



225844



UNIVERSIDADE DE AVEIRO  
SERVIÇOS DE DOCUMENTAÇÃO

**Carlos Emanuel M. F. Baptista** **Análise comparativa da qualidade do ar em Portugal**

UA-SD



293230



**Carlos Emanuel M. F. Baptista**     **Análise comparativa da qualidade do ar em Portugal**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Célia Alves, Equiparada a Investigadora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

**Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**

Professora associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro  
(Directora de Curso)

**Doutora Célia dos Anjos Alves**

Equiparada a Investigadora Auxiliar do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da  
Universidade de Aveiro (Orientadora)

**Doutora Maria da Conceição Machado Alvim Ferraz**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto

## **agradecimentos**

É sabido que a elaboração de uma tese tem um cariz individual. Contudo, este trabalho não teria sido possível sem a colaboração e ajuda de certas pessoas.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à orientadora desta dissertação, Doutora Célia Alves, do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, da Universidade de Aveiro, pelo interesse, incentivos, ensinamentos e paciência demonstrados ao longo da realização da mesma.

Um agradecimento de uma forma geral a todos os que representam a Agência Portuguesa do Ambiente, pelo apoio logístico e material.

Finalmente, a toda a minha família, sobretudo aos pais, amigos e à Mara pela paciência e motivação que sempre me deram durante o desenvolvimento desta dissertação.

Esta investigação foi realizada no âmbito do projecto “Impactos do aerossol atmosférico na saúde humana” (POCI/AMB/55878/2004).

**palavras-chave**

Estações Rurais, Estações Industriais, Estações Urbanas, Índices da Qualidade do Ar, Matéria Particulada, HYSPLIT, Lisboa e Vale do Tejo, Excedências, Valores Limite.

**resumo**

O presente trabalho propõe-se analisar os níveis dos poluentes atmosféricos,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  e  $O_3$ , monitorizados em variadas estações de tipo rural, urbano e industrial em Portugal no ano de 2006. Os dados das concentrações medidas foram tratados de modo a poderem ser comparados com a legislação em vigor (Decreto-Lei nº111/2002 de 16 de Abril, Decreto-Lei nº320/2003 de 20 de Dezembro e Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio). Este trabalho focou particularmente a área de Lisboa e Vale do Tejo, tendo sido efectuada a comparação da qualidade do ar nesta área metropolitana com a monitorizada noutros locais do país. Efectuou-se também o cálculo de índices de poluição do ar (API) e de qualidade do ar (AQI), tendo-se comparado as estações de Lisboa com algumas cidades Europeias. Concluiu-se que para os poluentes  $PM_{10}$ ,  $NO_2$  e  $CO$  a estação que registou concentrações mais elevadas foi a urbana de tráfego da Avenida da Liberdade. Juntamente com Entrecampos, esta estação apresenta os índices de qualidade do ar mais elevados, embora se situem abaixo dos reportados para algumas metrópoles de outros países da Europa. A matéria particulada  $PM_{2.5}$  registou níveis mais elevados na estação industrial de Estarreja/Teixugueira. Nesta estação, a par com as estações industriais do Lavradio e Escavadeira, registaram-se os maiores valores de concentração para o  $SO_2$ . No que diz respeito ao  $O_3$ , este obteve um registo máximo na estação rural e montanhosa de Lamas de Olo.

**keywords**

Rural Areas, Industrial Areas, Urban Areas, Air Quality Index, Particulate Matter, HYSPLIT, Lisboa and Vale do Tejo, Exceedences, Limit Value.

**abstract**

The present work aims to analyse the atmospheric pollutants  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ , and  $O_3$ , measured in multiple urban, rural and industrial sites in Portugal during the year of 2006. Data were mathematically treated in a way to be able to compare with the legislation in force (Decree-Law n<sup>o</sup>111/2002 of 16 of April, Decree-Law n<sup>o</sup>320/2003 of 20 of December and Directive 2008/50/CE of 21 of May). This work was mainly focused on the Lisbon and Vale do Tejo region, whose air quality have been compared with those of other sites throughout the country. Air pollution (API) and air quality (AQI) indices have also been calculated and a comparison between Lisbon and other European cities have been made. It was concluded that for the pollutants  $PM_{10}$ ,  $NO_2$  and  $CO$ , the station that registered highest concentrations was the traffic urban site of Avenida da Liberdade. Together with Entrecampos, this station presented the highest air quality indices; nevertheless, the Lisbon indices are lower than those reported for some other European cities.  $PM_{2.5}$  presented higher concentrations at the industrial site of Estarreja/Teixugueira. This station, together with the industrial sites of Lavradio and Escavadeira registered the highest levels of  $SO_2$ . As far as  $O_3$  is concerned, the maximum level was registered in the mountainous and rural station of Lamas de Olo. .

# ÍNDICE

I.	LISTA DE FIGURAS -----	ii
II.	LISTA DE TABELAS-----	iv
III.	LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS-----	vi
1.	INTRODUÇÃO .....	7
1.1	Poluição atmosférica .....	7
1.2	Poluentes atmosféricos.....	9
1.2.1	Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ) .....	12
1.2.2	Dióxido de Azoto (NO <sub>2</sub> ).....	12
1.2.3	Matéria Particulada (PM) .....	13
1.2.4	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	14
1.2.5	Monóxido de Carbono (CO).....	14
1.3	Índices .....	15
1.3.1	Definição .....	15
1.3.2	Índices aplicados nos vários países.....	16
1.4	Distribuição de frequências.....	18
1.5	Objectivos .....	21
2.	PARTE EXPERIMENTAL.....	23
2.1	Caracterização geral da área estudada.....	23
2.2	Metodologia de Análise .....	24
2.2.1	Dados Ambientais .....	24
2.2.2	Análise de dados.....	27
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
3.1	Concentração de poluentes nas várias estações.....	29
3.1.1	Partículas PM <sub>10</sub> .....	29
3.1.2	Partículas PM <sub>2,5</sub> .....	38
3.1.3	PM <sub>2,5</sub> versus PM <sub>10</sub> .....	45
3.1.4	Monóxido de Carbono.....	45
3.1.5	Dióxido de Azoto .....	49
3.1.6	Ozono .....	52
3.1.7	Dióxido de Enxofre .....	56
3.2	Índices de Qualidade do Ar.....	59
3.3	Distribuição de Frequências .....	65
4.	CONCLUSÕES.....	78
5.	REFERÊNCIAS .....	81

# I. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DA ZONA DE LISBOA E VALE DO TEJO - FONTE ( <a href="http://www.in-loco.com/POR_MAPLISVTEJO.GIF">HTTP://WWW.IN- LOCO.COM/POR_MAPLISVTEJO.GIF</a> ) .....	24
FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DA MÉDIA POR DIAS DA SEMANA PARA PARTÍCULAS $PM_{10}$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) .....	30
FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA HORÁRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE $PM_{10}$ NALGUMAS ESTAÇÕES. ....	30
FIGURA 4 – COMPARAÇÃO DA MÉDIA ANUAL DE PARTÍCULAS $PM_{10}$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) DA ESTAÇÃO DE ENTRECAMPOS COM A DE OUTRAS CIDADES. ....	32
FIGURA 5- CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE $PM_{10}$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) PARA DIVERSAS ESTAÇÕES.....	33
FIGURA 6: VARIAÇÃO EM PERCENTAGEM DAS DIVERSAS RETRO-TRAJECTÓRIAS AO LONGO DO ANO DE 2006. ....	34
FIGURA 7: RETRO-TRAJECTÓRIAS A TERMINAR EM LISBOA NO DIA 4 DE JULHO DE 2006. ....	35
FIGURA 8: RETRO-TRAJECTÓRIAS A TERMINAR EM LISBOA NO DIA 13 DE JANEIRO DE 2006. ....	35
FIGURA 9- MÉDIAS POR DIA DA SEMANA PARA $PM_{2,5}$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ). ....	38
FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA HORÁRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE $PM_{2,5}$ EM VÁRIAS ESTAÇÕES. ....	39
FIGURA 11 – COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL DE PARTÍCULAS $PM_{2,5}$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) DA ESTAÇÃO DE ENTRECAMPOS COM OUTRAS CIDADES. ....	41
FIGURA 12: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE $PM_{2,5}$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) NAS ESTAÇÕES DE ENTRECAMPOS E OLIVAIS .....	42
FIGURA 13: RETRO-TRAJECTÓRIAS A TERMINAR EM LISBOA PARA O DIA 20 DE DEZEMBRO. ....	42
FIGURA 14: CONCENTRAÇÕES DE CO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) POR DIAS DA SEMANA PARA VÁRIAS ESTAÇÕES.....	47
FIGURA 15 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA HORÁRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE CO EM VÁRIAS ESTAÇÕES.....	48
FIGURA 16: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS DE $\text{NO}_2$ EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ EM VÁRIAS ESTAÇÕES.....	51
FIGURA 17 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA HORÁRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE $\text{NO}_2$ NALGUMAS ESTAÇÕES.....	51
FIGURA 18: CONCENTRAÇÃO DIÁRIA DE $\text{O}_3$ EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ EM DIVERSAS ESTAÇÕES. ....	53
FIGURA 19 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA HORÁRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE $\text{O}_3$ NAS VÁRIAS ESTAÇÕES.....	54
FIGURA 20: VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $\text{O}_3$ AO LONGO DO ANO NA ESTAÇÃO DE ENTRECAMPOS COM MÉDIA MÓVEL E OCTO-HORÁRIA.....	56
FIGURA 21: VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $\text{O}_3$ NA ESTAÇÃO DE ENTRECAMPOS PARA JUNHO E OUTUBRO. .....	56
FIGURA 22: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS POR DIAS DA SEMANA PARA O $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ ) EM VÁRIAS ESTAÇÕES. ....	57
FIGURA 23 – EVOLUÇÃO DA MÉDIA HORÁRIA DAS CONCENTRAÇÕES DE $\text{SO}_2$ NALGUMAS ESTAÇÕES. ....	58
FIGURA 24: ÍNDICES AQI E API PARA DIVERSAS ESTAÇÕES.....	61
FIGURA 25- ÍNDICES AQI EM 2006 PARA AS VÁRIAS CIDADES EUROPEIAS (CITEAIR, 2007). ....	64
FIGURA 26- SUB-ÍNDICES AQI EM 2006 PARA DIVERSOS POLUENTES EM VÁRIAS CIDADES EUROPEIAS (CITEAIR, 2007). ....	65
FIGURA 27 – VÁRIOS TIPOS DE GRÁFICOS OBTIDOS PARA A CONCENTRAÇÃO DE $PM_{2,5}$ NA ESTAÇÃO DOS OLIVAIS. ....	74



FIGURA 28- ALGUMAS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA SELECCIONADAS QUE SE AJUSTAM ÀS CONCENTRAÇÕES DE PM <sub>2,5</sub> MEDIDAS NALGUMAS ESTAÇÕES. ....	76
FIGURA 29- ALGUMAS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA SELECCIONADAS QUE SE AJUSTAM ÀS CONCENTRAÇÕES DE PM <sub>10</sub> MEDIDAS NALGUMAS ESTAÇÕES. ....	77

## II. LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PROCESSOS GERADORES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E POLUENTES LIBERTADOS PELAS RESPECTIVAS FONTES (ADAPTADO DE ALVES, 1996) .....	11
TABELA 2. CONCENTRAÇÕES E ÍNDICES USADOS PARA A CIDADE DE PARIS, ROMA, LEICESTER E ROTERDÃO (VAN DEN ELSHOUT <i>ET AL.</i> , 2008). .....	17
TABELA 3: DIFERENTES TIPOS DE ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DE LISBOA E VALE DO TEJO COM OS RESPECTIVOS POLUENTES MEDIDOS. ....	26
TABELA 4. EQUIPAMENTO/MÉTODO DE MEDIÇÃO DOS VÁRIOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORIZADOS NA REDE DE QUALIDADE DO AR.....	27
TABELA 5- NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS, VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DIÁRIO EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ PARA $\text{PM}_{10}$ .....	31
TABELA 6- MATRIZ DE CORRELAÇÕES ENTRE A MATÉRIA PARTICULADA $\text{PM}_{10}$ EM VÁRIAS ESTAÇÕES.....	37
TABELA 7- NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS, VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DIÁRIO EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ EM DIVERSAS ESTAÇÕES PARA $\text{PM}_{2,5}$ . ....	40
TABELA 8- MATRIZ DE CORRELAÇÕES ENTRE A MATÉRIA PARTICULADA $\text{PM}_{2,5}$ E AS VÁRIAS ESTAÇÕES.....	44
TABELA 9- RÁCIO $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10} \pm$ DESVIO PADRÃO E CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE PARÊNTESES PARA VÁRIAS ESTAÇÕES.....	45
TABELA 10- NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS, VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DIÁRIO EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ NAS VÁRIAS ESTAÇÕES PARA CO. ....	49
TABELA 11- NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS, VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DIÁRIO EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ EM DIVERSAS ESTAÇÕES PARA $\text{NO}_2$ . ....	52
TABELA 12- NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS, VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DIÁRIO EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ EM VÁRIAS ESTAÇÕES PARA O $\text{O}_3$ .....	55
TABELA 13- NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS, VALOR MÁXIMO E MÍNIMO DIÁRIO EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ NAS VÁRIAS ESTAÇÕES PARA $\text{SO}_2$ .....	59
TABELA 14: VALOR API E RESPECTIVAS CONCENTRAÇÕES PADRÃO.....	60
TABELA 15- NÍVEIS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COM RESPECTIVAS LEITURAS AQI (ADAPTADO DE AIRNOW, 2007).....	62
TABELA 16- NÍVEIS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COM RESPECTIVAS LEITURAS API (ADAPTADO DE GOVHK, 2007).....	62
TABELA 17- MÉDIAS ANUAIS PARA DIVERSOS POLUENTES NAS RESPECTIVAS ESTAÇÕES EM $\mu\text{G}/\text{M}^3$ .....	63
TABELA 18- ÍNDICES PARA CADA POLUENTE DE NUMA DADA ESTAÇÃO E RESPECTIVA MÉDIA. ....	63
TABELA 19- DESCRIÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM BASE NO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR ANUAL (ADAPTADO DE CITEAIR, 2007) .....	64
TABELA 20 – PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE AJUSTADAS AOS VALORES DE $\text{PM}_{10}$ MEDIDOS NA ESTAÇÃO DOS OLIVAIS (PARÂMTERO DE FORMA - $\gamma$ OU $\delta$ PARÂMTERO DE ESCALA - $\lambda$ OU $\beta$ , PARÂMTERO DE LOCALIZAÇÃO - $\xi$ OU $\mu$ ). ....	66

