THOMPSON & OLDFIELD, 1986).

Uma substância diz-se ferrimagnética quando, sujeita à ação de um campo magnético, tem a capacidade de ser magnetizada, ou seja, adquirir características do campo magnético a que está sujeita. É o caso de alguns óxidos e sulfuretos de ferro, constituintes dos corpos líticos. Este processo acontece, por exemplo, com a magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) que quando em suspensão se orienta no sentido do norte magnético (THOMPSON & OLDFIELD, 1986).

Aparentemente, o ferrimagnetismo é muito semelhante ao ferromagnetismo s.s.. Na realidade, mesmo utilizando técnicas magnéticas, torna-se muito difícil distinguir estes os dois tipos de substâncias. Os materiais ferrimagnéticos apresentam magnetização remanescente abaixo da temperatura de Curie e, tal como os materiais ferromagnéticos, tornam-se paramagnéticos acima destes valores de temperatura.

O comportamento dos materiais ferrimagnéticos (ferrites) depende, em particular, da sua estrutura cristalina. As ferrites mais comuns são, normalmente, óxidos de ferro (por exemplo a magnetite) com uma estrutura em espinela e apresentam momentos magnéticos antiparalelos e de diferentes magnitudes (intensidades) (THOMPSON & OLDFIELD, 1986; McELHINNY & McFADDEN, 2000). No entanto, existem outras ferrites que apresentam baixa condutividade elétrica, o que lhes confere múltiplas aplicações industriais. Destacam-se os óxidos de

manganés e de zinco, largamente utilizados em componentes de material relacionado com radiofrequência e em memórias de computador (THOMPSON & OLDFIELD, 1986).

Também os materiais antiferromagnéticos apresentam dois momentos magnéticos mas, neste caso, de igual intensidade. Este facto faz com que a magnetização total do material seja nula. Contudo, a orientação dos momentos magnéticos pode ser destruída pela agitação térmica, quando se atinge a temperatura de Néel (THOMPSON & OLDFIELD, 1986).

## **2.5 - O Magnetismo Ambiental aplicado a estudos de poluição**

O estudo das propriedades magnéticas dos materiais e a sua relação com aspetos ambientais remonta à década de setenta do século passado. Esta descoberta permitiu a aplicação das técnicas magnéticas a novos tipos de amostras (solos, sedimentos marinhos, poeiras, materiais biológicos, entre outros) o que permitiu o surgimento de uma nova área de estudo, o magnetismo ambiental, que formalmente foi considerado como disciplina por THOMPSON *et al.*, em 1980 (THOMPSON & OLDFIELD, 1986; VEROSUB & ROBERTS, 1995; DEKKERS, 1997; MAHER & THOMPSON, 1999).

O magnetismo ambiental constitui um método importante para a monitorização dos níveis de poluição por partículas. Assim, o estudo da poluição através das propriedades magnéticas de poeiras constitui uma das áreas de interesse do magnetismo ambiental. VEROSUB & ROBERTS (1995) definiram o magnetismo ambiental como a aplicação de técnicas magnéticas a situações em que o transporte, deposição ou transformação de grãos magnéticos são influenciados por processos ambientais que ocorrem na atmosfera, hidrosfera ou litosfera. Esta nova ciência surgiu na sequência da observação de que as técnicas utilizadas no estudo do magnetismo das rochas e do paleomagnetismo se revelam bastante úteis na análise de situações influenciadas por factores ambientais. Inclusive, os aparelhos utilizados nos estudos de paleomagnetismo e magnetismo das rochas, nas medições laboratoriais e de campo, são utilizados no magnetismo ambiental. Isto é possível porque tem sido registada a presença de partículas ferromagnéticas *s.l.*, predominantemente óxidos e sulfuretos de ferro, em praticamente todos os sedimentos, solos, poeiras e organismos, mesmo que apenas em concentrações menores ou traço. Como é reconhecido, tais grãos podem funcionar como registos paleomagnéticos de campos magnéticos terrestres pretéritos, podendo, adicionalmente, atuar como registos magnéticos sensíveis a mudanças paleoclimáticas e



paleoambientais, pois as mudanças climáticas provocam mudanças ambientais, por exemplo, em ambientes sedimentares e de formação de solos.

Em 2006, GOMES *et al.*, publicaram um trabalho com o objetivo de determinar «em que medida os estudos de magnetismo ambiental permitem traduzir os níveis de poluição, provocados pelo tráfego automóvel, na cidade de Coimbra». Para responder a esta questão os autores recolheram amostras de folhas de plantas, tílias, plátanos e loendros, que funcionaram como coletores naturais de poeiras. Os autores concluíram que os valores obtidos traduziam os níveis de poluição provocados, essencialmente, pelo tráfego automóvel, mas também por trabalhos de construção ou reconstrução de edifícios. Verificaram ainda que os parâmetros magnéticos medidos traduziam os níveis de poluição, dado que os locais com maior intensidade de tráfego automóvel correspondiam a acumulações mais elevadas de poeiras, tendo sido possível confirmar a interdependência entre os valores de parâmetros magnéticos e os níveis de tráfego automóvel (GOMES *et al.*, 2006). Concluíram também que, apesar de, em termos absolutos, os valores médios para Coimbra serem inferiores aos obtidos para outras cidades, como por exemplo para Colónia, na Alemanha, (URBAT *et al.*, 2004), alguns pontos críticos da cidade estavam muito próximo daqueles valores. Concluíram ainda que as partículas ferrimagnéticas presentes nas folhas de *Nerium oleander* apresentavam diâmetro inferior a 9 µm, pelo que podiam ser considerados muito prejudiciais para a saúde, contribuindo para a diminuição da qualidade de vida (GOMES *et al.*, 2006).

Registou-se também uma correlação, positiva e estatisticamente significativa, entre os dados obtidos naquele estudo e os valores de PM<sub>10</sub> da monitorização da qualidade do ar, o que permitiu concluir que os parâmetros magnéticos medidos em folhas de *Nerium oleander* são um indicador credível dos níveis de poluição urbana em Coimbra (GOMES *et al.*, 2006). Voltaram a recorrer a folhas de *Nerium oleander* para caracterizar a poluição por partículas em Coimbra, concluindo que; os valores dos parâmetros magnéticos são controlados pela proximidade às estradas principais, rotundas, semáforos e variações acentuadas na topografia; as partículas magnéticas têm a mesma origem como indicam os valores de S ratios; e que as partículas identificadas são maioritariamente PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> (GOMES *et al.*, 2008).

Atualmente, os estudos de magnetismo ambiental são considerados como uma linha de investigação com bons resultados no domínio das ciências ambientais. Os estudos de magnetismo ambiental constituem uma área de estudo/investigação que, apesar de se encontrar em fase de desenvolvimento, tem apresentado diversos “resultados” que confirmam a sua importância/pertinência em estudos ambientais. Quantidades, por vezes elevadas, de

matéria particulada formam-se na sequência das emissões da queima de combustíveis fósseis, tráfego rodoviário, indústrias metalúrgicas, obras de construção civil, incêndios entre outros. Muitas destas partículas, prejudiciais à saúde, devido ao seu tamanho, forma e composição, acumulam-se nas plantas, nos edifícios e na camada superficial do solo. Assim, qualquer um destes locais serve como coletores naturais ou biocoletores daquelas partículas (VEROSUB & ROBERTS, 1995).

Após selecionadas as amostras, torna-se promissor efetuar um estudo, como método para avaliar os níveis de poluição, através das propriedades magnéticas das partículas poluentes e da concentração em elementos químicos que, em determinadas concentrações, podem ser tóxicos. Estudos feitos revelam que existem correlações positivas e significativas entre os valores dos parâmetros MRI1T e as concentrações em PM10, medidas em estações da qualidade do ar (*e.g.*, GOMES *et al.*, 2006). Nas últimas décadas, tem sido dada grande importância ao uso dos parâmetros magnéticos em estudos ambientais (*e.g.*, VEROSUB & ROBERTS, 1995; DEKKERS, 1997; MAHER & THOMPSON, 1999; EVANS & HELLER, 2003).

### **3 - PARÂMETROS MAGNÉTICOS E COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DE POEIRAS DA CIDADE DO LOBITO**

#### **3.1 - Caracterização da área de estudo**

À semelhança das demais cidades do litoral, o Lobito não é exceção em matéria de êxodo populacional, o que contribuiu para que a cidade tenha um elevado índice populacional. Tal facto verifica-se devido ao conflito interno que assolou o país num período de, aproximadamente, 27 anos, pela falta de planificação familiar, traduzida na elevada taxa de natalidade e, também, pelo facto do município ser a capital económica da província, o que cativa um grande leque de empresários a se instalarem na região.

Como consequência, o município sofreu alterações profundas no que concerne aos planos de ordenamento, atendendo à forma como se foram edificando os novos focos populacionais, sobretudo, sem saneamento básico. Este facto verifica-se com maior ênfase na Zona Alta (Cidade Alta), ao passo que na Zona Baixa (Cidade Baixa) tem menor notoriedade. Estas evidências levam os munícipes a refletir sobre o problema e procurar formas de consciencializar a população sobre a educação e a preservação do ambiente.

##### **3.1.1 - Enquadramento geográfico e administrativo**

A origem da palavra Lobito vem do substantivo *pitu*, antecedida da partícula classificativa *olu*; assim, teríamos OLU+PITU, a “porta, o passadiço, a passagem”, que as caravanas de carregadores, ao descer dos morros vindos do interior, percorreriam antes de atingirem a “praça comercial” da Catumbela. Com o uso continuado e o tempo, tal substantivo comum passaria a nome próprio, pelo que iria perder o “O” inicial, logo LUPITU, que acabou por ser aportuguesado para Lobito (ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO, 2010).

O Município do Lobito tem uma extensão de 2700 km<sup>2</sup>, que representa cerca de 7% do território da Província, e o território da comuna possui uma área de 120 km<sup>2</sup>. Localiza-se a 12°29'0,84" de latitude e a 13°35'06" de longitude, situando-se a 540 km da Capital do País (Luanda) (REPARTIÇÃO DE ESTUDOS E PLANEAMENTO DA ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL DO LOBITO, 01 de outubro de 2012).