TABELA 21 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS QUE PERMITEM AVALIAR A QUALIDADE DO AJUSTE REALIZADO PARA CADA FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO .....	68
TABELA 22- TESTES DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE PARA A FUNÇÃO LOG-GAMMA.....	72
TABELA 23- DISTRIBUIÇÕES QUE MELHOR SE AJUSTAM AOS VALORES DE $PM_{10}$ E $PM_{2,5}$ E RESPECTIVOS PARÂMETROS PARA DIVERSAS ESTAÇÕES. ....	75

### III. LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AQI	<i>Air Quality Index</i>
<i>ap.</i>	citado por (do latim <i>apud</i> )
API	<i>Air Pollution Index</i>
CO	Monóxido de carbono
DL	Decreto de Lei
<i>e.g.</i>	por exemplo (do latim <i>exempli gratia</i> )
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
<i>et al.</i>	e outros (do latim <i>et alii</i> )
etc.	e as demais coisas (do latim <i>et cetera</i> )
<i>i.e.</i>	isto é (do latim <i>id est</i> )
NO	Óxido Nítrico
NO <sub>2</sub>	Dióxido de azoto
O <sub>3</sub>	Ozono
OMS	Organização Mundial da Saúde
PM <sub>10</sub>	Matéria particulada com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 10 µm
PM <sub>2.5</sub>	Matéria particulada com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 2,5 µm
SD	Desvio padrão
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
TRI	Tracto respiratório inferior
TRS	Tracto respiratório superior
USA	<i>United States of America</i>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Poluição atmosférica

Desde que foi definida como uma preocupação, o Homem tem-se interessado pela poluição do ar, primeiro cada país tentando resolver os seus próprios problemas, até ao reconhecimento da poluição atmosférica como problema transfronteiriço. Pelo Decreto-Lei nº 45/80, de 12 de Julho, Portugal aprovou a Convenção das Nações Unidas sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância assinada em Genebra a 13 de Novembro de 1973. O artigo 1º, alínea a) refere: 'A expressão "poluição atmosférica" significa a introdução na atmosfera pelo Homem, directa ou indirectamente, de substâncias ou de energia que têm uma acção nociva, de forma a pôr em perigo a saúde do Homem, a prejudicar os recursos biológicos e os ecossistemas, a deteriorar os bens materiais e a pôr em risco ou a prejudicar os valores estéticos e as outras legítimas utilizações do ambiente, sendo a expressão "poluentes atmosféricos" entendida no mesmo sentido' (*a.p.* Borrego, 1995).

Os efeitos da poluição atmosférica são numerosos e diversos, estendendo-se dos toxicológicos aos económicos. Pessoas, materiais, plantas e animais podem ser indistintamente molestados pelos efeitos de poluentes quer directa, quer indirectamente. A poluição do ar é, portanto, um fenómeno complexo, para o qual há que considerar um grande número de parâmetros, tais como a natureza exacta dos poluentes, as quantidades realmente absorvidas, os factores meteorológicos, entre outros. Para proteger a atmosfera, os governos promovem apólices e programas nas áreas de energia, ambiente, ruído e transportes eficientes, controlo industrial de poluição e gestão de produtos tóxicos e outros resíduos perigosos (Özden *et al.*, 2008). Muitos países e organizações internacionais, como a EPA (*Environmental Protection Agency*), a OMS

(Organização Mundial de Saúde), a União Europeia através da Directiva-Quadro da Qualidade do Ar, o Banco Mundial, etc., publicaram os seus próprios padrões para este propósito (Lim *et al.*, 2005).

A poluição atmosférica causa vários impactes a nível da saúde humana, quer a curto quer a longo prazo (Özden *et al.*, 2008). É resultado de emissões de uma multiplicidade de fontes, principalmente, estacionárias, de queima de combustíveis fósseis, quer a nível industrial, quer a nível doméstico e de emissões de veículos a gasóleo e a gasolina (Brulfert *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2006). Os impactes não são apenas a nível da população humana, como também nos ecossistemas, podendo causar danos em plantas e redução de produtividade nas colheitas agrícolas (Fenger, 1999; Riga-Karandinos e Saitanis, 2005).

Segundo a OMS, os habitantes de um típico centro urbano podem estar expostos a cerca de 40 compostos ou grupos de produtos químicos (OMS, 2000a), sendo que os efeitos associados a este tipo de poluição podem ser atribuídos a uma exposição a curto prazo (de poucos minutos a 24 h) ou a longo prazo (meses, anos ou décadas). Os vários poluentes podem ter uma relação exposição – resposta também diferente (Cairncross *et al.*, 2006). Segundo vários investigadores (*e.g.* Maynard, 1999; Brunekreef e Holgate, 2002; Curtis *et al.*, 2006), esta exposição conduz a um aumento do número de internamentos por doenças respiratórias, cardiovasculares, crises de asma ou bronquite. Justifica-se, assim, a importância dos estudos de monitorização com o intuito de melhorar a gestão da qualidade do ar, detectar tendências a longo prazo e observar a eficácia de regulamentos de controlo (Özden *et al.*, 2008). Em países desenvolvidos, onde mais de 75% da população vive nas cidades, o poder económico permite um controlo mais efectivo e preventivo contra os impactes dos poluentes. Prevenção e controlo são conceitos que mesmo em países em desenvolvimento estão a ganhar força e importância, materializando-se sob a forma de regulamentos estritos (Fang e Chen, 1996; O'Malley, 1999; Bailey e Solomon, 2004; Mao *et al.*, 2005). De facto, tem havido um aumento da preocupação a nível urbano sobre o impacto dos poluentes na população (Wolf, 2002; Agrawal *et al.*, 2003; Vargas, 2003; Brajer *et al.*, 2006; Oudinet *et al.*, 2006). No entanto, a poluição atmosférica em muitas das zonas urbanas de países em desenvolvimento é ainda um problema ambiental muito sério, e muitas cidades do mundo estão expostas a níveis elevados de poluentes. Há várias razões para essas mudanças negativas na qualidade do ar em países em desenvolvimento, nomeadamente

o tráfego rodoviário, actividades mineiras, indústria, centrais eléctricas, actividades comerciais, um aumento rápido de população e crescimento urbano e industrial mal planeados e sem ter em conta as características naturais, tais como as condições meteorológicas e topográficas da região. Actualmente, 35% da população vive em cidades de países em desenvolvimento. Esta percentagem corresponde ao dobro da que vivia nas zonas urbanas há 50 anos atrás (Baldasano *et al.*, 2003). E não é fácil, para países em desenvolvimento, prevenir e controlar as emissões sob a alçada de estritos regulamentos internacionais e com uma economia tão limitada (Özden *et al.*, 2008). A título de exemplo, na Turquia, um estudo revelou a incorrecta urbanização e industrialização como importantes factores para a poluição do ar. Além dos factores meteorológicos e topográficos, a poluição do ar também pode ser influenciada pela fraca qualidade dos combustíveis fósseis e técnicas de combustão ineficientes, poucas zonas verdes e o aumento de veículos a motor e, por consequência, um aumento do tráfego (Döğeroğlu, 2002). Contudo, tal como já foi referido, não só num ambiente urbano se registam níveis elevados de poluição atmosférica. Medições realizadas em zonas não urbanas apresentavam valores de concentração elevados, nomeadamente de ozono (O<sub>3</sub>) (Seinfeld e Pandis, 1998). É também sabido que as plantas ornamentais, árvores situadas em zonas urbanas, zonas agrícolas, florestas e outros ecossistemas adjacentes às áreas urbanas estão expostas a poluentes, tais como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> (Riga-Karandinos e Saitanis, 2005)

## **1.2 Poluentes atmosféricos**

Por definição, um poluente atmosférico é qualquer substância que possa prejudicar seres humanos, animais, vegetação ou materiais. No que aos seres humanos diz respeito, a poluição atmosférica pode contribuir para um aumento da mortalidade ou de doenças graves (Atkinson, 2000, Katsouyanni, 2003).

Os poluentes atmosféricos, quando emitidos por uma variedade de fontes, são sujeitos a mistura, dispersão, transporte e a uma série de reacções químicas e transformações físicas. Apesar de algumas actividades físicas como vulcões, fogos, etc., emitirem vários poluentes, são as actividades antropogénicas que maior dano ambiental

causam. Alguns poluentes químicos podem ser emitidos por acidente, mas um grande número é emitido por indústrias ou outras actividades, podendo causar efeitos adversos na saúde humana e no ambiente. A principal mudança na composição da atmosfera é devida principalmente à queima de combustíveis fósseis usada na geração e transporte de energia. A determinação de que se uma substância põe ou não em risco a saúde humana, tem como base estudos clínicos, epidemiológicos e/ou estudos com animais que demonstram a exposição de uma substância associada aos efeitos na saúde. “Risco” é a probabilidade de um efeito nocivo poder ocorrer, no contexto de saúde humana (Kampa e Castanas, 2007). Na Tabela 1 encontra-se um pequeno resumo das várias fontes e agentes poluentes.



**Tabela 1: Processos geradores de poluição atmosférica e poluentes libertados pelas respectivas fontes (adaptado de Alves, 1996)**

Categoria	Fonte	Processo gerador de poluição	Agentes poluentes
Fontes naturais	Solo	Erosão eólica, acção climática, decomposições de resíduos de origem animal ou vegetal (cadáveres, dejectos, etc.).	Partículas minerais de argila, óxidos metálicos, sílica, partículas orgânicas de natureza vegetal e animal, gases (CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , substâncias aromáticas complexas)
	Plantas	Produção e emissão de partículas e gases.	Grãos de pólen, esporos de bolores e leveduras, compostos orgânicos voláteis
	Vulcões	Erupções, emanações.	Partículas, gases, vapores
Fontes artificiais industriais	Centrais termoeléctricas	Transporte, depósito, preparação dos combustíveis, sobretudo os que têm impurezas e incombustíveis.	Poeiras de carvão, cinzas, fumo e certas impurezas sólidas, tóxicas, compostas de: As, F, etc, gases (CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S), hidrocarbonetos policíclicos)
	Complexos siderúrgicos	Combustão, transporte, depósito, preparação, fusão e refinação do material e do metal, combinações ou ligas com outros metais	Poeiras de mineral, pós de Fe e óxido de ferro, SO <sub>2</sub> , Mn, fenóis, gases (CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S), hidrocarbonetos policíclicos)
	Fábricas de metalurgia não ferrosa	Preparação, fundição e refinação do mineral dos metais não-ferrosos, combinações ou ligas, fusão e vazamento.	Poeiras, vapores e óxidos metálicos de Pb, Zn, Cu, As, Sn, Cd, Hg.
	Fábricas de cimento	Transporte, depósito, preparação das matérias-primas, combustão e moagem do clínquer, ensacar e transporte do cimento	Poeiras de matérias-primas, combustíveis, materiais e cimentos contendo por vezes: F, SiO <sub>2</sub> , etc.).
	Outras indústrias de materiais de construção: calcário, magnésio, gesso, amianto, cerâmica, materiais refractários, etc.	Transporte, moagem, fabricação, combustão.	Poeiras tóxicas ou não tóxicas, cancerígenas, etc. (alcalis, F, SiO <sub>2</sub> , amianto)
	Fábricas de produtos químicos inorgânicos	Produtos de ácidos (clorídrico, fosfórico, azótico, sulfúrico), cloro, alcalis (hidróxido de Sódio, de potássio, de amoníaco), adubos minerais (azotados e fosfatos)	Evacuação de gases (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , Cl, HF, CS <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S), vapores (HCl, NO <sub>2</sub> , H, NH <sub>3</sub> ), partículas (fluoretos, poeiras não tóxicas)
	Indústria de produtos químicos orgânicos: corantes, pesticidas, detergentes, farmacêuticos, borracha.	Refinação do petróleo e obtenção de produtos do petróleo. Reacções e tratamentos químicos variados, depósito, transporte.	Vapores, gases, partículas (hidrocarbonetos solventes, éteres, álcoois, fenóis, etc.)
	Indústria de celulose e papel	Transporte, moagem, produção das pastas, branqueamento.	Poeiras, SO <sub>2</sub> , Cl.
Indústrias alimentares e de produtos animais (curtumes)	Transporte, depósito, tratamento das matérias-primas intermédias e produtos acabados	Partículas, substâncias aromáticas.	
Incineração de resíduos	Creatórios	Transporte, depósito, secagem, combustão	Partículas, substâncias aromáticas, fumo, etc.
Transportes	Veículos automóveis	Depósitos de combustível, carters, carburadores, escapes.	CO, CO <sub>2</sub> , hidrocarbonetos, NO <sub>2</sub> , PB, partículas de fumo, aldeídos, hidrocarbonetos cancerígenos
	Locomotivas	Combustão de combustível inferior com resíduos ou combustão incompleta	Fumos, cinzas, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CO, hidrocarbonetos.
	Navios	Combustão de combustível inferior com resíduos ou combustão incompleta	Fumos, cinzas, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CO, hidrocarbonetos.
	Aviões	Combustão de diferentes combustíveis superiores em motores e gasolina ou turbinas a gás.	Compostos voláteis, hidrocarbonetos, óxidos de azoto, aldeídos.
Fontes domésticas	Instalações de aquecimento individuais e colectivas	Combustão variada de combustíveis mais ou menos impuros.	Fumos, cinzas, SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO,

### 1.2.1 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO<sub>2</sub>)

O dióxido de enxofre é um produto primário da queima de combustíveis fósseis que pode se agrupado com os aerossóis e partículas, formando um grupo complexo e distinto de poluentes atmosféricos associados a diversos efeitos adversos na saúde, incluindo morbidade respiratória a curto prazo ou mesmo a morte (Katsouyanni *et al.*, 1997). O SO<sub>2</sub> pode provocar constrição brônquica em adultos saudáveis e adultos com asma, mas estudos recentes descobriram que o poluente (a uma concentração de 200 ppb) e os seus produtos de reação (ácido sulfúrico 200 mg/m<sup>3</sup> e bissulfato de amônio 2000 mg/m<sup>3</sup>) não causam sintomas significantes em indivíduos saudáveis ou com asma (Horstman, 1986; Tunnicliffe, 2003).