Limita-se, a norte, com a Província do Kwanza Sul, a este, com o Município do Bocoio, a sul, com o Município da Catumbela e, a oeste, com o Oceano Atlântico (fig. 1). Lobito é um dos 10 Municípios da Província de Benguela, tendo a antiga Comuna da Catumbela ascendido à categoria de Município, em 2011. Administrativamente, o Lobito está dividido em quatro Comunas, nomeadamente: Canata, Canjala, Biópio, e Egípto Praia.

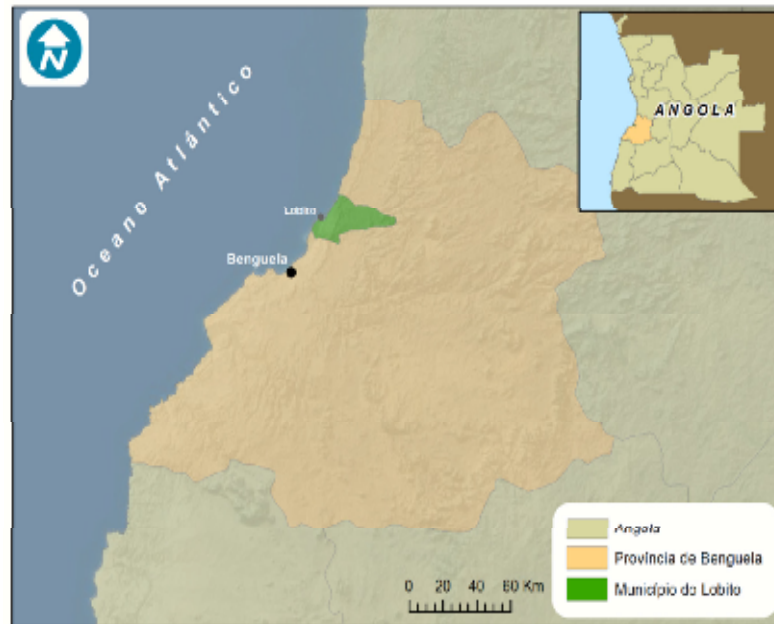


Fig. 1 – Localização do Município do Lobito na Província de Benguela e enquadramento desta última na República de Angola (imagem composta a partir do Google Maps).

A cidade do Lobito é constituída por duas estruturas básicas que podem ser denominadas “Cidade Alta” e “Cidade Baixa” e que se distinguem por possuírem um relevo específico, um modo de edificação característico e, também, pela sua acessibilidade. A “Cidade Baixa” representa uma estrutura moderna que tem premissas de boa organização e formação funcional das zonas, enquanto a Cidade Alta está muito diversificada em relação às características da construção, existindo bairros com estruturas urbanizadas e outros que formam núcleos não urbanizados, que constituem a maior parte desta zona da cidade (FONTOURA, 2003).

No que diz respeito à rede viária, a cidade do Lobito possui uma estrada nacional que a liga às principais cidades do norte, sul e leste do país. Esta acessibilidade é um fator importante

para o desenvolvimento da região centro-sul do país e, por conseguinte, para a atração de novos investimentos (ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO, 2010).

A Cidade Baixa, com menor densidade populacional, encontra-se quase na sua totalidade asfaltada, com cerca de 80 % de estradas com asfalto, ao passo que, na Cidade Alta, de maior densidade populacional, encontram-se maioritariamente estradas de terra batida.

### **3.1.2 – Enquadramento geológico**

A cidade do Lobito insere-se na bacia de Benguela (NETO, 1961), constituída por séries sedimentares relacionadas com a abertura do Oceano Atlântico Sul, a partir do Cretácico Inferior (GUIRAUD *et al.* 2010). Nesta região afloram rochas sedimentares com idades do Cretácico Inferior ao Holocénico, que assentam sobre os gnaisses, migmatitos e micaxistos do soco pré-câmbrico (TAVARES, 2005).

Na figura 2 representa-se a carta geológica da região entre Cuio e Lobito, segundo GUIRAUD *et al.* (2010), modificada e disponibilizada por Elsa Gomes. As séries sedimentares aflorantes na região de estudo incluem:

- Conglomerados e arenitos do início do enchimento da bacia sedimentar, no Neocomiano (unidade litostratigráfica, designada por Cuvo Vermelho); destacam-se, nesta unidade, impregnações de minerais de cobre (NETO, 1960; GUIRAUD *et al.*, 2010);
- Carbonatos e argilitos, da Formação Binga (BUTA-NETO *et al.*, 2006; GUIRAUD *et al.*, 2010);
- Intercalações de calcários e calcarenitos, da Formação Catumbela (NETO, 1961; BUTA-NETO *et al.*, 2006);
- Margas e calcários, da Formação Quissonde (BUTA-NETO *et al.*, 2006);
- Alternâncias de argilas e margas calcárias, da Formação Teba (TAVARES, 2005; GUIRAUD *et al.*, 2010);
- Margas, argilas e arenitos, da formação Quifangongo (GUIRAUD *et al.*, 2010);
- Terraços marinhos do Plistocénico (NETO, 1960; CARVALHO, 1961);

- Areias de praia do Holocénico (GUIRAUD *et al.*, 2010).

NETO (1961) refere, igualmente, a existência de rochas magmáticas básicas e alcalinas, filonianas ou formando pequenos “stocks”, que cortam as rochas do soco.

A cidade do Lobito implanta-se, fundamentalmente, sobre os terraços marinhos do Plistocénico superior, aflorando, para leste, as unidades da Formação Quissonde e Catumbela.

### **3.1.3 - Enquadramento geomorfológico**

Em relação ao relevo, pode dizer-se que Angola apresenta um maciço de terras altas, limitado por uma estreita faixa de terrenos baixos na costa, que varia entre 0 e 200 metros. Acima dos 200 metros, encontram-se as pequenas montanhas e os planaltos que vão aumentando gradualmente de altitude, até atingir o Planalto Central cujas altitudes médias variam entre 1200 e 1600 metros. O Morro do Moco é o ponto mais alto do país (2 620 metros de altitude) e fica situado no Planalto Central, na província do Huambo (tabela 2).

A região de estudo insere-se na faixa litoral (fig. 3) que, segundo GALVÃO & SILVA (1972), se estende ao longo da costa por uma ou duas dezenas de quilómetros. A geomorfologia entre a região do Lobito e Benguela é caracterizada por dois níveis de terraço, representados quer por plataformas de acumulação quer de abrasão (GALVÃO & SILVA, 1972). O primeiro nível está representado a este do farol do Lobito, com cotas entre 120 a 155 metros, e desenvolve-se entre as formações carbonatadas do Cretácico, prolongando-se até ao rio Catumbela. O nível mais baixo, constituído por uma plataforma de acumulação, tem cotas de cerca de 20 metros. Existe ainda uma plataforma mais baixa, com cotas de 3 a 6 metros, que corresponde a uma planície deltaica do rio Catumbela. Finalmente, existe uma faixa arenosa à qual se seguem as praias atuais.

As formações carbonatadas do Cretácico iniciam-se com uma elevação (provavelmente uma escarpa de falha) que começa a este do Lobito, com uma superfície de cota aproximada de 100 metros, e atinge, para o interior, cerca de 165 metros, originando uma nova escarpa com altitude na ordem dos 280 a 300 metros.

Estas características geomorfológicas da região traduzem-se na delimitação de uma Zona Baixa e de uma Zona Alta, na cidade do Lobito, que foram consideradas neste estudo.

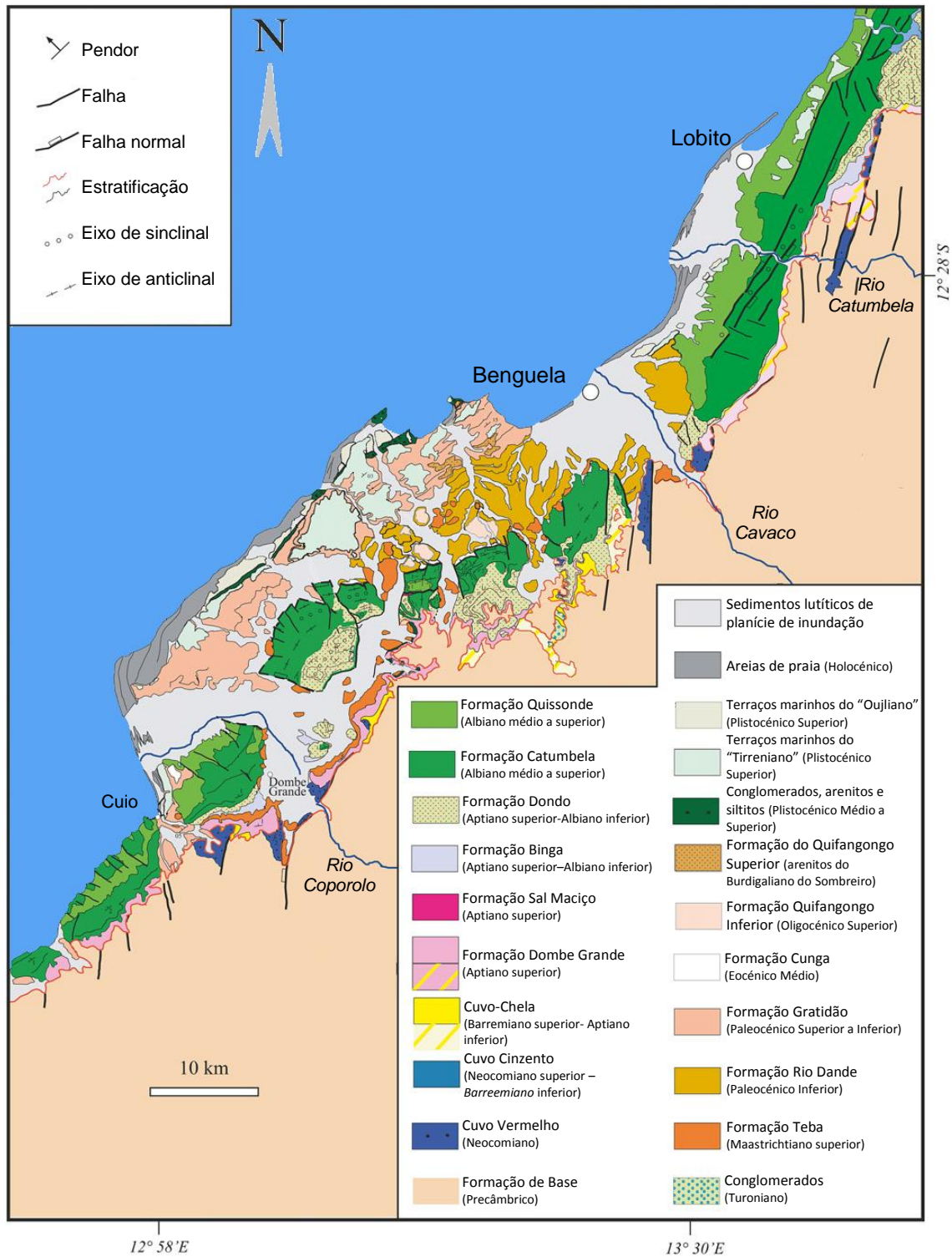


Fig. 2 – Carta geológica do litoral angolano, da região entre Cuio e Lobito (GUIRAUD *et al.*, 2010, modificada e disponibilizada por Elsa Gomes).



Fig. 3 – Representação esquemática das unidades geomorfológicas de Angola (GONZÁLEZ & FRANCISCO, 1982).

### 3.1.4 - Demografia

O Município do Lobito conta com uma população estimada em 841 060 habitantes, distribuídas pelas quatro Comunas (tabela 2), e a densidade populacional é de, aproximadamente, 311,5 habitantes/km<sup>2</sup>.

Tabela 2 – Distribuição da população do Município do Lobito por Comunas (ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL DO LOBITO, 2012)

N.º	Comuna	Habitantes (N)
1	Canata/ 4 zonas administrativas	803090
2	Egito-Praia	2116
3	Canjala	25815
4	Kulango	9139

A distribuição da população nas áreas de estudo (Zona Baixa e Zona Alta da cidade) é de 346 389 e 457 601, respetivamente.



### 3.1.5 - Clima

O clima no Município do Lobito é desértico, quente na faixa litoral, onde as médias da precipitação são inferiores a 150 mm, e todos os meses do ano se podem considerar secos. A característica mais notável reside nos elevados valores da humidade relativa do ar, cujas médias anuais excedem os 70%. No interior do município, o clima é do tipo semi-árido com valores de precipitação excedendo 400 mm por ano. O período quente, que se estende de novembro a maio, tem temperaturas médias entre os 25 – 27 °C, a média das máximas entre 28 e os 30 °C e a média das mínimas entre os 23 – 24 °C. A temperatura máxima absoluta do ar não ultrapassa os 35 °C e a insolação anual média é na ordem dos 53 – 63% (ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO, 2010).

A tabela 3 apresenta os dados climáticos dos últimos 6 anos da Província de Benguela (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFISICA - DELEGAÇÃO DE BENGUELA, 2012).

Tabela 3 - Dados climáticos dos últimos 6 anos da Província de Benguela (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFISICA - DELEGAÇÃO DE BENGUELA, 2012).

Ano	Precipitação atmosférica (média anual) (mm)	Temperatura máxima (média anual) (°C)	Temperatura mínima (média anual) (°C)	Temperatura média (média anual) (°C)	Humidade relativa (média anual) (%)	Precipitação (média anual) (mm)
2007	1012,3	28,6	22,0	15,3	69,0	28,9
2008	1013,8	28,1	21,9	24,9	70,0	32,7
2009	1010,5	28,0	26,1	24,8	69,0	27,6
2010	//	27,8	21,6	24,7	67,0	20,1
2011	//	27,8	21,4	23,4	68,0	16,5
2012	1012	27,2	20,9	24,0	69,0	24,8

### 3.1.6 - Qualidade do ar e saúde pública

Angola e a cidade do Lobito, em particular, são, atualmente, pólos de atração económica, começando a apresentar indicadores de dinamismo da atividade produtiva, com a correspondente concentração de população e, na maior parte das vezes, também de níveis de poluição. No que se relaciona com a qualidade do ar, um dos problemas associado aos aglomerados populacionais é o aumento de veículos motorizados. As indústrias, habitualmente,

também são focos de emissão de poluentes atmosféricos nocivos ao ambiente e à saúde. A queima dos resíduos sólidos praticada pela população e por algumas pequenas empresas e, até, por grandes companhias, contribui também para a deterioração da qualidade do ar.

Embora não haja dados sobre a qualidade do ar em Angola, diversos fatores indicam a existência de elevadas quantidades de partículas em suspensão. Contudo, pode-se presumir que as emissões para a atmosfera têm origens diversas, identificadas em MINUA (2006):

- Estradas não asfaltadas;
- Terrenos sem vegetação;
- Tempo prolongado sem chuvas;
- Elevadas temperaturas;
- Queimadas;
- Geradores a gásóleo;
- Elevado número de obras de construção civil;
- Elevado número de veículos em circulação;
- Fábricas e indústrias com emissões atmosféricas não controladas.

Os dados de saúde, relacionados com o tema de estudo, no Município do Lobito, têm sido considerados preocupantes, atendendo ao número de internamentos devido a doenças respiratórias agudas:

- Ano 2006 - 10421 casos;
- Ano 2007 - 14758 casos;
- Ano 2008 - 15875 casos;
- Ano 2009 - 20377 casos;
- Ano 2010 - 22005 casos;
- Ano 2011 - 19903 casos (REPARTIÇÃO MUNICIPAL DA SAÚDE DO LOBITO, 2012).

Os dados do ano 2012, segundo a Repartição Municipal de Saúde, ainda não foram calculados. De acordo com os dados, verifica-se um grande aumento de internamentos, desde 2006 até 2010, tendo-se ultrapassado a duplicação dos internamentos.

### 3.1.7 - Uso e ocupação do solo

Neste item verificamos a ocupação do solo de forma desordenada, essencialmente na era pós-colonial. O Lobito, durante a era colonial, conheceu uma ocupação do solo de forma ordenada tendo em conta os planos de ordenamento do território feitos neste período. Actualmente, as zonas anteriormente erguidas como áreas industriais, por exemplo, encontram-se fortemente habitadas e verifica-se também o nascimento de novas indústrias em zonas habitadas.

Segundo os planos de ordenamento, é sabido que existe o solo urbano e rural e que o seu uso deve ser feito em função destas duas particularidades, o que não se verifica nos dias de hoje. O êxodo da população, derivado de fatores políticos, étnicos e sociais, fez do Município do Lobito um dos mais populosos de Angola, o que contribui para o mau uso dos solos.

Os solos são predominantemente calcários, arídicos e litossolos, nas áreas de cotas mais elevadas, e aluvionares nas áreas de baixa planície litoral do Catumbela (ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO, 2010).

Excluindo a ocupação e uso de tipo urbano e económico, a aridez do clima possibilita uma agricultura de sequeiro significativa. A atividade agrícola apresenta, assim, as seguintes características:

- Uma agricultura de sequeiro, de subsistência, estendendo-se às áreas limítrofes leste do município;
- Uma agricultura de regadio, nos vales dos rios que cortam o território do município, em direção ao litoral;
- Uma atividade de pecuária extensiva, sobretudo a norte e leste do município;
- A exploração de madeira na floresta, na ponta nordeste do município.

Assim, as áreas de utilização em agricultura intensiva restringem-se às manchas aluvionares dos rios que, devido ao relevo bastante acidentado, somente se definem com alguma expressão em plena orla costeira (ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO, 2010).

### **3.1.8 - Tipo de vegetação**

A vegetação é dominada por formações de estepe, na zona ocidental. No interior do município ocorrem, sobretudo, florestas abertas (Mata de Panda) e savana medianamente arborizada. A desertificação nas zonas litorais (sentido sul - norte) tem vindo a acentuar-se, potenciada pelo abate dos recursos florestais sem a devida reflorestação (ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO, 2010).

### **3.1.9 - Indústrias e sua localização**

O município do Lobito possui um leque de indústrias diversificadas que, atualmente, se encontram em estado de degradação, e um parque de indústrias que estão a ser edificadas. Destacam-se, como principais indústrias: a de bebidas espirituosas, construção de plataformas petrolíferas, alimentar, construção naval, cimento, portuária e produção de oxigénio e de acetileno.

O Bairro da Canata, localizado a norte da Zona Baixa, é onde se localizam algumas das principais indústrias, como: a alimentar (Jomba Industrial), bebidas espirituosas (CIFAL), indústria mobiliária (Só Móveis) e outras. Por esta razão, é denominada de Zona Industrial. Uma outra área, onde se verifica a concentração de algumas indústrias, é o Bairro do Lobito Velho, também a norte: construção de plataformas petrolíferas (Sonamet, SARL), construção naval (Lisnave) e fábrica de cimento (Secil). Existem também algumas que estão a ser construídas na zona mais a sudeste do município, na «Cidade Alta», como: a refinaria de petróleo, fábrica de cimento, denominada Palanca-Cimento, e a central térmica, já em funcionamento.

A existência deste leque de indústria granjeou ao Lobito o lugar de segundo maior parque industrial do país, mas, neste momento, labora abaixo dos 20% da sua capacidade instalada.

## **3.2 - Métodos e técnicas**

### **3.2.1 - Colheita das amostras**

Para efetuar a colheita de amostras de poeiras em trabalhos de poluição por partículas, tem sido comum usar coletores naturais (folhas de plantas e solos) e artificiais (por exemplo, esponjas sintéticas).

Para cumprir os objetivos traçados, no presente trabalho, optámos por recolher a poeira acumulada em superfícies selecionadas. Os locais de colheita foram escolhidos em função da sua localização, fora ou dentro do tecido urbano, atendendo às particularidades da cidade do Lobito (Zona Baixa – Cidade Baixa urbanizada e Zona Alta – Cidade Alta com a maior parte não urbanizada). A base da seleção dos locais de amostragem prendeu-se com a intensidade de tráfego rodoviário, zonas de paragem e acumulação de tráfego, como os cruzamentos e a existência de indústrias. Realizaram-se duas campanhas de amostragem nos períodos de 30 de outubro a 14 de novembro de 2011 e de 22 de julho a 5 de agosto de 2012. Na 1ª campanha foram obtidas 27 amostras, sendo 24 de poeiras e 3 de materiais acumulados nos tubos de escape de igual número de automóveis, e na segunda campanha, colheram-se apenas 23 amostras de poeiras.