Dos indicadores principais de qualidade de ar, o SO<sub>2</sub> mantém, globalmente, uma tendência a diminuir com exceção para algumas cidades asiáticas e centro-americanas (Fenger, 1999; Streets *et al.*, 2000; Baldasano *et al.*, 2003).

### 1.2.2 DIÓXIDO DE AZOTO (NO<sub>2</sub>)

Os óxidos de azoto (NO e NO<sub>2</sub>) são resultado da queima de combustíveis fósseis (Schnitzhofer *et al.*, 2008). São emitidos como NO que rapidamente reage com o ozono ou radicais na atmosfera formando o NO<sub>2</sub>. O ozono, na camada atmosférica mais baixa, é formado por várias séries de reações envolvendo o NO<sub>2</sub> e compostos orgânicos voláteis, processo este iniciado pela luz solar (Kampa e Castanas, 2007). As principais fontes antropogênicas são a queima móvel ou estacionária.

Uma extensiva literatura examinou a ligação entre a exposição ao NO<sub>2</sub>, a duração desta exposição e os efeitos respiratórios adversos causados em populações susceptíveis, mas os resultados foram inconclusivos (Belanger *et al.*, 2006). Há recentes evidências que sugerem que crianças asmáticas ou grupos de risco propensos ao desenvolvimento da asma são mais sensíveis aos efeitos de uma exposição ao NO<sub>2</sub> que a restante população (van Strien *et al.*, 2004; Belanger *et al.*, 2006). Apesar deste poluente manter geralmente níveis muito próximos dos tabelados pela OMS, os níveis

são aproximadamente três vezes mais elevados em cidades como Kiev, Beijing e Guangzhou (Oduyemi e Davidson, 1998; Fenger, 1999; Baldasano *et al.*, 2003; Han e Naeher, 2006).

### 1.2.3 MATÉRIA PARTICULADA (PM)

Matéria particulada (PM) é o termo genérico usado para um tipo de poluente atmosférico constituído por uma complexa e variada mistura de partículas suspensas no ar. Estas variam em tamanho, composição e são produzidas por uma variedade de processos naturais ou antropogénicos (Poschl, 2005). As maiores fontes de partículas são fábricas, centrais eléctricas, incineradoras, veículos a motor, actividades de construção, incêndios e tempestades de poeiras (Uysal e Schapira, 2003; Ghio e Huang, 2004). O tamanho destas partículas varia, tendo sido definidas várias categorias: (i) partículas ultra-finas, com um diâmetro aerodinâmico inferior a  $0,1 \mu\text{m}$ ; (ii) partículas finas, com diâmetro inferior a  $1 \mu\text{m}$ ; (iii) partículas grosseiras com um diâmetro superior a  $1 \mu\text{m}$ . É de salientar que a concentração da PM é normalmente expressa em microgramas por metro cúbico de ar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O tamanho das partículas determina o local no tracto respiratório onde se vão depositar: as  $\text{PM}_{10}$  depositam-se sobretudo no tracto respiratório superior, enquanto as partículas finas e ultrafinas conseguem atingir os alvéolos pulmonares (Uysal e Schapira, 2003; Ghio e Huang, 2004).

Os constituintes maioritários deste poluente são sulfatos, nitratos, amoníaco, cloratos, carbono elementar e carbono orgânico (Fenger, 1999; Baldasano *et al.*, 2003; Han e Naeher, 2006).

As partículas representam um grave problema ambiental nomeadamente em quase todos os países da Ásia, onde nalgumas cidades as concentrações chegam a exceder os  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Fenger, 1999; Baldasano *et al.*, 2003; Han e Naeher, 2006). Recentemente foi sugerido que por cada aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas finas com origem em emissões automóveis há um aumento aproximado de 3% na taxa de mortalidade, enquanto por partículas finas com origem em queima de carvão o valor é apenas de 1% (Laden *et al.*, 2000).

#### **1.2.4 OZONO (O<sub>3</sub>)**

É formado pela reacção dos raios solares com os óxidos de azoto e os compostos orgânicos voláteis (COVs). É classificado como sendo um poluente secundário, isto é, não é emitido directamente por uma fonte de combustão. É um poluente que tem variações sazonais, apresentando geralmente valores mais elevados no Verão e mais baixos no Inverno.

Desde o século passado os níveis de O<sub>3</sub> na troposfera duplicaram (Vingarzan, 2004). É de salientar que as concentrações médias em várias regiões da Europa estão acima dos limites tabelados pela OMS e EPA, demonstrando que é um problema global (Fenger, 1999; Guicherit e Roemer, 2000; Baldasano *et al.*, 2003; Vingarzan, 2004). Os efeitos na saúde estão dependentes da dose e da concentração de O<sub>3</sub> depositada nos pulmões, da taxa de ventilação de cada indivíduo e da duração da exposição (Hubbard *et al.*, 2005). Em indivíduos com alergia, o ozono age como um adjuvante, aumentando a resposta alérgica ao que foi inalado (Peden, 2001). Os agentes alergénicos produzem uma reacção de defesa no organismo, mais propriamente nas primeiras camadas das vias nasais. As pessoas que não têm defesa a estes agentes fazem uma reacção asmática (Hubbard *et al.*, 1995).

#### **1.2.5 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)**

O monóxido de carbono é um gás insípido, inodoro, incolor e não irritante, produzido por combustão incompleta de materiais orgânicos. É a principal causa de morte por envenenamento nos Estados Unidos (Weaver, 2002). O CO prejudica a capacidade de ligação do oxigénio à hemoglobina, podendo causar dores de cabeça, náuseas, vertigens, falta de respiração e fadiga. As exposições a níveis elevados podem conduzir a coma e morte. A gravidade do CO envenenar depende da concentração, tempo de exposição e estado de saúde geral subjacente do indivíduo exposto. Dado que concentrações de carboxi-hemoglobina no sangue são com o passar do tempo cumulativas, uma exposição prolongada a baixas concentrações pode resultar em efeitos na saúde consideráveis (Weaver, 2002).

Um estudo revelou que o CO comparado com outros poluentes gasosos (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e ozono) era o indicador mais significante de hospitalizações de pacientes idosos por insuficiência cardíaca congestiva (Burnett *et al.*, 1997).

## 1.3 Índices

### 1.3.1 DEFINIÇÃO

Os índices de qualidade do ar representam indicadores indirectos para avaliar o risco para a saúde pública que decorre da exposição a poluentes presentes na atmosfera em determinadas concentrações (Maynard e Coster, 1999).

As estações de monitorização fornecem um grande número de dados relativos a concentrações médias horárias ou diárias. Como consequência, a sua interpretação pelas autoridades públicas e a sua apresentação à população torna-se uma tarefa complicada. Além disso, os instrumentos de difusão deste tipo de informação, como a internet, fazem com que se sintetizem as extensas bases de dados e se “transformem” em índices mais facilmente interpretáveis (Murena, 2004). O objectivo principal do índice de qualidade do ar (AQI) é avaliar os níveis de poluição atmosférica e as repercussões que têm na saúde humana. Tipicamente, este é um índice de qualidade diário (EPA, 1999). É desenvolvido tendo por base vários poluentes: monóxido de carbono (CO), dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), partículas (PM<sub>10</sub>) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). As concentrações dos poluentes são convertidas numa escala numérica, assumindo valores de 0 – 500. Esta escala numérica é normalmente apresentada com códigos coloridos conforme a gravidade dos níveis de concentração medidos (Maynard e Coster, 1999). Quanto maior for o valor do AQI maior é o nível de poluição e, por sua vez, maior será o risco para a saúde (Gurjar *et al.*, 2007). Desta forma, com estes índices, alguns grupos sensíveis como os asmáticos, podem tomar medidas de precaução, a população pode ficar capacitada para avaliar as tendências de poluição e pode haver um aumento de consciência sobre as implicações que a poluição do ar tem na saúde pública (Maynard e Coster, 1999; Stieb *et al.*, 2005).

O índice API (*Air pollution Index*), um parâmetro de referência que descreve os níveis da poluição do ar, fornece não só informação para alertar a população da poluição atmosférica, como também previsões da mesma (Cogliani, 2001). Na China, Shanghai foi a primeira cidade a utilizar este sistema, em Junho de 1997. Antes de Junho de 2000, 3

poluentes principais (partículas totais em suspensão, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>) foram seleccionados para serem reportados nos índices API. Depois de Junho de 2000 foi requerido pela Agencia Estadual da Protecção do Ambiente deste país que esses poluentes fossem substituídos por PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> (Schlink *et al.*, 2003).

### 1.3.2 ÍNDICES APLICADOS NOS VÁRIOS PAÍSES.

A Directiva Europeia da qualidade do ar não só obriga os Estados Membros a monitorizar e a reportar a qualidade do ar, mas também a (activamente) informar a população da situação da qualidade do ar (EU, 2008). Estabelece valores limite para alguns poluentes: matéria particulada (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), dióxido de azoto, ozono e um certo número de metais pesados.

O “direito de saber” da qualidade do ar, descrita nas directivas é reforçado pela Convenção de Aarhus (ratificada pela EU em 2005). Um bom número de cidades e países começaram a monitorizar e a disponibilizar informação da qualidade do ar na internet. O facto destes dados serem disponibilizados por via electrónica facilita as comparações entre cidades nos diferentes países. Para exemplificar a variação espacial da qualidade do ar, apresentam-se na Tabela 2 os índices para Paris, Roma, Leicester e Roterdão. Trabalhos de revisão sobre índices de qualidade do ar mostram que o modo de os interpretar difere de país para país (Garcia *et al.*, 2002; Shooter *et al.*, 2005; Leeuw e Mol, 2005; Van den Elshout e Karine, 2006). Mesmo dentro da União Europeia, nos Estados Membros que partilham a mesma legislação, os índices utilizados variam por razões históricas ou conceptuais. Nalguns casos, os índices já existiam antes dos regulamentos da EU e/ou eram baseados em critérios que tinham em conta a exposição aos poluentes e os efeitos na saúde, factores meteorológicos, fontes emissoras, etc.

Os índices são tendencialmente calibrados para as especificidades dos locais de medição para garantir alguma variação de dia para dia e, desta forma, estimular a consulta *on-line* dos respectivos valores (Van den Elshout *et al.*, 2008).

Na área metropolitana de Atenas foi implementada uma escala uniforme e indexada, usando padrões de qualidade de ar prestabelecidos que explica as condições locais avaliadas por análise estatística de dados registados em cada estação de controlo

(Kassomenos *et al.*, 1999). A conversão de cada concentração de poluente para o respectivo valor numérico do AQI não tem por base uma simples padronização linear. Estabeleceram-se concentrações estandardizadas para cada poluente e para cada escala. Estes valores foram definidos pela EPA com base nos NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*) e em estudos epidemiológicos sobre o efeito dos poluentes na saúde humana.

**Tabela 2. Concentrações e índices usados para a cidade de Paris, Roma, Leicester e Roterdão (Van den Elshout *et al.*, 2008).**

<b>Paris</b>	<b>Ozono – 1h</b>	<b>PM<sub>10</sub>- 24h</b>	<b>NO<sub>2</sub>- 1h</b>	<b>Índice</b>
Muito Bom	29	9	29	1
	54	19	54	2
Bom	79	29	84	3
	104	39	109	4
Médio	129	49	134	5
Medíocre	149	64	164	6
	179	79	199	7
Pobre	209	99	274	8
	239	124	399	9
Muito Pobre	≥240	≥125	≥400	≥10
<b>Roma</b>	<b>Ozono – 1h</b>	<b>PM<sub>10</sub>- 24h</b>	<b>NO<sub>2</sub>- 1h</b>	<b>Índice</b>
Bom	90	100	100	50
Moderado	135	150	150	75
Mediocre	180	200	200	100
Insalubre	360	400	400	200
Muito Insalubre	>360	>400	>400	>200
<b>Leicester</b>	<b>Ozono – 1h</b>	<b>PM<sub>10</sub>- 24h</b>	<b>NO<sub>2</sub>- 1h</b>	<b>Índice</b>
Baixo	32	21	95	1
	66	42	190	2
	99	64	286	3
Moderado	126	74	381	4
	152	86	477	5
	179	96	572	6
Alto	239	107	635	7
	299	118	700	8
	359	129	763	9
Muito alto	≥360	≥130	≥764	≥10
<b>Roterdão</b>	<b>Ozono – 1h</b>	<b>PM<sub>10</sub>- 24h</b>	<b>NO<sub>2</sub>- 1h</b>	<b>Índice</b>
Bom		20	100	-
Moderado	180	40	200	-
Mau	240	60	400	-
Muito mau	≥240	≥	≥400	-

Murena (2004) estabeleceu várias categorias relativas ao impacto das concentrações dos poluentes:

- Boa qualidade - A concentração de poluentes encontra-se abaixo do valor estabelecido ou tabelado para a protecção do ambiente pela União Europeia.

- Baixa poluição - A concentração do poluente encontra-se abaixo do valor limite estabelecido pela UE para a protecção da saúde humana. Estes valores estão de acordo com as directrizes propostas para substâncias individuais baseadas nos seus efeitos cancerígenos ou nas suas propriedades olfactivas (OMS, 2000).

-Poluição moderada - A concentração de poluente está acima do valor limite estabelecido pela UE.

-Insalubre para grupos sensíveis - A concentração do poluente pode ter efeito em grupos sensíveis (crianças, asmáticos, etc.).

-Insalubre - A concentração do poluente pode ter efeito em toda a população e/ou maiores efeitos em grupos sensíveis.

As limitações associadas aos índices de qualidade do ar prendem-se sobretudo com as especificidades regionais ou locais da sua utilização e com o facto de não ser considerado o efeito conjugado de vários poluentes quando se avaliam os efeitos na saúde (Murena, 2004).

## **1.4 Distribuição de frequências**

Distribuição de frequências é a tabulação de dados brutos obtida dividindo esses valores em gamas de tamanho e computadorizando o número de elementos de dados que se encontram dentro de cada gama de tamanho. A distribuição é uma ferramenta útil para entender as características estatísticas de qualidade de ar e para calcular a frequência com que um nível de concentração crítico é excedido (Seinfeld e Pandis,



1998; Wilson *et al.*, 2002). Um estudo realizado por Lu e Fang (2002) refere que é necessário ter um conhecimento das distribuições de frequências para desenvolver estratégias de controlo de poluentes atmosféricos. São usados muitos tipos de distribuições para ajustar os dados. No entanto, não existe uma distribuição universal que possa representar a distribuição de frequências de poluentes no ar. As distribuições são influenciadas por condições meteorológicas, como a velocidade de vento (Simpson *et al.*, 1984).

Neste trabalho foram usadas 61 equações para determinar quais se adequavam. As equações (1), (2) e (3) representam as distribuições que melhor se ajustaram às concentrações de PM<sub>2,5</sub> medidas na estação dos Olivais. As restantes distribuições devem ser consultadas no anexo III.

Distribuição Johnson SB:

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda\sqrt{2\pi}z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\lambda + \delta\left(\frac{z}{1-z}\right)^2\right)\right) \quad (1)$$

$\lambda$  representa a escala,  $\gamma$  e  $\delta$  a forma e  $\xi$  a localização. Por sua vez,  $z \equiv \frac{x-\xi}{\lambda}$ , onde  $x$  corresponde ao valor da concentração a substituir.

Distribuição de Fatigue Life (3P):

$$f(x) = \frac{\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}}{2\alpha(x-\gamma)} \phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}\right)\right) \quad (2)$$

$\beta$ ,  $\alpha$  e  $\gamma$  são os parâmetros escala, forma e localização, respectivamente e  $\phi$  é a função distribuição para a distribuição normal:

$$\phi(x) = \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}}$$

Distribuição de Gen.Gamma (4P):

$$f(x) = \frac{k(x-\gamma)^{k\alpha-1}}{\beta^{k\alpha}\Gamma(\alpha)} \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^k\right) \quad (3)$$

$\gamma$  e  $k$ ,  $\beta$  são os parâmetros forma e escala, respectivamente.  $\Gamma$  é a função gama,

$$\Gamma_x(\alpha) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Podem ser aplicados vários testes para testar a “qualidade de ajuste” e seleccionar a função que melhor descreve os dados: a) Teste *Chi-quadrado*, b) Teste *Kolmogorov Smirnov* (KS) (Karaca *et al.*, 2005) e c) Teste *Anderson-Darling*. O *Chi quadrado* é um teste que compara frequências observadas com frequências esperadas, através da distribuição calculada (Brunk, 1960). Divide a gama de dados em intervalos não sobrepostos e compara o número de observações em cada classe para o número esperado baseado na distribuição obtida. É calculada de acordo com a Eq. (4) (Stuart e Ord, 1991).

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - np_i)^2}{(np_i)} \quad (4)$$

Nesta equação,  $x^2$  é o resultado do teste *Chi-quadrado*,  $n$  o número total de pontos de dados,  $n_i$  o número de dados no  $i$ -ésimo intervalo contínuo ou na  $i$ -ésima classe de valores discretos,  $k$  o número de intervalos ou classes usados e  $p_i$  a probabilidade de ocorrência esperada no intervalo ou classe para a distribuição obtida (Karaca *et al.*, 2005). O resultado do teste é comparado então com um valor padrão de *Chi-square* associado a um número apropriado de graus de liberdade ( $d_f$ ) e nível de significância.

O teste de *Kolmogorov Smirnov* é um teste estatístico de avaliação da qualidade do ajuste da distribuição. O teste de KS calcula a diferença absoluta maior entre as

distribuições cumulativas dos dados e a distribuição fornecida de acordo com as equações (5) a (7):

$$D = \max(D^+, D^-) \quad (5)$$

$$D^+ = \max \left( \frac{i}{n} - f(x) \right), \dots, i = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$D^- = \max \left( f(x) - \frac{(i-1)}{n} \right), \dots, i = 1, \dots, n \quad (7)$$

$D$  é o valor de KS,  $x$  é o valor do 1º ponto que se encontra fora do número total de pontos  $n$  e  $f(x)$  é a distribuição cumulativa fornecida (Brunk, 1960).

O teste de *Anderson-Darling*, tal como os anteriores, é um teste que compara o ajuste de uma função de distribuição com outra esperada. Este teste dá mais importância aos valores iniciais e finais do que o teste anterior, baseando-se na equação (8).

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \left[ \ln F(x_i) + \ln(1 - F(x_{n-i+1})) \right] \quad (8)$$

$F(x_i)$  é a função distribuição.

Para cada um dos três testes que avaliam a qualidade do ajuste (*Kolmogorov-Smirnov*, *Anderson-Darling* e *Chi-quadrado*), as funções de distribuição são elencadas de acordo com o grau de significância da hipótese avaliada:

- hipótese nula ( $H_0$ ): os dados seguem uma distribuição específica
- hipótese alternativa ( $H_A$ ): os dados não seguem uma distribuição específica

## 1.5 Objectivos

O trabalho proposto baseia-se em valores obtidos nas várias estações representativas da rede de medida de qualidade do ar em Portugal, as quais, dependendo

das características e localização, se podem designar por rurais de fundo, urbanas de tráfego, urbanas de fundo, urbanas industriais, suburbanas de fundo e suburbanas industriais. A monitorização da qualidade do ar nestas estações tem como finalidade comparar valores medidos com os da legislação, avaliar o sucesso ou insucesso das estratégias de redução da poluição e ainda evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade (Cairncross *et al.*, 2007).

Os poluentes monitorizados na rede de medida pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regionais e disponibilizados pela agência Portuguesa do Ambiente incluem o ozono ( $O_3$ ), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de azoto ( $NO_2$ ), o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e as partículas inaláveis e respiráveis com diâmetros inferiores a 10 e a 2,5  $\mu m$  ( $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ , respectivamente). Neste trabalho, especial ênfase será dado ao conjunto de dados obtidos para as estações de Lisboa, embora se procure fazer uma avaliação comparativa com outras regiões em Portugal. Recorrendo à inter-comparação com a legislação, ao cálculo de índices de qualidade do ar, à obtenção de retro-trajectórias de massas de ar e de outros parâmetros, procurar-se-á avaliar o grau de poluição do ar que respiramos.

A base de dados de 2006 constituiu o objecto de análise. A selecção deste ano relaciona-se com um projecto de investigação em curso (Impactos do aerossol na saúde humana, POCI/AMB/55878/2004), no âmbito do qual se efectuaram, para o mesmo período, campanhas de biomonitorização da qualidade do ar, análises diárias dos metais na fase particulada ( $PM_{2,5}$ ), inquéritos sobre sintomatologias respiratórias à população escolar e a colecção de registos das entradas nas urgências com doenças cardio-respiratórias em 12 hospitais da capital portuguesa. A análise dos dados da rede de medida da qualidade do ar efectuada nesta tese representa, assim, informação complementar para o cumprimento dos objectivos deste projecto.

## ***2. PARTE EXPERIMENTAL***

### **2.1 Caracterização geral da área estudada**

Portugal é um país situado no sudoeste da Europa, cujo território se situa na zona ocidental da Península Ibérica e em arquipélagos no Atlântico Norte. Membro da U.E. desde 1983, desde cedo se defrontou com problemas relacionados com a poluição atmosférica que não afectam o território de uma forma sistemática, encontrando-se localizados em algumas áreas onde é maior a concentração urbana e a presença de grandes unidades industriais (Sines, Setúbal, Barreiro-Seixal, Lisboa, Estarreja e Porto). Este trabalho visa o território continental, com maior incidência sobre a região de Lisboa e Vale do Tejo. Esta região (Figura 1) abrange aproximadamente 11 633 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 13% da área continental. Apresenta uma população residente aproximada de 3 468 869 (35% do Continente) e compreende 5 sub-regiões estatísticas: Grande Lisboa, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, Oeste e Península de Setúbal.

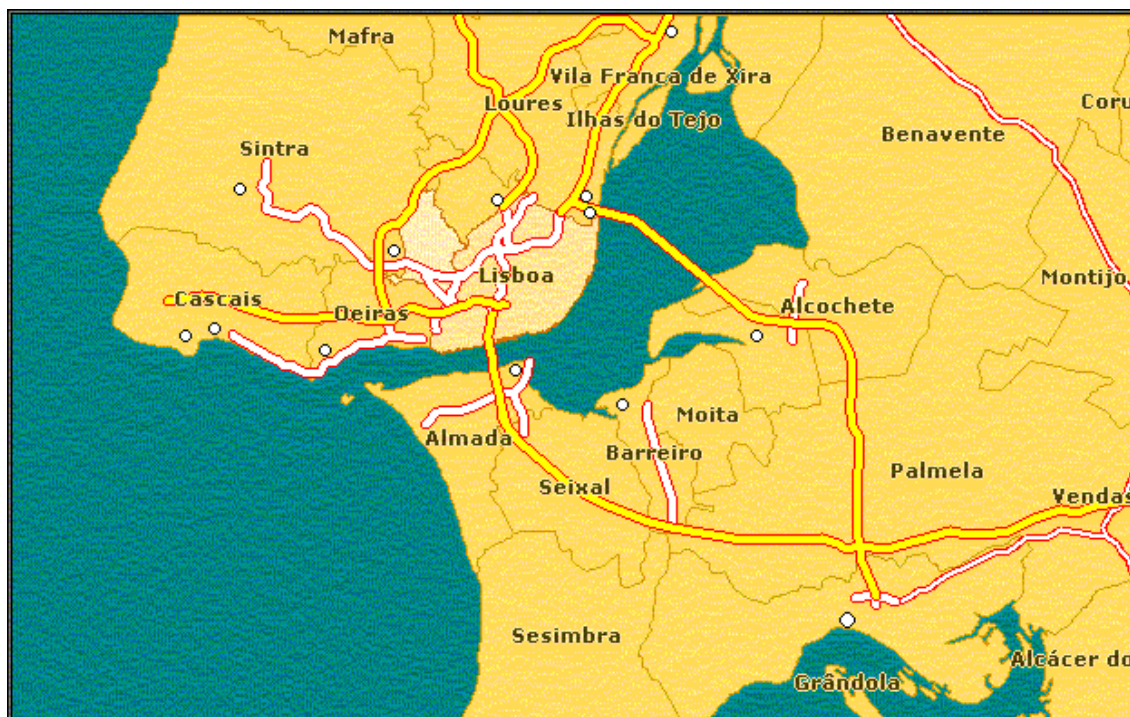


Figura 1 - Mapa da zona de Lisboa e Vale do Tejo - Fonte ([http://www.in-loco.com/Por\\_mapLisVTejo.gif](http://www.in-loco.com/Por_mapLisVTejo.gif))

## 2.2 Metodologia de Análise

### 2.2.1 DADOS AMBIENTAIS

Este estudo tem como base os dados de qualidade do ar obtidos para o ano de 2006 na rede de monitorização da Agência Portuguesa do Ambiente. Esta rede engloba várias estações em Portugal e fornece dados horários dos poluentes atmosféricos principais:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  e  $O_3$ . Estes dados foram recalculados para médias diárias, médias dos valores máximos diários, média semanais ou médias mensais. Na tabela 3 podem observar-se todas as estações existentes na região de Lisboa e Vale do Tejo e suas coordenadas geográficas, estando assinalados com “X” os poluentes medidos. No que diz respeito às partículas ( $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ ) e aos poluentes gasosos  $SO_2$  e  $NO_2$  foram calculadas médias diárias com base nos valores horários obtidos. Para o  $O_3$  e o  $CO$  calculou-se a média móvel de 8 h do tipo unilateral, sendo o primeiro período de cálculo para um dia o decorrido entre as 17 h do dia anterior e a 1 h desse dia; o último período de cálculo para um dia será o decorrido entre as 16 e as 24 h

desse dia (sem sobreposição). A legislação estipula ainda para o O<sub>3</sub> uma média octo-horária, sem sobreposição, calculada 3 vezes por dia, com base nos 8 valores horários, entre as 0 e as 8 h, as 8 e as 16 h e as 16 e as 24 h. É de salientar que para a base de dados de cada estação ser considerada estatisticamente significativa foi estipulada uma “eficiência” de 90%, isto é, todas as estações que não apresentavam pelos menos 90% dos registos não foram consideradas na análise.