Inicialmente, as superfícies foram devidamente limpas para posteriormente se efetuar a recolha das amostras. Em 17 locais, o período de acumulação de poeiras foi de apenas uma semana, enquanto nos restantes 7 foi necessário esperar por mais uma semana, perfazendo assim um total de duas semanas.

Na primeira campanha de amostragem, foram colhidas 13 amostras na Zona Baixa codificadas como LZB, e 11 na Zona Alta, codificadas LZA. Às amostras de fuligem, foi atribuída a codificação LVT – Lobito, num total de 3 amostras de veículos a diesel. Na segunda campanha colheu-se menos uma amostra na Zona Alta.

Todo este processo obedeceu a determinadas fases, algumas já mencionadas anteriormente, bem como ao registo do tempo nos meses de colheita (tabela 4 e 5).

- Seleção dos locais para a colheita das amostras;
- Limpeza dos referidos locais para calcular o período de acumulação; esta limpeza foi efetuada com bastante água limpa e várias toalhas;

- Durante a recolha foram utilizados folhas de papel A4, pincéis de sisal e escovas plásticas;
- Em cada local de amostragem, o material recolhido foi devidamente colocado num envelope de papel e ainda num saco de plástico, devidamente fechado;
- Cada material foi usado para colher apenas uma determinada amostra, tendo assim carácter descartável;
- Durante os dias de colheita usou-se água para lavar as mãos e uma toalha para as limpar antes de colher a amostra seguinte;
- Em todos os locais, procedeu-se ao registo das coordenadas geográficas, mediante a utilização de um GPS;
- Registaram-se, também, para além das coordenadas geográficas, a altitude em relação ao nível médio das águas do mar e a altura do local da colheita relativamente ao solo;
- As amostras foram codificadas como anteriormente se fez referência (LZB, LZA e LVT), sendo L o nome da cidade e ZB e ZA o local (Zona Alta e Baixa), respetivamente. O código LVT é também o nome da cidade e viatura;
- As campanhas foram efetuadas em duas fases, sendo a primeira de 30 de outubro a 14 de novembro – início da época das chuvas, e a segunda de 22 de julho a 5 de agosto – época seca.

Tabela 4 – Dados da temperatura, precipitação e humidade relativa durante os meses de colheita das amostras na primeira campanha/2011 (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFISICA - DELEGAÇÃO DE BENGUELA, 2012).

Meses	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitação (mm)	Humidade relativa (%)
outubro	27,1	20,4	6	71
novembro	28,5	21,8	1,7	70

Nos meses de outubro e novembro de 2011 e de julho e agosto de 2012, o vento, das 06H00 às 10H00, foi calmo. Das 10H00 às 18H00, a direção varia de W a NW, predominando o último, com velocidade média de 26 km/h.

Tabela 5 – Dados da temperatura, precipitação e humidade relativa durante os meses de colheita das amostras na segunda campanha/2012 (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFISICA - DELEGAÇÃO DE BENGUELA, 2012).

Meses	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitação (mm)	Humidade relativa (%)
julho	24,1	17,5	0	74
agosto	23,9	18,2	0	74

### 3.2.2 - Caracterização da amostragem

De forma resumida, apresenta-se, nas tabelas 6 e 7, a caracterização das amostras, de acordo com as especificidades de cada ponto de amostragem. Na figura 4, apresentam-se imagens de 4 locais de amostragem.

Tabela 6 - Caracterização dos locais de amostragem com indicação das coordenadas geográficas, exposição em dias, a altura, em metros, em relação ao solo, e a cota, em metros, em relação ao nível do mar, da primeira campanha.

Amostra	Coordenadas Geográficas		Duração (dias)	Altura (m)	Altitude (m)	Local de Amostragem
	Latitude	Longitude				
LZB-1	12° 21,597´S	13° 32,997´E	15	1,64	23	Bairro da Caponte, Rua do PIC NIC
LZB-2	12° 21,056´S	13° 32,885´E	7	1,00	18	Zona Comercial, Rua 1 de Dezembro
LZB-3	12° 20,050´S	13° 33,595´E	15	1,50	20	Bairro da Restinga, Rua Avenida da Independência
LZB-4	12° 20,758´S	13° 34,697´E	7	1,52	15	Bairro do Lobito Velho, Sonangol
LZB-5	12° 22,800´S	13° 32,812´E	7	1,33	16	Bairro da Luz, Escola Primária Nº 209
LZB-6	12° 22,061´S	13° 31,326´E	7	1,67	14	Bairro da Cabaia, Rua S/ Identificação, próximo de base militar
LZB-7	12° 24,589´S	13° 32,775´E	7	2,90	28	Bairro da Sta Cruz, Rua S/ Identificação
LZB-8	12° 21,723´S	13° 33,147´E	7	25,0	37	Bairro da Canata, Rua Sousa Coutinho
LZB-9	12° 21,775´S	13° 32,983´E	15	20,0	32	Bairro da Caponte, Rua Pacheco Pereira
LZB-10	12° 22,715´S	13° 33,452´E	7	1,63	16	Bairro do S. João, abertura no poste de luz
LZB-11	12° 21,332´S	13° 31,985´E	15	15,0	28	Bairro Académico, Rua Fragoso de Matos Nº 60
LZB-12	12° 21,875´S	13° 32,359´E	15	1,50	13	Bairro da Cassai, Rua da FAPA-DA
LZB-13	12° 22,442´S	13° 32,557´E	15	1,33	15	Bairro do São Miguel, Quarteirão Nº 6
LZA-14	12° 22,435´S	13° 34,359´E	15	0,00	123	Bairro da Bela Vista, Rua Caconda
LZA-15	12° 23,110´S	13° 35,256´E	7	0,00	151	Bairro da Zâmbia, Casa de Lubrificantes, Junto a Central Térmica
LZA-16	12° 21,981´S	13° 35,726´E	7	1,30	162	Bairro da Lixeira Candimba, Rua Nº 3
LZA-17	12° 20,963´S	13° 35,987´E	7	1,07	148	Bairro do Golfe, Escola Primária 1 de Junho
LZA-18	12° 23,005´S	13° 35,106´E	7	0,00	149	Bairro da Zâmbia, Electrica
LZA-19	12° 23,387´S	13° 35,704´E	7	1,00	130	Bairro da Lixeira, Esquadra Policial
LZA-20	12° 22,701´S	13° 35,416´E	7	1,90	168	Bairro do Alto Liro, Residência S/ Referência
LZA-21	12° 22,218´S	13° 35,093´E	7	1,10	136	Bairro 27 de Março, Escola José Samuel
LZA-22	12° 23,255´S	13° 35,363´E	7	0,00	153	Bairro da Boa Vista, Rua S/ referência
LZA-23	12° 23,217´S	13° 34,918´E	7	1,70	149	Bairro do Alto Esperança, abertura no poste de luz
LZA-24	12°22´,427	13°34´,387	7	0,00	123	Bairro da Bela Vista, Rua Caconda



Tabela 7 - Caracterização dos locais de amostragem com indicação das coordenadas geográficas, exposição em dias, a altura, em metros, em relação ao solo, e a cota, em metros, em relação ao nível do mar, da segunda campanha.

Amostra	Coordenadas Geográficas		Duração (dias)	Altura (m)	Altitude (m)	Local de Amostragem
	Latitude	Longitude				
LZB-1	S12°21,597´	E13°32,997´	15	1,64	23	Bairro da Caponte, Rua do PIC NIC
LZB-2	S12°21,008´	E13°32,849´	7	1	18	Zona Comercial, Rua 1 de Dezembro
LZB-3	S12°20,044´	E13°33,627´	15	1,50	20	Bairro da Restinga Rua Vieira Machado
LZB-4	S12°20,758´	E13°34,697´	7	1,52	15	Bairro do Lobito Velho, Sonangol
LZB-5	S12°22,800´	E13°32,812´	7	1,33	16	Bairro da Luz, Escola Nº 209
LZB-6	S12°21,912´	E13°31,493´	7	1,67	14	Bairro da Cabaia, abertura no poste de Luz, frente ao INEFOP
LZB-7	S12°24,589´	E13°32,775´	7	2,90	28	Bairro da Sta Cruz, Rua S/ Identificação
LZB-8	S12°21,723´	E13°33,147´	7	25	37	Bairro da Canata, Rua Sousa Coutinho
LZB-9	S12°21,775´	E13°32,983´	15	20	32	Bairro da Caponte, Rua Pacheco Pereira
LZB-10	S12°22,715´	E13°33,452´	7	1,63	16	Bairro do S. João, abertura no poste de luz
LZB-11	S12°21,332´	E13°31,985´	15	15	28	Bairro Académico, Rua Fragoso de Matos Nº 60
LZB-12	S12°21,875´	E13°32,359´	15	1,50	13	Bairro da Cassai, Rua da FAPADA
LZB-13	S12°22,442´	E13°32,557´	15	1,33	15	Bairro do São Miguel, Quarteirão Nº 6
LZA-14	S12°22,435´	E13°43,359´	15	0	123	Bairro da Bela Vista, Rua Caconda
LZA-15	S12°23,110´	E13°35,256´	7	0	151	Bairro da Zâmbia, Casa de Lubrificantes, Junto a Central Térmica
LZA-16	S12°21,981´	E13°35,726´	7	1,30	162	Bairro da Lixeira Candimba, Rua Nº 3
LZA-17	S12°20,963´	E13°35,987´	7	1,07	148	Bairro do Golfe, Escola Primária 1 de Junho
LZA-18	S12°23,005´	E13°35,106´	7	0	149	Bairro da Zâmbia, Electrica
LZA-19	S12°23,387´	E13°35,704´	7	1	130	Bairro da Lixeira, Esquadra Policial
LZA-20	S12°22,804´	E13°35,493´	7	1,90	168	Bairro do Alto Liro, Loja Acilda
LZA-21	S12°22,218´	E13°35,093´	7	1,10	136	Bairro 27 de Março, Escola José Samuel
LZA-22	12° 23,255´S	13° 35,363´E	7	0,00	153	Bairro da Boa Vista, Rua S/ referência
LZA-23	S12°23,217´	E13°34,918´	7	1,70	149	Bairro do Alto Esperança, abertura no poste de luz



Fig. 4 – Locais de amostragem na cidade do Lobito. A - Bairro da Caponte amostra LZB-1. B - Bairro do Golfe LZA-17. C - Bairro da Restinga LZB-3 segunda campanha e D - Bairro do S. João LZB-10.