Tabela 3: Diferentes tipos de estações de monitorização de Lisboa e Vale do Tejo com os respectivos poluentes medidos.

	Poluentes						Tipos de estações					Latitude	Longitude
	CO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Urbana de Fundo	Urbana de Tráfego	Urbana Industrial	Rural de Fundo	Suburbana De Fundo		
Loures	X	X	X		X	X	X					038°49'44"	009°09'55"
Paio Pires	X	X			X	X					X	038°38'00"	009°04'54"
Alfragide/Amadora	X	X			X	X	X					038°44'20"	009°12'27"
Camarinha	X	X			X	X	X					038°31'53''	008°52'20''
Entrecampos		X	X	X	X	X		X				038°44'55''	009°08'56''
Restelo	X				X	X	X					038°42'18''	009°12'37''
Odivelas	X				X	X		X				038°48'07''	009°10'56''
Cascais - Mercado	X					X		X				038°25'19''	009°15'07''
Olivais	X	X	X	X	X	X	X					038°46'12''	009°06'26''
Escavadeira	X	X	X		X	X			X			038°39'36''	009°03'54''
Arcos	X				X	X	X					038°31'45''	008°53'39''
Beato	X	X			X	X	X					038°44'00''	009°06'49''
Avenida da Liberdade	X		X			X		X				038°43'16''	009°08'46''
Reboleira	X		X		X		X					038°45'15''	009°13'51''
Quebedo	X	X	X			X		X				038°31'31''	008°53'11''
Mem-Martins	X	X	X		X	X	X					037°49'2''	008°6'93''
Chamusca			X	X	X	X				X		039°12'41''	008°16'55''
Hospital Velho	X	X			X	X	X					*****	*****
Benfica	X	X				X		X				038°45'07''	009°12'03''
Lavradio	X	X	X			X			X			038°40'07''	009°02'55''
Laranjeiro	X	X	X		X	X	X					038°39'49"	009°09'28"
Quinta do Marquês	X	X	X		X	X	X					038°41'51''	009°19'24''
Chelas		X					X					038°45'12''	009°06'40''

\*\*\*\*\*Coordenadas não disponibilizadas.



É de salientar que as concentrações registadas nas várias estações resultam da utilização de equipamento automático para cada poluente, cujo princípio de medição se assinala na tabela 4.

**Tabela 4. Equipamento/método de medição dos vários poluentes atmosféricos monitorizados na rede de qualidade do ar**

SO <sub>2</sub>	Analisador de fluorescência pulsada.
NO <sub>2</sub>	Analisador automático de quimioluminescência.
O <sub>3</sub>	Analisador automático de fotometria UV
PM <sub>10</sub>	Monitor $\beta$
PM <sub>2,5</sub>	Monitor $\beta$
CO	Fotometria de infravermelhos não dispersiva

### 2.2.2 ANÁLISE DE DADOS

Na realização deste trabalho foram utilizadas várias ferramentas matemáticas. Para o cálculo de médias, correlações, rácios, etc., usou-se o *Microsoft Office Excel* 2007. Para o cálculo das várias distribuições de frequências foi utilizado o *EasyFit 5.0*. Este *software* calcula cerca de 60 distribuições, as quais podem ser consultadas no Anexo III, e escolhe a que mais se ajusta aos dados. Através dos testes *Kolmogorov-Smirnov*, *Chi-quadrado* e *Anderson-Darling* foi determinado o ajuste para os diferentes percentis, entre outros. O cálculo das retro-trajectórias das massas de ar foi efectuado recorrendo ao modelo HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*). É um modelo que simula a simples trajectória de partículas, a sua dispersão, concentração e deposição, originada de uma determinada localização geográfica e período do ano. É um modelo de dispersão para simular o transporte a longa distância utilizando prognósticos climáticos. É uma ferramenta desenvolvida pelo

NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) e disponibilizada gratuitamente em [www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php](http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php).

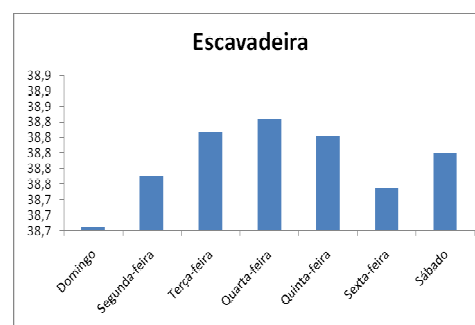
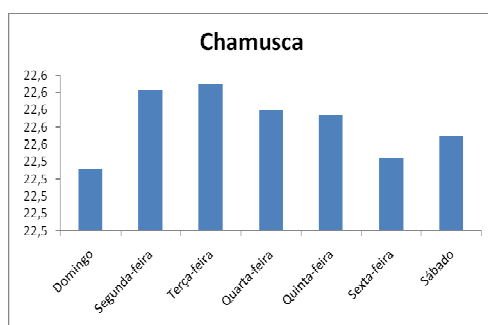
A verificação do cumprimento normativo foi efectuada comparando os valores de concentração dos vários poluentes, para determinadas bases temporais, com o Decreto-Lei nº111/2002 de 16 de Abril e a Directiva 2008/50/EC do Conselho do Parlamento Europeu de 21 de Maio, 2008 sobre a qualidade do ar para a Europa. O Decreto-Lei refere-se à definição dos princípios e normas gerais da avaliação e da gestão da qualidade do ar, visando evitar, prevenir ou limitar as emissões de certos poluentes atmosféricos, bem como os efeitos nocivos desses poluentes sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua generalidade.

# 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Concentração de poluentes nas várias estações

### 3.1.1 PARTÍCULAS PM<sub>10</sub>

A Figura 2 apresenta valores médios diários para diversas estações. A estação da Avenida da Liberdade apresenta os valores de concentração mais elevados, embora nunca excedendo o limite legislado de 50 µg/m<sup>3</sup> para protecção da saúde humana. Os valores mais baixos foram registados na estação da Chamusca. A primeira estação, localizada numa área urbana de tráfego, está exposta às constantes emissões automóveis, ao passo que a estação da Chamusca é representativa de um ambiente rural de fundo.



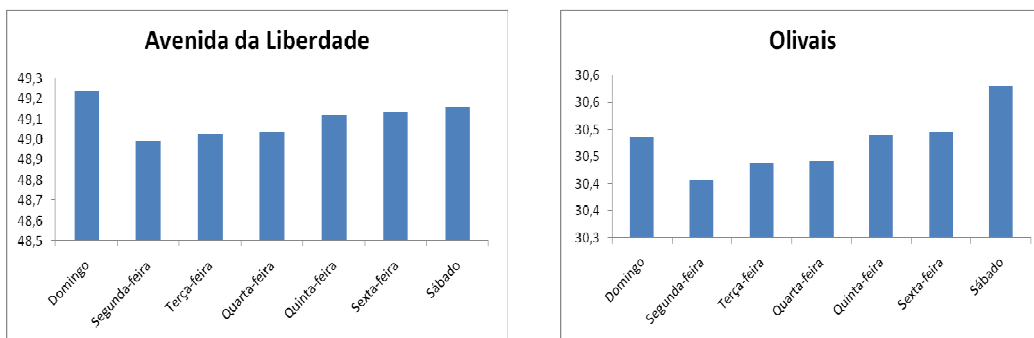


Figura 2 – Distribuição da média por dias da semana para partículas PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Na Figura 3 encontram-se os perfis diários das concentrações de PM<sub>10</sub> para algumas estações. As estações urbanas apresentam um perfil de concentrações idêntico, havendo um aumento a partir das primeiras horas da manhã e novo acréscimo no final da tarde, em períodos coincidentes com as horas de ponta. O perfil de variação nas estações não urbanas apresenta uma evolução mais constante ao longo do dia, não se observando os picos associados às emissões directas do trânsito nas horas de congestionamento em ambiente citadino.

A Tabela 4 mostra as excedências ao valor limite registadas nalgumas estações de monitorização e os correspondentes valores médios máximos e mínimos diários. Foi na Avenida da Liberdade que se registou o maior número de excedências, 145, e uma concentração média diária máxima de 130 µg/m<sup>3</sup>.

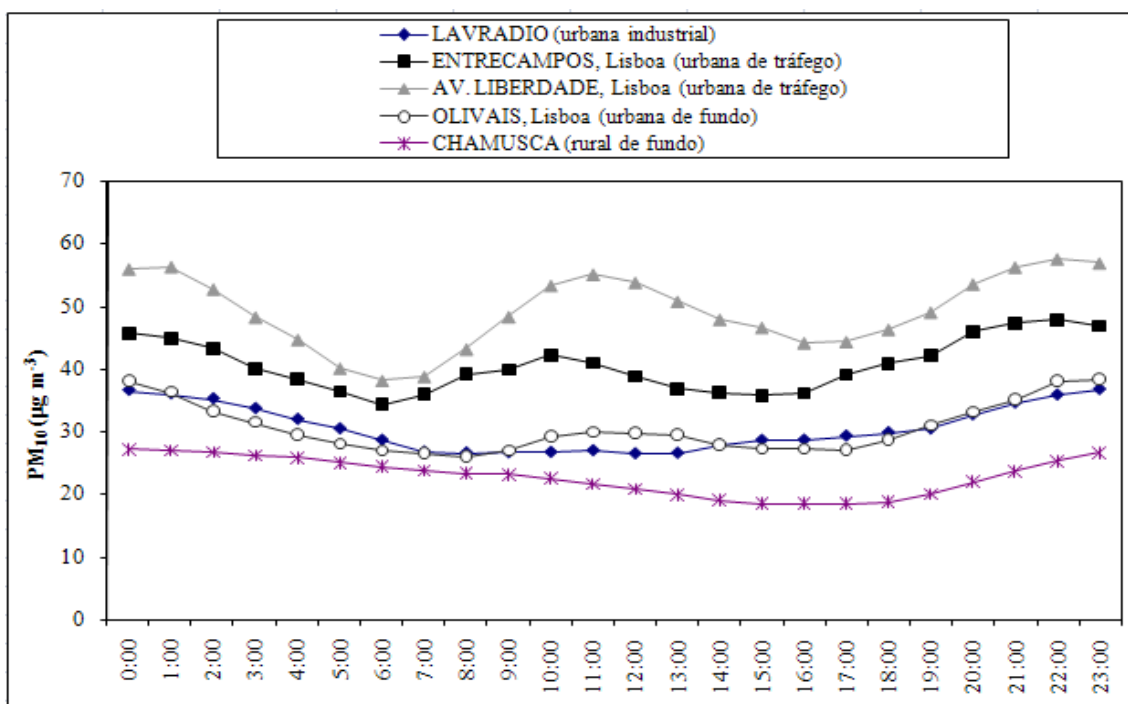


Figura 3 – Evolução da média horária das concentrações de PM<sub>10</sub> nalgumas estações.

**Tabela 5- Número de excedências, valor máximo e mínimo diário em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$ .**

	<b>Estações</b>	<b>Tipo de estação</b>	<b>Excedências para valores superiores a <math>50 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>**</b>	<b>Máximo Valor Diário</b>	<b>Mínimo Valor Diário</b>
<b>Rede de Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo</b>	Olivais	Urbana/fundo	47	108	7,0
	Escavadeira	Urbana/Industrial	79	125	6,9
	Chamusca	Rural/fundo	16	103	3,3
	Avenida da Liberdade	Urbana/tráfego	145	130	11,3
	Entrecampos	Urbana/tráfego	81	114	9,7
<b>Rede de Qualidade do Ar do Norte</b>	Lamas de Olo*	Rural/fundo	16	89	5,5
	Boavista	Urbana/tráfego	78	118	8,3
<b>Rede de Qualidade do Ar do Centro</b>	Instituto Geográfico de Coimbra*	Urbana/fundo	29	104	3,8
	Estarreja/ Teixugueira	Suburbana/industrial	75	114	5,7
<b>Rede de Qualidade do Ar do Algarve</b>	David Neto	Urbana/tráfego	73	92	7,7

\*estação com percentagem de dados inferior a 90%.

\*\*valor limite para protecção da saúde humana – 24 h- Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio.

Na Figura 4 compara-se a concentração média anual monitorizada na estação de Entrecampos com os níveis obtidos noutras metrópoles (Chen *et al.*, 1998 e Puustinen *et al.*, 2007). Observa-se que o nível médio de  $\text{PM}_{10}$  medido na estação lisboeta apenas é superado em Taiwan e Atenas.