Nos locais da figura 4 A, B e D foram colhidas amostras nas duas campanhas de amostragem, enquanto na 4 C apenas se colheu na segunda campanha.

### 3.2.3 - Trabalhos laboratoriais

A determinação da suscetibilidade magnética das amostras foi efetuada no Laboratório de Magnetismo do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, da Universidade do Porto. A determinação da magnetização remanescente isotérmica, da massa das amostras, bem como a difração de raio X foram realizadas no Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Coimbra.

As pontes de suscetibilidade são utilizadas para medir a suscetibilidade magnética, no campo ou em laboratórios, e são instrumentos com sensibilidade para efetuar determinações

num vasto raio de ação, bem como para detetar comportamentos diamagnéticos das amostras (fig. 5).

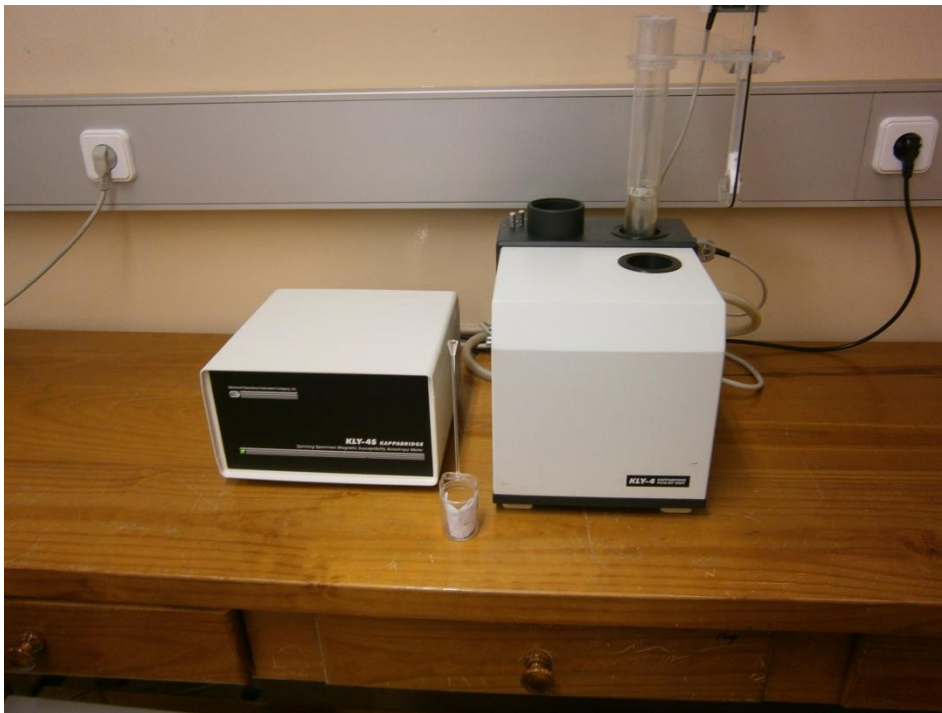


Fig 5 - Balança de Suscetibilidade Kappabridge (Agico) – KY4S, usada na medição da Suscetibilidade Magnética.

Para determinar a MRI a 1T e a -25, -100 e -300 mT, foram usados um magnetizador (fig. 6) e um magnetómetro rotativo (fig. 7), ambos da marca Molspin. Cada amostra foi: 1) magnetizada a 1 T no magnetizador; 2) medida no magnetómetro (MRI<sub>1T</sub>); 3) magnetizada a 25, 100 e 300 mT, no sentido oposto; 4) medida, após a aplicação de cada um dos campos (MRI<sub>-25, -100 e -300 mT</sub>). Para todas as amostras, foram calculados os quocientes S-25, S-100 e S-300 (MRI<sub>-25, -100 e -300 mT</sub>/MRI<sub>1T</sub>).



Fig. 6 – Magnetizador (Molspin) usado para magnetizar as amostras.



Fig. 7 – Magnetômetro rotativo (Molspin) usado na medição da Magnetização Remanescente Isotérmica (MRI).

A massa das amostras foi determinada numa Balança Mettler Toledo (fig. 8). A massa foi determinada para calcular os parâmetros magnéticos por massa. Os dados obtidos nos equipamentos de medida são apresentados por volume e, uma vez que é difícil determinar o volume das amostras, para melhor interpretação, a SM e a MRI foram calculadas por massa.



Fig. 8 – Balança de precisão (Mettler Toledo) usada para determinar as massas das amostras.

A identificação da matéria cristalina nas amostras de poeira foi efetuada num Difractómetro de Raios-X da marca PHILIPS, modelo PW3710. As condições de funcionamento do equipamento são as seguintes: radiação  $\text{CuK}\alpha$ , tensão da corrente 40 kV, intensidade da corrente de 20 mA e velocidade do goniómetro de  $1,2^\circ$  por minuto. Este equipamento faz incidir um feixe monocromático de raios X sobre uma amostra pulverizada (método das poeiras). Os raios X são difratados pelos planos atómicos, regularmente espaçados, dos cristais. A intensidade dos raios X é registada eletronicamente, o que permite obter um difratograma da amostra.

### 3.3 – Resultados e discussão

#### 3.3.1 – Parâmetros magnéticos das poeiras

Os valores da  $\text{MRI}_{1T}$  traduzem a presença de partículas ferromagnéticas *s.l.* A SM é o somatório da SM de todos os materiais presentes nas amostras, embora os ferromagnéticos *s.l.* apresentem valores dominantes.

Os minerais responsáveis pela magnetização das amostras estudadas são maioritariamente do tipo magnetite/maghemite, como revelam os quocientes  $S_{300}$ , com valores médios de 0,97, para as amostras da primeira campanha e 0,96 para a segunda campanha de amostragem. Estes materiais são, em grande parte, de origem antrópica e formaram-se, por exemplo, durante os processos de queima dos combustíveis fósseis, associados a atividades industriais e de tráfego rodoviário. De realçar que, para 3 amostras de fuligem recolhida no tubo de escape de 3 automóveis, a média dos valores de  $S_{300}$  foi 0,96 (tabela 8).

Tabela 8 – Resumo estatístico dos valores de  $MRI_{1T}$ , por massa, para as amostras de fuligem.

Amostra	Marca	Ano de Fabrico	$MRI_{1T}$ ( $Am^2kg^{-1}$ )	S-300
LVT-1	A	1970	2,22E-06	0,96
LVT-2	B1	1980	8,49E-06	0,98
LVT-3	B2	1980	4,27E-06	0,94

Para a 1ª amostragem, a suscetibilidade magnética, por massa e por dia, variou entre  $4,32E-08$  e  $1,62E-06$   $m^3kg^{-1}/dia$ , sendo a média  $2,43E-07$   $m^3kg^{-1}/dia$  (tabela 9). A  $MRI_{1T}$ , por massa e por dia, variou entre  $5,46E-04$  e  $1,53E-02$   $Am^2kg^{-1}/dia$ , sendo a média  $2,72E-03$   $Am^2kg^{-1}/dia$  (tabela 10).

Para a 2ª amostragem, a suscetibilidade magnética, por massa e por dia, variou entre  $5,00E-08$  e  $1,66E-06$   $m^3kg^{-1}/dia$ , sendo a média  $2,00E-07$   $m^3kg^{-1}/dia$  (tabela 9). A  $MRI_{1T}$ , por massa e por dia, variou entre  $4,12E-04$  e  $1,98E-02$   $Am^2kg^{-1}/dia$ , sendo a média  $2,30E-03$   $Am^2kg^{-1}/dia$  (tabela 10).

Os valores médios da SM e  $MRI_{1T}$  obtidos para as amostras da primeira campanha são mais elevados do que os da 2ª cerca de 1,20 vezes (considerando as médias da SM e da  $MRI_{1T}$ ) (tabelas 9 e 10).

Tabela 9 – Resumo estatístico dos valores SM, por massa e por dia, das amostras das duas campanhas.

Campanha	Mínimo $m^3kg^{-1}$	Máximo $m^3kg^{-1}$	Média $m^3kg^{-1}$	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
1ª (out-nov)	4,32E-08	1,62E-06	2,43E-07	3,25E-07	1,34E+00
2ª (jul-ago)	5,00E-08	1,66E-06	2,00E-07	3,25E-07	1,62E+00

Tabela 10 – Resumo estatístico dos valores de  $MRI_{1T}$ , por massa e por dia, das amostras das duas campanhas.

Campanha	Mínimo $Am^2kg^{-1}$	Máximo $Am^2kg^{-1}$	Média $Am^2kg^{-1}$	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	S-300 (média)
1ª (out-nov)	5,46E-04	1,53E-02	2,72E-03	3,43E-03	1,26E+00	0,97
2ª (jul-ago)	4,12E-04	1,98E-02	2,30E-03	3,91E-03	1,70E+00	0,96

Da análise dos mapas das figuras 9, 10, 11 e 12, podemos concluir que os valores de SM e  $IRM_{1T}$  se distribuem de forma semelhante nas 2 campanhas de amostragem, destacando-se o local LZB6 onde os valores são sempre mais elevados, correspondendo ao local com maior concentração em partículas ferrimagnéticas. Este local é próximo de uma base militar.

Para a 1ª amostragem, os valores de  $MRI_{1T}/K$  variam entre 8,50 e 16,35  $kAm^{-1}$ , sendo a média 11,34  $kAm^{-1}$ . Para a 2ª, variam entre 8,25 e 14,37  $kAm^{-1}$ , sendo a média 11,04  $kAm^{-1}$ . Como os minerais ferromagnéticos presentes são do tipo magnetite/maghemite (estruturas ferrimagnéticas), os valores de  $MRI_{1T}/K$  indicam uma granulometria de 5 a 10 micra para aquelas partículas (e.g., THOMPSON & OLDFIELD, 1986). Estes valores de granulometria devem ser entendidos como indicadores, embora sejam semelhantes aos encontrados noutros trabalhos (e.g., GOMES *et al*, 2008, SANT’OVAIA *et al.*, 2012).