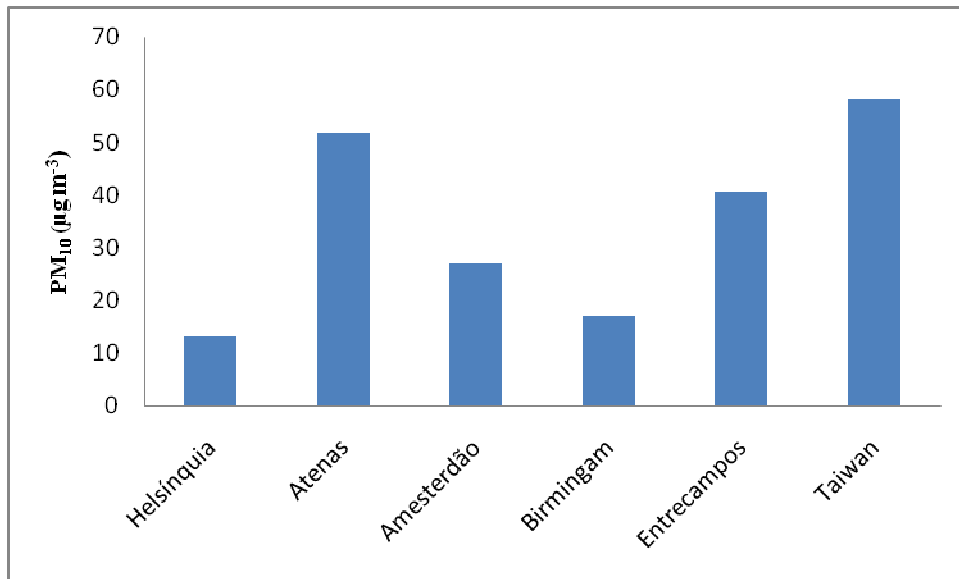
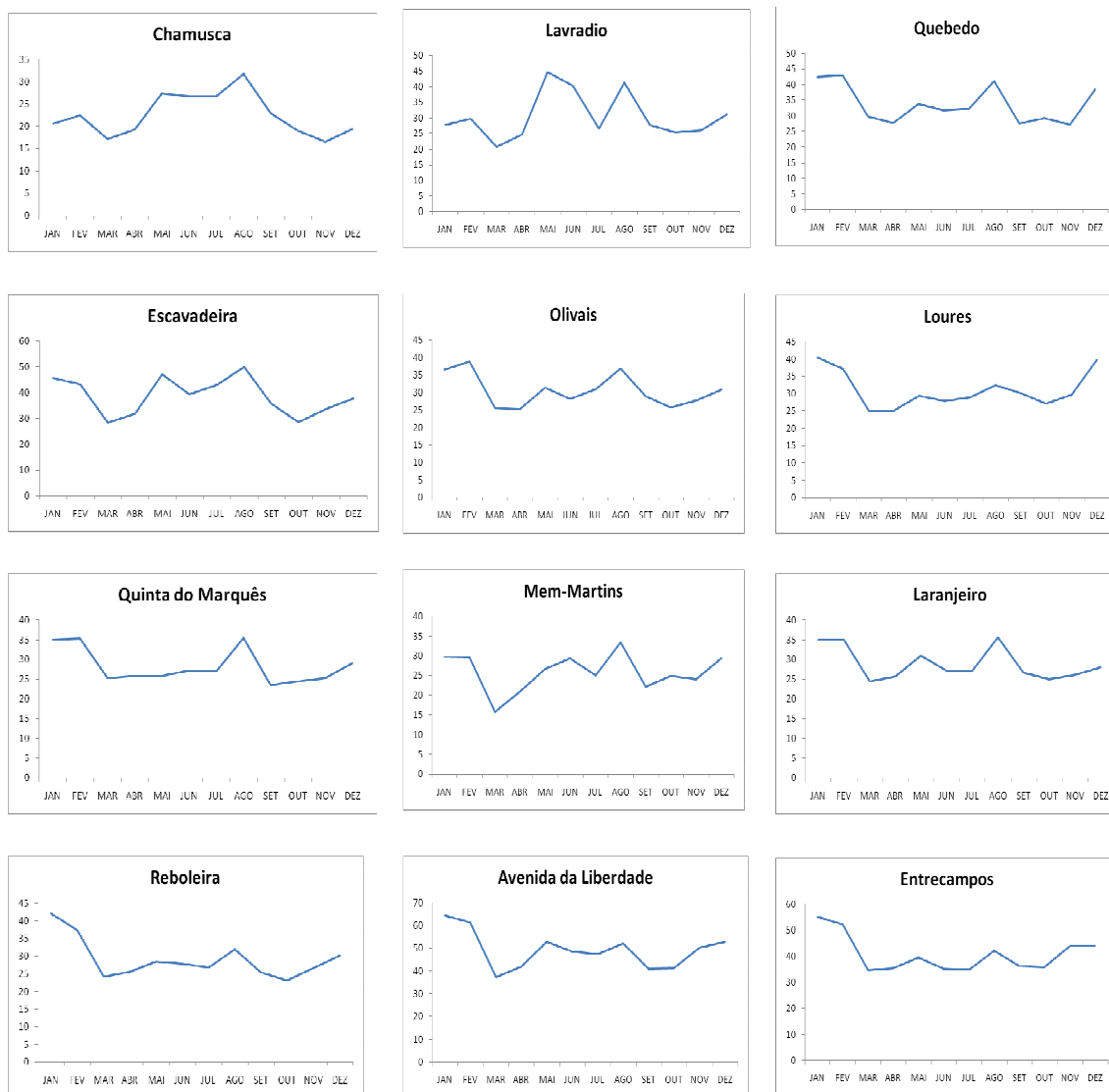


Figura 4 – Comparação da média anual de partículas PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) da estação de Entrecampos com a de outras cidades.

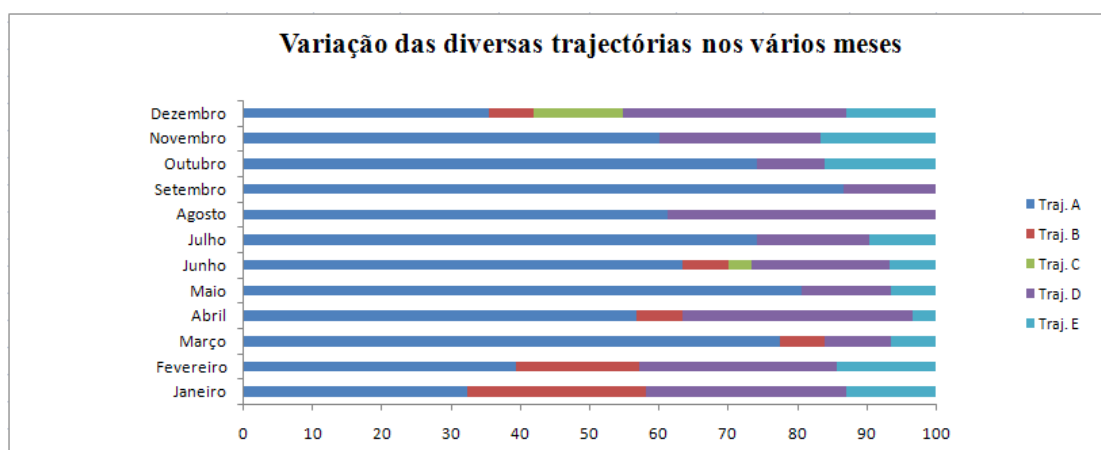
A Figura 5 mostra os valores médios medidos de PM<sub>10</sub> para cada mês do ano. De um modo geral, observa-se um pico de concentrações no mês de Agosto que poderá estar relacionado com a ressuspensão de poeiras do solo associada a um tempo árido com pouca precipitação (Begoña *et al.*, 2000). No entanto, as concentrações mais elevadas de matéria particulada são registadas no período de Inverno, altura em que se poderá registar um aumento significativo das emissões resultantes do aquecimento doméstico (e.g. lareiras). Por outro lado, nos meses mais frios ocorre com frequência uma diminuição da camada de mistura e as condições meteorológicas são mais adversas à dispersão dos poluentes, ocorrendo acumulação (Begoña *et al.*, 2006).



**Figura 5- Concentrações médias mensais de  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) para diversas estações.**

Dado que a matéria particulada medida pode resultar do transporte a longa distância, pode recorrer-se ao cálculo de retro-trajectórias obtidas pelo *Hysplit*. As retro-trajectórias diárias foram agrupadas por sectores de proveniência. Considerou-se no grupo A, as trajectórias exclusivamente atlânticas, no grupo B as trajectórias com origem no norte da Europa, no grupo C as trajectórias provenientes da Europa Central, no grupo D as trajectórias com origem na Península Ibérica e no grupo E as trajectórias oriundas do Norte de África. Para todos os meses do ano as trajectórias predominantes tiveram origem no sector A (Figura 6), sendo que os meses de Verão (Junho a Setembro) apresentam percentagens muito superiores relativamente aos restantes meses. Este facto pode ser indicativo de que as partículas atmosféricas amostradas na região de Lisboa tenham uma importante contribuição do *spray* marinho. Na Figura 7 pode

observar-se, a título de exemplo, uma retro-trajectória calculada para o mês de Julho, mostrando a influência de massas de ar com origem marinha. Além dos factores atrás mencionados para justificar o aumento das concentrações de partículas no período de Inverno, deve considerar-se também o transporte de poeiras do Sahara (Figura 8). As retro-trajectórias provenientes do Norte de África para os meses mais frios (Outubro a Fevereiro) têm uma representatividade percentual superior relativamente aos restantes meses. A azul na Figura 8 representa-se a chegada de uma trajectória a uma altitude de 500 m, ao passo que a trajectória encarnada atinge Lisboa a uma altitude de 2000 m. A trajectória a menor altitude é aquele que cruzou o deserto do Sahara, exercendo uma maior influência nos níveis medidos na capital portuguesa.



**Figura 6: Variação em percentagem das diversas retro-trajectórias ao longo do ano de 2006.**



NOAA HYSPLIT MODEL  
 Backward trajectories ending at 09 UTC 04 Jul 06  
 FNL Meteorological Data

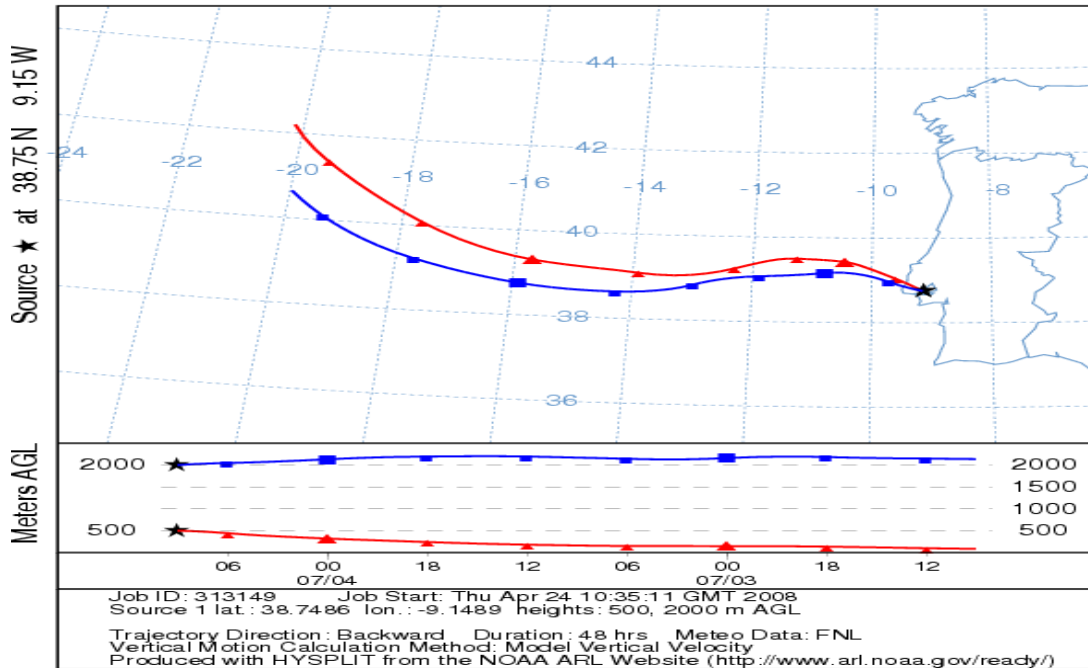


Figura 7: Retro-trajectórias a terminar em Lisboa no dia 4 de Julho de 2006.

NOAA HYSPLIT MODEL  
 Backward trajectories ending at 09 UTC 13 Jan 06  
 FNL Meteorological Data

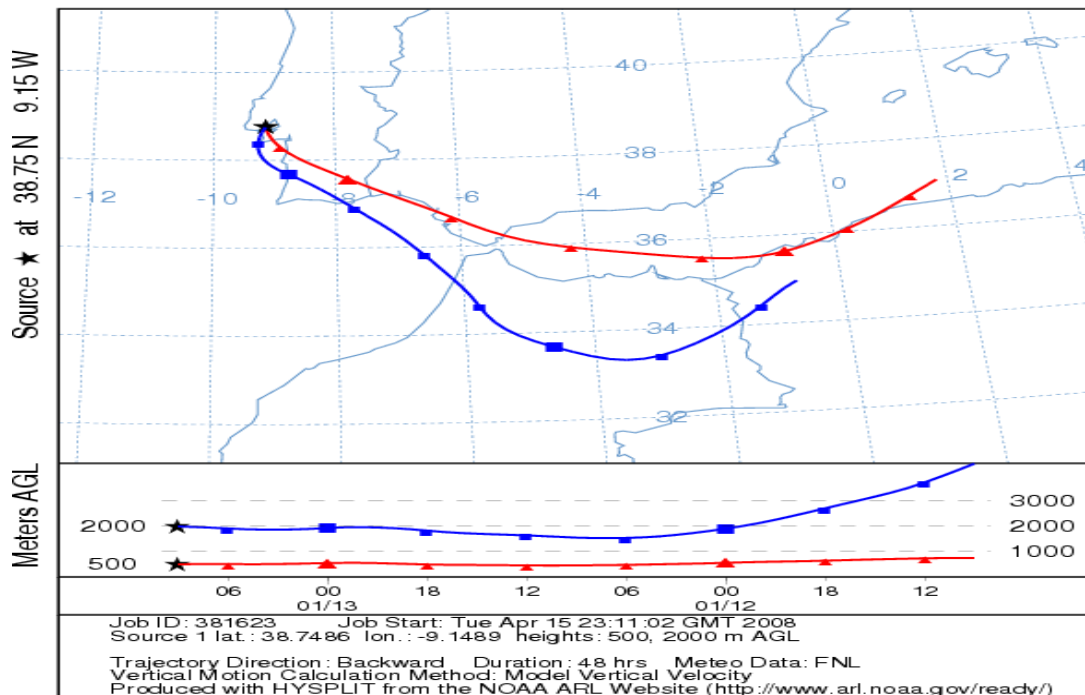


Figura 8: Retro-trajectórias a terminar em Lisboa no dia 13 de Janeiro de 2006.