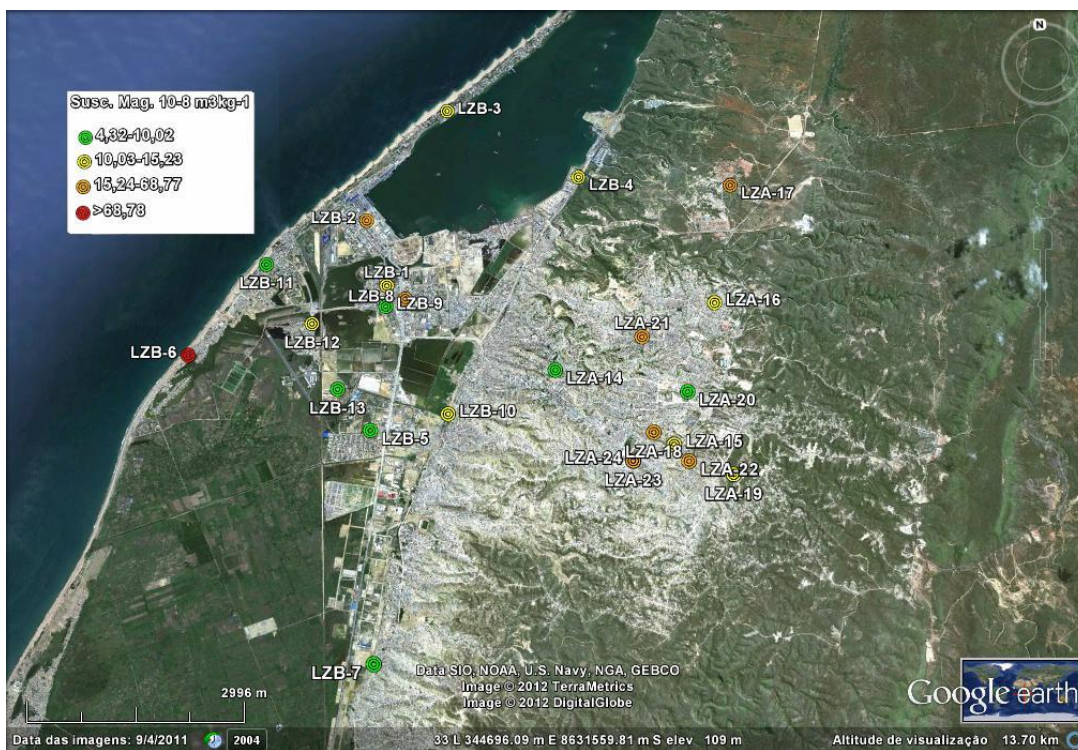


Fig. 9 – Projeção dos valores da suscetibilidade magnética, por local de amostragem, na primeira campanha.

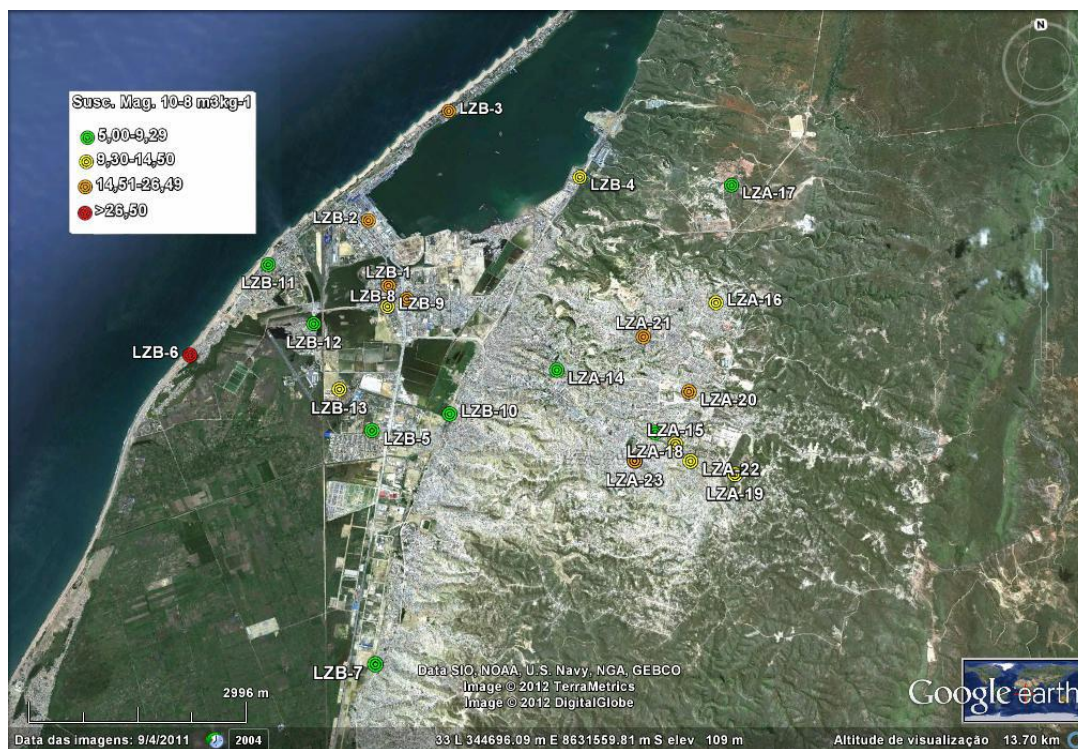


Fig. 10 – Projeção dos valores da suscetibilidade magnética, por local de amostragem, na segunda campanha.



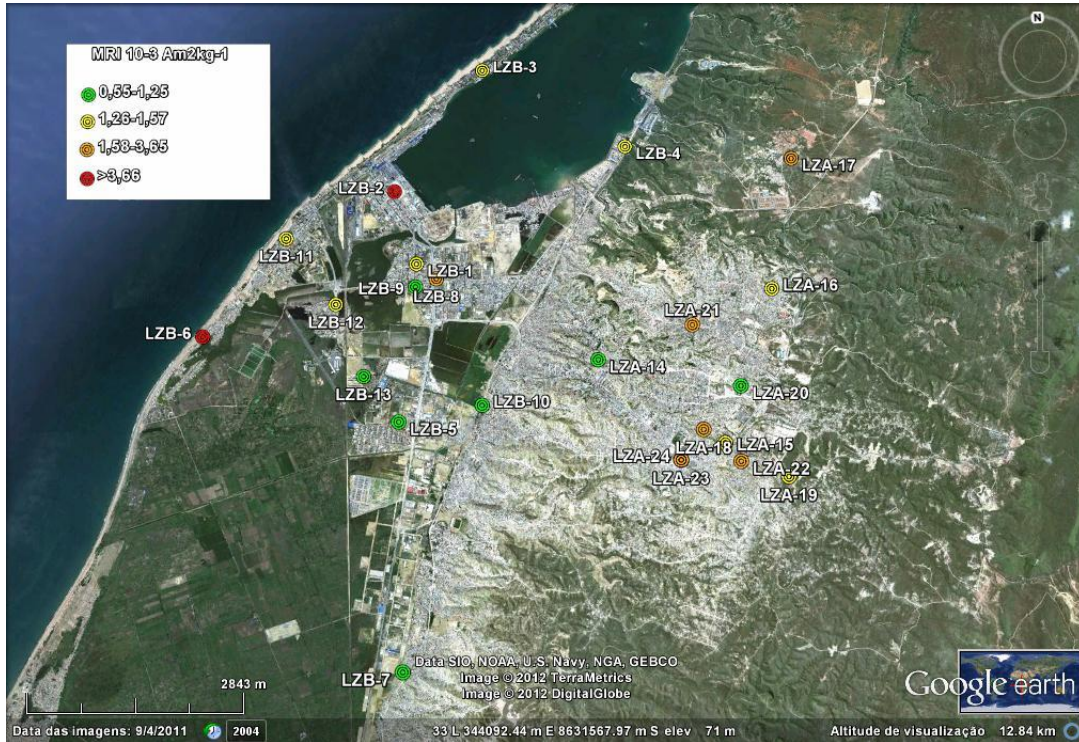


Fig. 11 – Projecção dos valores da MRI1T, por local de amostragem, na primeira campanha.

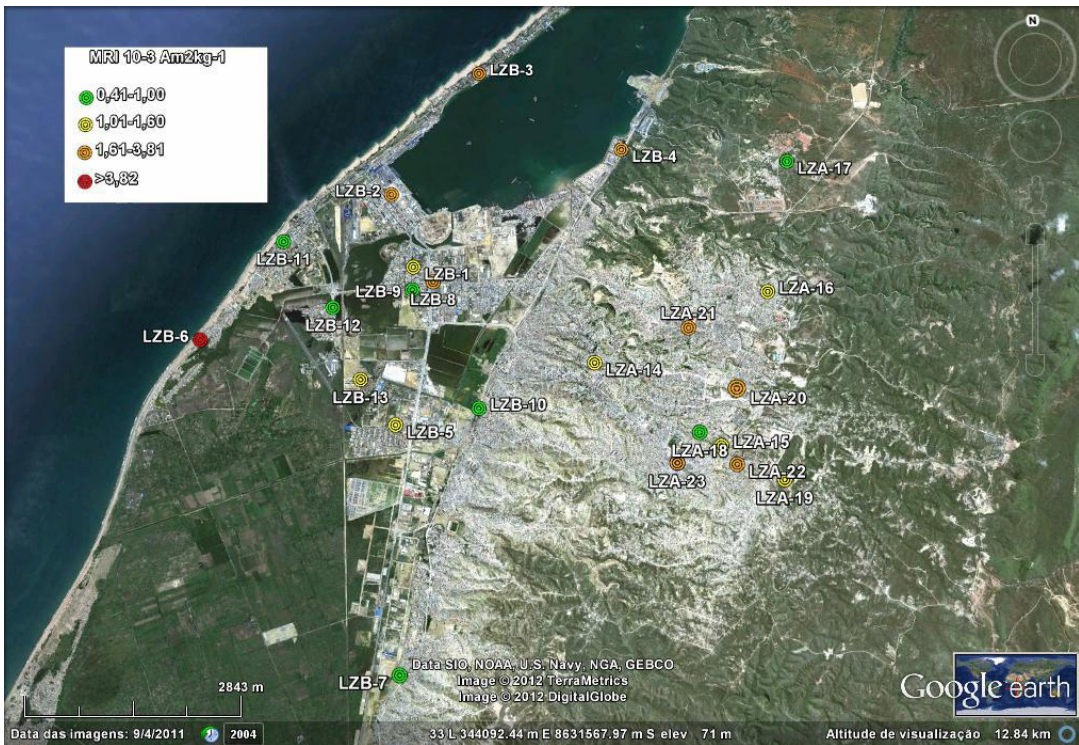


Fig. 12 - Projecção dos valores de MRI1T, por local de amostragem, na segunda campanha.

### 3.3.2 – Composição mineralógica das poeiras

Determinou-se a composição mineralógica de amostras de poeiras da cidade do Lobito, por difração de raios X (tabela 11). Escolheram-se, para o efeito, 5 amostras da “Zona Baixa” da cidade e 3 amostras da “Zona Alta”, todas da primeira campanha de amostragem, com base nos resultados das propriedades magnéticas: duas com valores elevados (LZB-2 e LZB-6), três com valores médios (LZB-3, LZA-17 e LZA-23) e três com valores baixos (LZB-11, LZB-12 e LZA-14). Os minerais principais, presentes em todas as amostras, foram os seguintes: quartzo, feldspatos, mica, argilas, calcite e dolomite. A hematite foi identificada em 4 amostras, mas é pouco abundante. Gesso e anfíbolos são vestigiais em algumas amostras. As amostras diferem, fundamentalmente, na proporção relativa dos minerais principais, como é visível nos difratogramas representados na figura 13.

A mineralogia das poeiras estará de acordo com a composição mineralógica das unidades litológicas aflorantes na região. Conglomerados, arenitos, calcários, argilitos, margas e areias de praia constituirão a principal fonte local de poeiras naturais na cidade do Lobito. Poder-se-á atribuir a presença de gesso às formações evaporíticas aflorantes a sul, na região de Benguela, e a anfíbola às rochas magmáticas que cortam as rochas metamórficas mais antigas, a leste, e, pontualmente, as rochas sedimentares da Bacia de Benguela.

Tabela 11 - Composição mineralógica de amostras de poeiras da cidade do Lobito. Abreviaturas: qtz – quartzos; feldsp – feldspatos; anf – anfíbola; cal – calcite; dol – dolomite; hem – hematite; x – presente; vest. – vestigial; ? - provável.

Amostra	Qtz	Feldsp	Mica	Argilas	Anf	Cal	Dol	Gesso	Hem
LZB-2	x	x	x	x		x	x		?
LZB-3	x	x	x	x	vest.	x	x		
LZB-6	x	x	x	x	vest.	x	x		
LZB-11	x	x	x	x		x	x	vest.	x
LZB-12	x	x	x	x		x	x	vest.	x
LZA-14	x	x	x	x		x	x	vest.	x
LZA-17	x	x	x	x		x	x		
LZA-23	x	x	x	x		x	x		

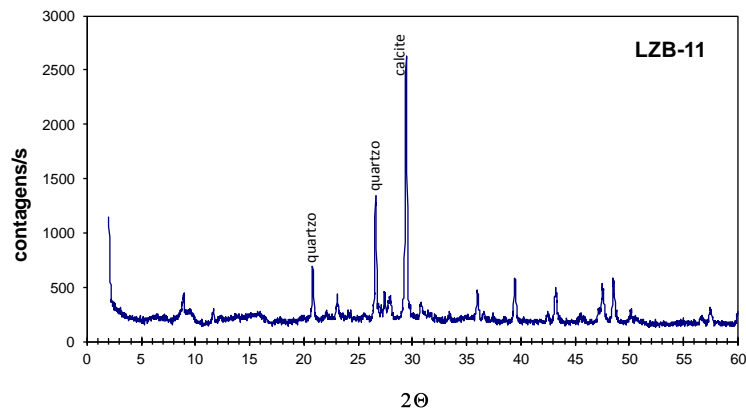
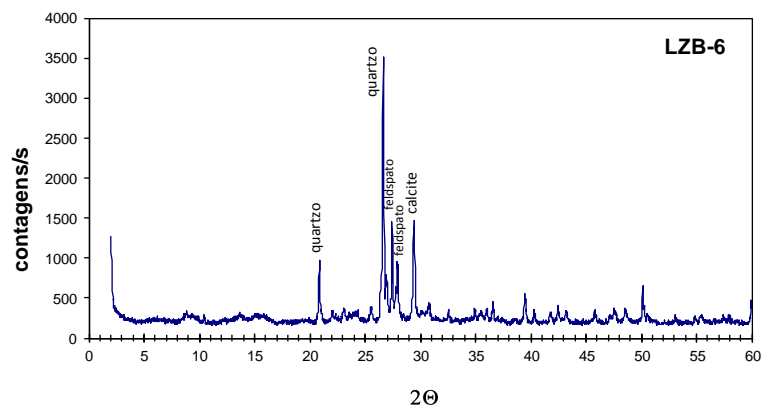


Fig. 13 – Difratomogramas das amostras LZB-6 e LZB-11.

## 4 - CONCLUSÕES

Neste estudo foram avaliados os níveis de poluição por partículas na cidade do Lobito, Angola. De acordo com os objetivos enunciados no capítulo 1, salientamos as seguintes conclusões:

- Os minerais responsáveis pela magnetização das amostras estudadas são maioritariamente do tipo magnetite/maghemite, como revelam os quocientes  $S_{-300}$ , com valores médios de 0,97, para as amostras da primeira campanha de amostragem, e 0,96, para as da segunda campanha. Estes materiais são, em grande parte, de origem antrópica e formaram-se, por exemplo, durante os processos de queima dos combustíveis fósseis, associados a atividades industriais e de tráfego rodoviário.

- A média dos valores de  $S_{-300}$  para três amostras de fuligem recolhida no tubo de escape de 3 automóveis foi 0,96. Este valor é compatível com os valores de  $S_{-300}$  para as amostras de poeira, mostrando a possibilidade de ocorrência de partículas com a mesma origem em todas as amostras estudadas.

- Para a 1ª amostragem, a suscetibilidade magnética, por massa e por dia, variou entre  $4,32E-08$  e  $1,62E-06 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}/\text{dia}$ , sendo a média  $2,43E-07 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}/\text{dia}$  e a  $\text{MRI}_{1T}$ , por massa e por dia, variou entre  $5,46E-04$  e  $1,53E-02 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}/\text{dia}$ , sendo a média  $2,72E-03 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}/\text{dia}$ .

- Para a 2ª amostragem, a suscetibilidade magnética, por massa e por dia, variou entre  $5,00E-08$  e  $1,66E-06 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}/\text{dia}$ , sendo a média  $2,00E-07 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}/\text{dia}$  e a  $\text{MRI}_{1T}$ , por massa e por dia, variou entre  $4,12E-04$  e  $1,98E-02 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}/\text{dia}$ , sendo a média  $2,30E-03 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}/\text{dia}$ .

- Os valores obtidos na primeira campanha são mais elevados em relação aos da segunda cerca de 1,20 vezes (considerando as médias da SM e da  $\text{MRI}_{1T}$ ).

- Da análise dos mapas, podemos concluir que os valores de SM e  $\text{IRM}_{1T}$  se distribuem de forma semelhante nas 2 campanhas de amostragem, destacando-se o local LZB6 onde os valores são sempre mais elevados, correspondendo ao local com maior concentração em partículas ferrimagnéticas. Este local é próximo de uma base militar.

- Para a 1ª amostragem, os valores de  $\text{MRI}_{1T}/\text{SM}$  variam entre 8,50 e  $16,35 \text{ kAm}^{-1}$ , sendo a média  $11,34 \text{ kAm}^{-1}$ . Para a 2ª, variam entre 8,25 e  $14,37 \text{ kAm}^{-1}$ , sendo a média  $11,04 \text{ kAm}^{-1}$ . Como os minerais ferromagnéticos presentes são do tipo magnetite/maghemite (estruturas ferrimagnéticas), os valores de  $\text{MRI}_{1T}/\text{SM}$  indicam uma granulometria de 5 a 8 micra

para aquelas partículas (e.g., THOMPSON & OLDFIELD, 1986). Estes valores de granulometria devem ser entendidos como indicadores, embora sejam semelhantes aos encontrados noutros trabalhos (e.g., GOMES *et al*, 2008, SANT'OVAIA *et al.*, 2012).

- A mineralogia das poeiras estará de acordo com a composição mineralógica das unidades litológicas aflorantes na região. Conglomerados, arenitos, calcários, argilitos, margas e areias de praia constituirão a principal fonte local de poeiras naturais na cidade do Lobito. Poder-se-á atribuir a presença de gesso às formações evaporíticas aflorantes a sul, na região de Benguela, e a anfíbola às rochas magmáticas que cortam as rochas metamórficas mais antigas, a leste, e, pontualmente, afloram na Bacia de Benguela.