A Tabela 6 apresenta as correlações de Pearson obtidas entre estações com base nos níveis de  $PM_{10}$  nelas medidos. Os valores de  $r^2$  superiores a 0,80 foram representados a negrito. Valores de Pearson estatisticamente mais significativos são indicativos de que o poluente medido nas duas estações correlacionadas resulta provavelmente das mesmas fontes, processos de formação ou foi sujeito a mecanismos de remoção ou transporte idênticos. De salientar as elevadas correlações entre as estações urbanas de Lisboa, provavelmente em resultado da predominância de partículas com origem nas emissões automóveis, as quais são também transportadas para a atmosfera de fundo urbano.

**Tabela 6- Matriz de correlações entre a matéria particulada PM<sub>10</sub> em várias estações.**

	Chamusca	Av. Liberdade	Entrecampos	Olivais	Escavadeira	Estarreja/Teixugueira	Lamas de Olo	Boavista	Cerro	David Neto
Chamusca	1,00									
Av. Liberdade	0,65	1,00								
Entrecampos	0,67	<b>0,87</b>	1,00							
Olivais	<b>0,80</b>	<b>0,88</b>	<b>0,93</b>	1,00						
Escavadeira	0,72	<b>0,82</b>	0,78	<b>0,82</b>	1,00					
Estarreja/Teixugueira	0,53	0,75	0,69	0,69	0,64	1,00				
Lamas de Olo	0,30	0,30	0,29	0,29	0,23	0,26	1,00			
Boavista	0,72	0,72	0,66	0,73	0,67	0,73	0,39	1,00		
Cerro	0,73	0,46	0,43	0,59	0,53	0,27	0,29	0,58	1,00	
David Neto	0,59	0,56	0,59	0,64	0,59	0,43	0,21	0,58	0,64	1,00

### 3.1.2 PARTÍCULAS PM<sub>2,5</sub>

Ao contrário do poluente anterior, verifica-se apenas monitorização do poluente PM<sub>2,5</sub> em duas estações com pelo menos 90% de registos válidos. A Figura 9 mostra a variação do poluente para as estações de Entrecampos e Olivais, observando-se valores mais elevados à sexta-feira e nos dias de fim-de-semana. Esta tendência para um acréscimo dos níveis de partículas nos dias de fim-de-semana já foi observado na cidade do Porto (Oliveira *et al.*, 2008), tendo sido explicado pelo movimento acrescido de veículos das 9 até às 24 h para centros comerciais e hipermercados. Devem ainda ser tidas em conta as saídas nocturnas e as deslocações para passar o fim-de-semana fora da cidade. Por outro lado, o acréscimo significativo das concentrações da matéria particulada atribuível à queima doméstica de biomassa no período de Inverno (Oliveira *et al.*, 2007) tem maior significado nos dias de fim-de-semana, dado que as pessoas permanecem nas residências durante períodos mais prolongados comparativamente com os dias laborais. O comportamento registado nas cidades portuguesas não coincide com o reportado por DeGaetano e Doherty (2004) para Nova Iorque onde se observaram valores de PM<sub>2,5</sub> mais baixos aos fins-de-semana e valores uniformes durante a semana.

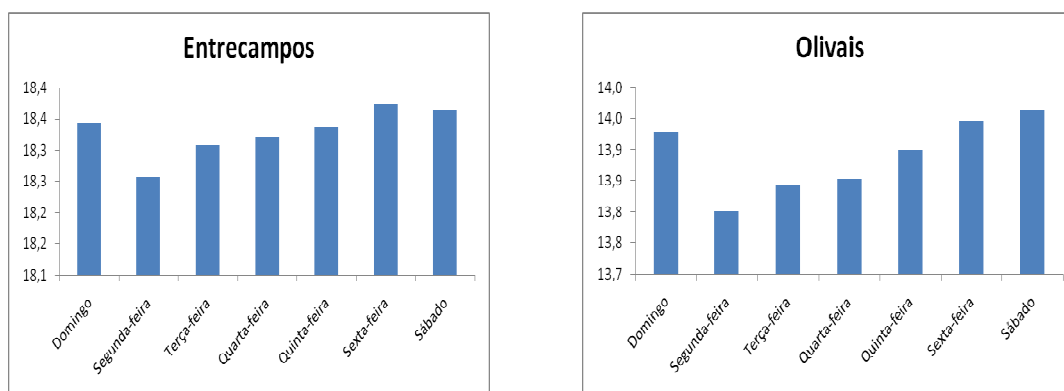


Figura 9- Médias por dia da semana para PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>).

O perfil com as concentrações médias horárias de  $PM_{2,5}$  para as estações de Entrecampos, Olivais e Chamusca pode ser observado na Figura 10. Os valores mais elevados para as duas primeiras estações acontecem ao fim da tarde e princípio de noite e nas primeiras horas da madrugada. Para a estação da Chamusca parece haver um aumento de concentrações a partir do início de noite prolongando-se até por volta das 4:00 h.

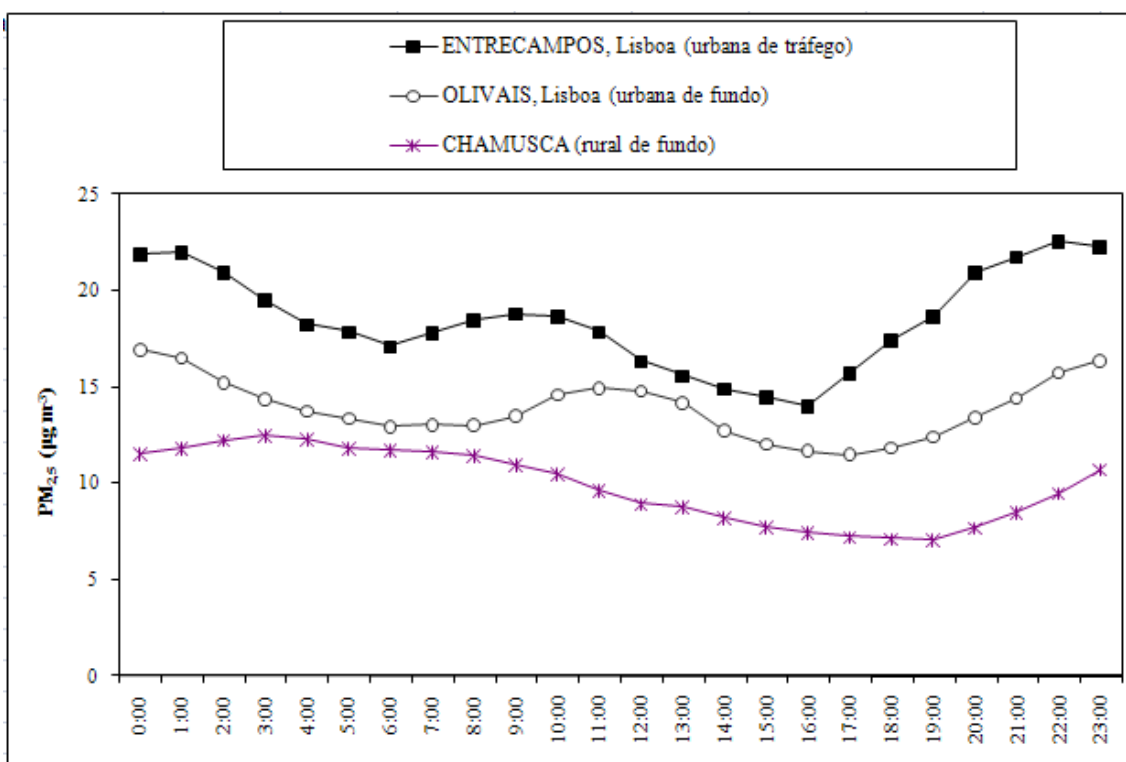


Figura 10 – Evolução da média horária das concentrações de  $PM_{2,5}$  em várias estações.

A estação de Estarreja/Teixugueira, localizada numa zona industrial, é a que apresenta os valores mais elevados de  $PM_{2,5}$  e o maior número de excedências (Tabela 7). Às estações rurais correspondem valores de concentração mais baixos.

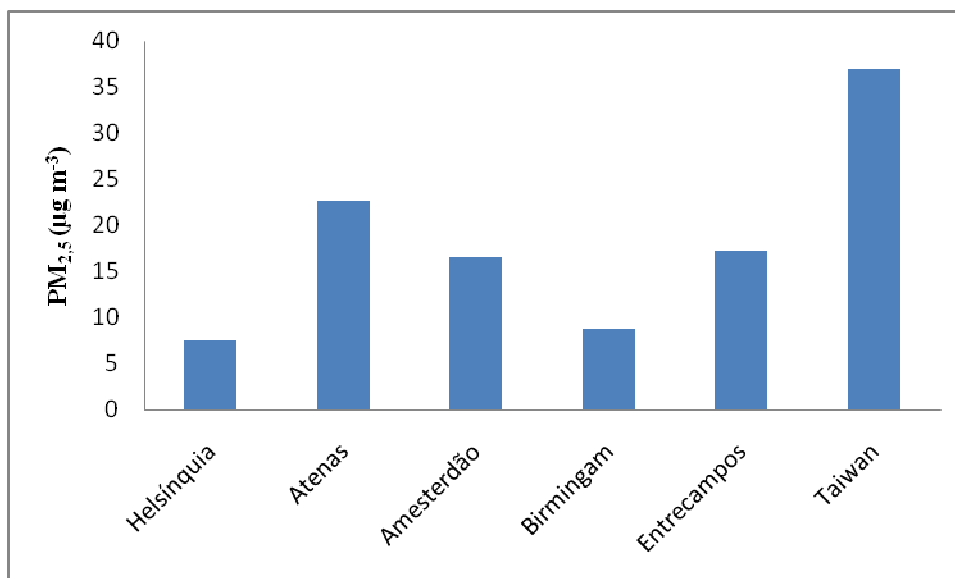
**Tabela 7- Número de excedências, valor máximo e mínimo diário em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em diversas estações para  $\text{PM}_{2,5}$ .**

	<b>Estações</b>	<b>Tipo de estação</b>	<b>Excedências para valores superiores a <math>25 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>**</b>	<b>Máximo Valor Diário</b>	<b>Mínimo Valor Diário</b>
<b>Rede de Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo</b>	Olivais	Urbana/fundo	52	56	1,42
	Chamusca*	Rural/fundo	17	49	1,34
	Entrecampos	Urbana/tráfego	74	69	3,41
<b>Rede de Qualidade do Ar do Norte</b>	Lamas de Olo*	Rural/fundo	7	28	3,25
<b>Rede de Qualidade do Ar do Centro</b>	Estarreja/Teixugueira	Suburbana/industrial	132	95	2,63
<b>Rede de Qualidade do Ar do Algarve</b>	Cerro	Rural/fundo	3	35	0,08

\*estação com percentagem de dados inferior a 90%.

\*\*valor limite para protecção da saúde humana – 1 ano - Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio

Na Figura 11 comparam-se os níveis medidos em Lisboa (Entrecampos) com os registados noutras cidades. Tal como acontecia com as partículas  $\text{PM}_{10}$ , os níveis da estação portuguesa são superados pelos valores divulgados para Taiwan e Atenas (Chen *et al.*, 1998 e Puustinen *et al.*, 2007).



**Figura 11 – Comparação da concentração média anual de partículas PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) da estação de Entrecampos com outras cidades.**

As estações de Entrecampos e Olivais apresentam valores mais elevados de PM<sub>2,5</sub> nos meses de Janeiro e mínimos em Outubro (Figura 12). De salientar que as duas estações parecem sofrer um decréscimo de concentrações de Janeiro até Março havendo depois uma subida até Junho. Na estação de Olivais observam-se níveis mais baixos nos meses de Julho e Setembro. Os valores mais elevados de PM<sub>2,5</sub> observados no período de Verão podem ser justificados com os motivos já apresentados para as partículas grosseiras. Ao aumento das emissões associadas a fontes de combustão e a condições mais desfavoráveis à dispersão nos meses mais frios acresce ainda o transporte continental de partículas (Figura 13). Este fenómeno foi também observado para outras estações da península Ibérica, tendo-se concluído que o transporte de PM<sub>2,5</sub> a partir do centro ou sul da Europa contribuí para um acréscimo dos níveis, o qual é atribuído à formação de aerossóis secundários ricos em nitratos e sulfatos (Salvador *et al.*, 2007).

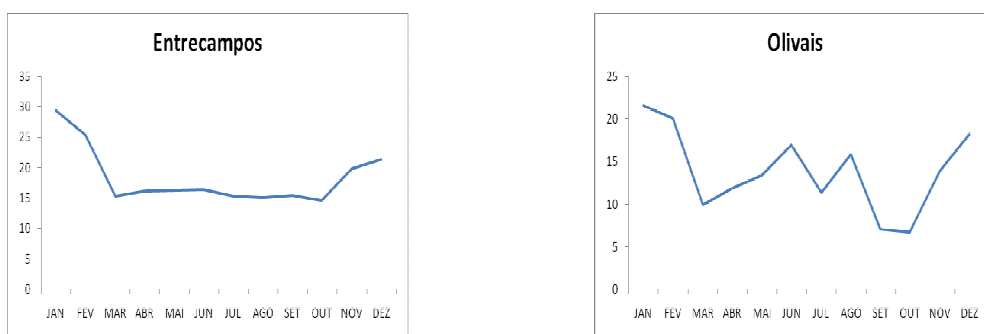


Figura 12: Concentrações médias mensais de PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) nas estações de Entrecampos e Olivais.