- É importante continuar a desenvolver estudos sobre a poluição e, em particular, sobre a poluição por partículas, sobretudo tendo em atenção, por exemplo, os dados dos internamentos no Município do Lobito, que permitem concluir que, de 2006 a 2010, o número de internamentos, devido a doenças respiratórias agudas, passou de 10 421 para 22 005 casos, embora, em 2011, tenha diminuído para 19 903.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADMINISTRAÇÃO DO LOBITO (2010). Município. Historial. Consultado em 26/09/2012, em <http://www.admindolobito.com/index1.asp?qm=p&ed=8&c=47>.
- BECKWITH, P.R.; ELLIS, J.B.; REVITT, D.M.; OLDFIELD, F. (1986). Heavy-metal and magnetic relationships for urban source sediments. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 42, 67–75.
- BELL, F.G. (1998). *Environmental Geology – principles practice*. Blackwell Science Ltd., Oxford, U.K., 594 pp.
- BARBOSA, S.R.C.S. (1990). *Industrialização, Ambiente e Condições de Vida em Paulínia, SP. As Representações de Qualidade Ambiental e de Saúde para Médicos e Pacientes*. Campinas. Dissertação de mestrado (não publicado). Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, 229p.
- BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.P.; SALDIVA, P.H. (2004). *Poluição Atmosférica e seus efeitos na saúde humana*. <http://libdigi.unicamp.br/document/?view=1039> (14/10/2004).
- BUTA-NETO A. (2006). *Analyse des interactions tectonique salifère – sédimentation grés carbonatée albienne dans le bassin onshore de Benguela (marge sud angolaise)*. – Unpublished PhD Thesis, Univ. Bourgogne, Dijon, France, 180p.
- BUTLER, R.F. (1992). *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Blackwell, 16-80.
- CARVALHO, G. (1961). *Geológica do deserto de Moçâmedes (Angola). Uma Contribuição para o Conhecimento das Problemas da Orla Sedimentar de Moçâmedes*. *Memórias da Junta de Investigações do Ultramar*. 26, 1-227.
- DE MIGUEL; LLAMAS, J.F.; CHACON, E.; BERG, T.; LARSEN, S.; RØYSET, O.; VADSET, M., (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*. 31, 2733–2740.
- DEARING, J. (1999). *Environmental magnetic susceptibility – using the Bartington MS2 system*. *British Library Cataloguing in Publication Data*, Chib Publishing England, 52 p.
- DEKKERS, M.J. (1997). *Environmental magnetism: an introduction*. *Geologie in Mijnbouw*. 76, 163-182.
- DIAS, J.M.P. (2005). *Um estudo de Magnetismo Ambiental na cidade de Viseu - Aplicação ao Ensino das Ciências Ambientais*. Tese de Mestrado. (não publicada), Universidade de Coimbra, 170p.
- DONGARRÁ, G.; VARRICA, D.; SABATINO, G. (2001) – Occurrence of platinum, palladium and gold in pine needles of *pinus pinea* L. from the city of Palermo (Italy). *Applied Geochemistry*. 18, 109-116.

- FERGUSSON, J.E. (1990). The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. University of Canterbury, New Zealand, 614p.
- FLANDERS, P.J., (1999). Identifying fly ash at a distance from fossil fuel power stations. *Environmental Science and Technology* 33, 528–532.
- FLANDERS, P.J., (1994). Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment (invited). *Journal of Applied Physics* 75, 5931–5936.
- FONTOURA, A. (2003). Lobito, a sala de visitas de Angola. Consultado em 15/08/2011, em <http://lobitowebsite.com/index.php?link=menu/historia/historia>.
- GALVÃO; SILVA (1972). Notícia explicativa da folha 227-228 (Lobito). Carta Geológica de Angola, à escala 1:100 000. Direção dos Serviços de Geologia e Minas, 40p.
- GAUTAM, P.; BLAHA, H.; APPEL, E.; GHANASHYAM, N. (2004). Environmental magnetic approach towards the quantification of pollution in Kathmandu urban area, Nepal. *Physics and Chemistry of the Earth*. 29, 973–984.
- GIL, V.; PAIVA, J.; FERREIRA, A. J.; VALE, J. (2005). 12 Q – Química 12º Ano. Texto Editores, Lisboa, pp. 25-115.
- GOMES, C.S.R. (2001). Apontamentos de Megnetostratigrafia. Departamento de Ciências da Terra, F.C.T., Univ. Coimbra. Não Publicado.
- GOMES, C.S.R.; ROCHA, A.R.; REY, D.G. (2006a). Níveis de poluição por partículas com origem no tráfego rodoviário na cidade de Coimbra. Magiber IV, Livro de Resumos, Vigo, Espanha.
- GOMES, C.S.R.; NEVES, L.F.; REY, D.G. (2006b). A influência do tráfego rodoviário na qualidade do ar em meios urbanos: um estudo na cidade de Coimbra (Portugal central). *Pluris 2006*, Braga, Portugal.
- GOMES, C.R.; DINIS, A.M.; ROCHA, A.F.; GOMES, E.M.C.; NEVES, L.F. (2008). Magnetic properties and size of microscopic pollutant in the urban area of Coimbra. *Micros. Microanal.* 14, 144-145.
- GUIRAUD, M.; BUTA-NETO, A.; QUESNA, D. (2010). Segmentation and differential post-rift uplift at the Angola margin as recorded by the transform-rifted and oblique-to-orthogonal-rifted Kwanza basins. *Marine and Petroleum Geology*. 27, 1040-1068.
- HANESCH, M.; RANTITSCH, G.; HEMETSBERGER, S.; SCHOLGER, R. (2007). Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: their consideration in magnetic pollution mapping. *Science of the Total Environment*. 382, 351–363.
- HANESCH, M.; SCHOLGER, R. (2002). Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environmental Geology*. 42, 857–870.

- HANESH, M.; SCHOLGER, R.; REY, D. (2003) – Mapping of heavy metalloading in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Atmospheric Environment*. 37, 5125-5133.
- HANESH, M.; SCHOLGER, R. (2002). Monitoring of heavy metal in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environmental Geology*. 42, 857-870.
- HANSEN, L.D.; SILBERMAN, D.; FISHER, G.L. (1981). Crystalline components of stackcollected, size-fractioned coal fly ash. *Environmental Science and Technology*. 15, 1057–1062.
- HILL, M.K. (1997). *Understanding Environmental Pollution*. Cambridge University, United Kingdom, 316p.
- HOFFMANN, V.; KNAB, M.; APPEL, E. (1999). Magnetic susceptibility of roadside pollution. *Journal of Geochemical Exploration*. 66, 313-326.
- MAHER, AB.; THOMPSON, R. (1999). *Quaternary Climates. Environments and Magnetism*. University Press, Cambridge. pp. 3-47.
- MAHER, B.A.; MOORE, C.; MATZKA, J. (2008). Spatial variation in vehicle derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*. 42, 364-373.
- MANAHAN, S.E., (2000). *Environmental Chemistry*, seventh ed. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida
- MATZKA, J.; MAHER, B.A. (1999). Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates. *Atmospheric Environment*, 33, 4565-4569.
- MCELHINNY, M.W.; MCFADDEN, P.L. (2000). *Paleomagnetism: continents and oceans*. Academic Press, London, 382p.
- MENDIRATTA, S.K. (1995) – *Introdução ao electromagnetismo*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. pp. 277-285.
- MINUA, Ministério do Urbanismo e Ambiente do Governo de Angola (2006). *Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola*. Programa de Investimento Ambiental., consultado em 15/09/2012, em <http://www.eclex.org/server2.php/libcat/docs/LI/MON-083704.pdf>.
- MORENO, E.; SAGNOTTI, L.; DINARS-TURELL, J. WINKLER, A.; CASCELLA, A. (2003). Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmospheric Environment*. 37, 2967-2977.
- MUXWURTHY, R.A.; MATZKA, J.; DAVILA, A.F.; PETERSEN, N. (2003). Magnetic signature of daily sampled urban atmospheric particles. *Atmospheric Environment*. 37, 4163-4169.
- NETO, M.G.N.M. (1960). *Estratigrafia da região de entre Benguela e o Cabo de S.ta Maria (Angola)*. *Memórias e Notícias, Publ. Museu Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 49, 1-19.



- NETO, M.G.N.M. (1961). As Bacias Sedimentares de Benguela e Moçâmedes. Boletim do Serviço de Geologia e Minas Angola, 3, 63-93.
- NEVERS, D. (1995). Air Pollution Control Engineering. McGraw-Hill International Editions. Singapore. 508pp.
- ORUBU, C.O.; OMOTOR, D.G. (2011). Environmental quality and economic growth: Searching for environmental Kuznets curves for air and water pollutants in Africa. Energy Policy, 39, 4178–4188.
- PETROVSKY, E.; ELLWOOD, B.B. (1999). Magnetic monitoring of air-, land- and water-pollution. In: B.A Maher & R. Thompson (Eds.), Quaternary Climates, Environments and Magnetism. Cambridge University Press, Cambridge, 279-322.
- REPARTIÇÃO DE ESTUDO E PLANEAMENTOS (1 de outubro de 2012). Dados da distribuição da população por bairros, povoações e aldeias. Governo da Província de Benguela, Administração Municipal do Lobito, 5 pp.
- SANT'OVAIA, H.; LACERDA, M.J.; GOMES, C. (2012). Particle pollution - An environmental magnetism study using biocollectors located in northern Portugal. Atmospheric Environment, 61, 340-349.
- SCHWELA, J. (2002). Pollution and human health in developing countries. Journal of Human Environmental System 6, 1–7.
- SHILTON, V.F.; BOOTH, C.A.; SMITH, J.P.; GIESS, P.; MITCHELL, D.J.; WILLIAMS, C.D. (2005). Magnetic properties of urban street dust and their relationship with organic matter content in the West Midlands, UK. Atmospheric Environment, 39, 3651-3659.
- SHU, D.-G., CONWAY MORRIS, S., HAN, J., CHEN, L., ZHANG, X.-L., ZHANG, Z.-F., LIU, H.-Q., LI, Y.,; LIU, J.-N. (2001). Primitive deuterostomes from the Changjiang Lagerstätte (Lower Cambrian, China). Nature, 414, 419–424.
- SILVA, J.B.C.; HOHMANN, G.W (1983). Nonlinear magnetic inversion using a random search method: Geophysics, 48, 1645–1658.
- SIMÕES, T.S.; QUEIRÓS, M.A.; SIMÕES, O.S. (2001). Técnicas laboratoriais de Química, Bloco III. Porto Editora, Porto. pp. 12-16 e 19-24.
- SZÖNYI, M.; SAGNOTTI, L.; HIRT, A.M. (2008). A refined biomonitoring study of airborne particulate matter pollution in Rome, with magnetic measurements of Quercus ilex tree leaves. Geophysical Journal International. 173, 127-141.
- TAVARES, D.M.; LUCENA, L.S.; SCHOTS, H.A.; MUNDIM, E.C.; HERRMANN, F.J. (2005). The deconvolution of seismic data as a fluctuation analysis, Integr. Comput. Aided Eng. 12, 25–42.
- THOMPSON, R; OLDFIELD, F. (1986). Environmental Magnetism. Allen & Unwin, London. 227p.

URBAT, M.; LEHNDORF, F.; SCHAWARK, L. (2004). Biomonitoring of air quality in the Cologne conurbation using pine needles as a passive sampler – Part I: magnetic properties. *Atmospheric Environmental*. 38, 3781-3792.

VEROSUB, K.L.; ROBERTS, A.P. (1995). Environmental magnetism: past, present, and future. *Journal of Geophysical Research*. 100, 2175-2192.