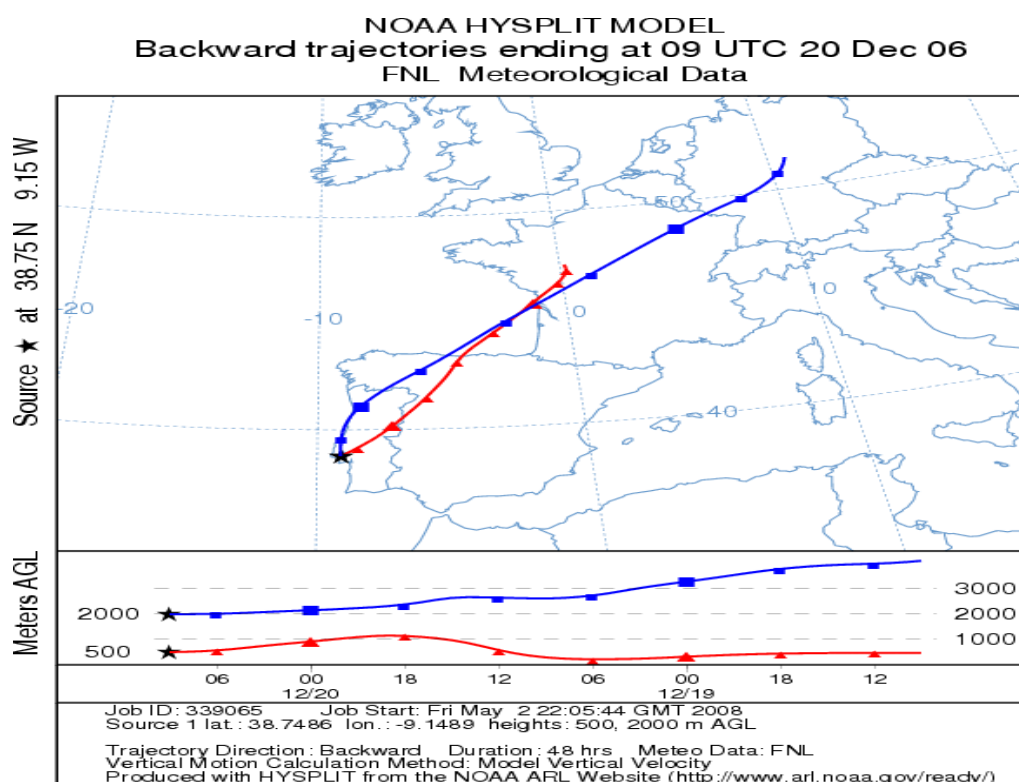


Figura 13: Retro-trajectórias a terminar em Lisboa para o dia 20 de Dezembro.

Tal como se fez para a matéria particulada PM<sub>10</sub>, na Tabela 8 apresentam-se as correlações de Pearson entre as estações com monitorização de PM<sub>2,5</sub>. As duas estações localizadas em Lisboa apresentam uma correlação estatisticamente elevada, indicando estar sujeitas a fontes de emissão e/ou processos atmosféricos de formação/remoção de



PM<sub>2,5</sub> semelhantes. O mesmo acontece para a estação da zona centro da Ervedeira com duas estações, uma da zona norte, Vermoim, e outra da zona centro Estarreja/Teixugueira. As três estações localizam-se num alinhamento norte-sul, estando sob a influência do transporte das emissões de fontes antropogénicas relacionado com os ventos predominantes de norte (Khan *et al.*, 2007). Num estudo recente (Almeida *et al.*, 2005), investigou-se a composição da matéria particulada PM<sub>2,5</sub> com o objectivo de identificar as principais fontes industriais e áreas urbanas que contribuem para o poluente a 20 km da costa, na região de Lisboa. Verificou-se que a maior parte da massa das PM<sub>2,5</sub> se devia à contribuição de aerossóis secundários (25%) ou às emissões dos veículos (22%). As emissões antropogénicas associadas à produção de energia e ao tráfego rodoviário afectam sobretudo a fracção PM<sub>2,5</sub> do aerossol atmosférico. As poeiras naturais e o *spray marinho* contribuem para menos de 25% da massa das PM<sub>2,5</sub> (Khan *et al.*, 2007).

**Tabela 8- Matriz de correlações entre a matéria particulada PM<sub>2,5</sub> e as várias estações.**

	Chamusca	Entrecampos	Olivais	Lamas de Olo	Senhora do Minho	Vermoim	Estarreja/Teixugueira	Fundão	Ervedeira	Cerro
Chamusca	1,00									
Entrecampos	0,53	1,00								
Olivais	0,63	<b>0,88</b>	1,00							
Lamas de Olo	0,44	0,22	0,31	1,00						
Senhora do Minho	0,66	0,41	0,52	0,23	1,00					
Vermoim	0,54	0,69	0,71	0,27	0,54	1,00				
Estarreja/Teixugueira	0,54	0,71	0,72	0,21	0,56	<b>0,87</b>	1,00			
Fundão	0,42	0,33	0,41	0,64	0,19	0,37	0,36	1,00		
Ervedeira	0,64	0,77	0,79	0,24	0,65	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>	0,34	1,00	
Cerro	0,68	0,38	0,51	0,62	0,44	0,35	0,30	0,53	0,40	1,00

### 3.1.3 PM<sub>2,5</sub> VERSUS PM<sub>10</sub>

O rácio PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> é indicativo da proporção entre partículas finas e grosseiras, sendo um parâmetro indirecto para a origem da matéria particulada. Quanto maior a proporção de partículas grosseiras, maior será o contributo de processos de formação predominantemente mecânicos (erosão do solo, ressuspensão de partículas dos pavimentos, processos de construção civil, transporte de poeiras do *Sahara*, etc.), do *spray* marinho ou de bioaerossóis (e.g. pólen na Primavera). A predominância de partículas finas é indicativa de processos de combustão (e.g. queima de biomassa e de combustíveis fósseis) e/ou de processos de formação gás-partícula. A Tabela 9 mostra os rácios PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> e os respectivos desvios padrão assim como a correlação de *Pearson* para diversas estações de monitorização. Praticamente para todas as estações a proporção de partículas grosseiras é maior. Uma correlação de *Pearson* PM<sub>2,5</sub> versus PM<sub>10</sub> (ou vice-versa) próxima de 1 indica que as partículas finas ou grosseiras têm possivelmente fontes ou processos de formação comuns. Apenas para a estação de Estarreja/Teixugueira e para a de Entrecampos os valores se aproximam de 1, com rácios de 0,88 e 0,77, respectivamente.

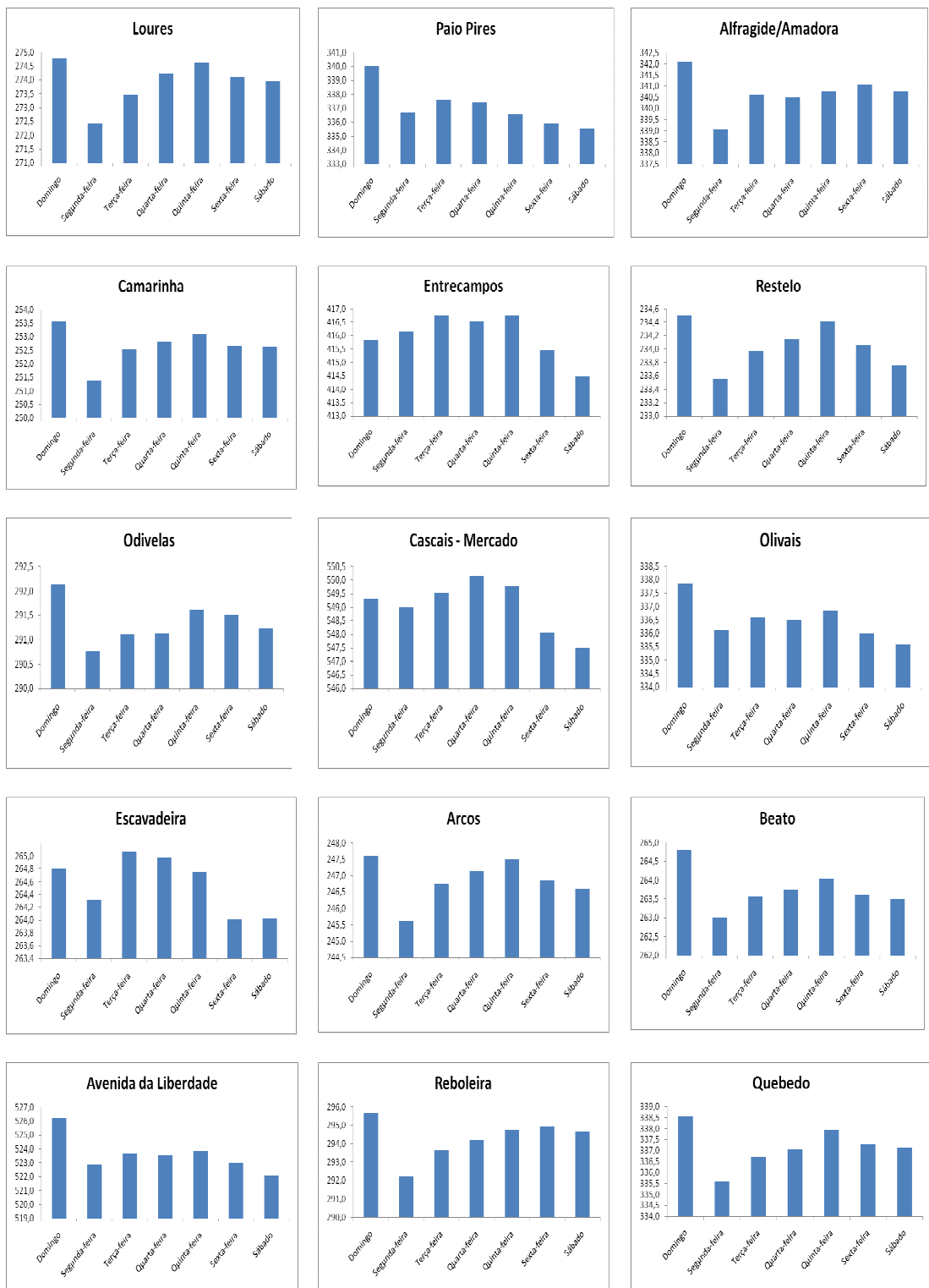
**Tabela 9- Rácio PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> ± desvio padrão e correlações de *Pearson* entre parêntesis para várias estações.**

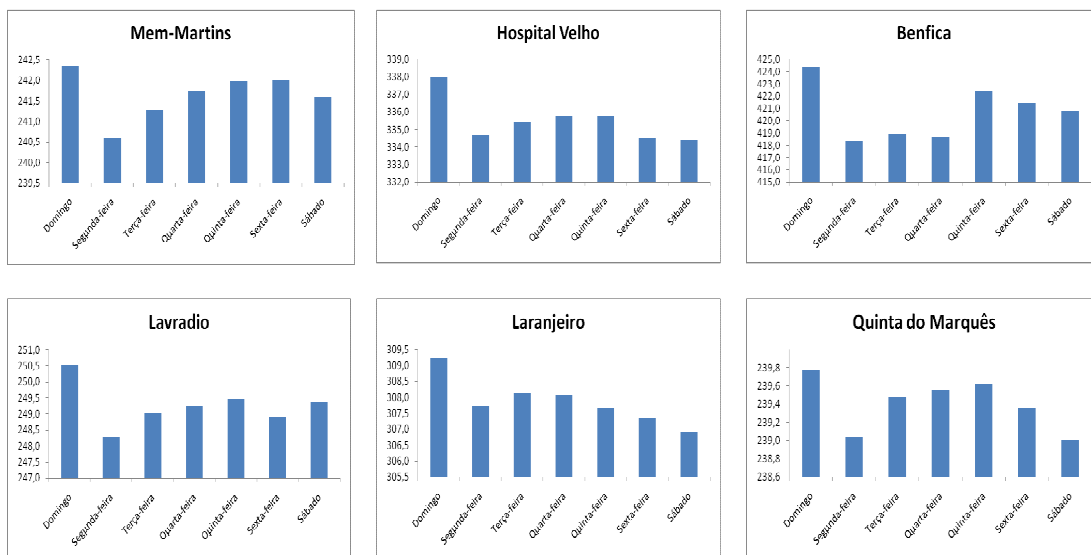
Lamas de Olo	Estarreja/Teixugueira	Olivais	Entrecampos	Chamusca
0,48 ± 0,24	0,67 ± 0,18	0,43 ± 0,19	0,44 ± 0,12	0,48 ± 0,20
(0,15)	(0,88)	(0,65)	(0,77)	(0,55)

### 3.1.4 MONÓXIDO DE CARBONO

A Figura 14 mostra os níveis médios de CO por dias da semana. São de destacar as estações da Avenida da Liberdade, Beato e Paio Pires, classificadas como urbana de tráfego, urbana de fundo e suburbana de fundo, respectivamente. Estas estações

apresentam valores máximos à quinta-feira (524  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para a da Avenida da Liberdade e no domingo para as restantes duas ( 264  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 340  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente).





**Figura 14: Concentrações de CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por dias da semana para várias estações.**

Das estações apresentadas, a da Avenida da Liberdade, Entrecampos, Cascais-Mercado e Benfica são as que atingiram valores mais elevados, evidenciando a forte contribuição das emissões automóveis. A elevada concentração observada ao Domingo poderá estar relacionada com o retorno à área metropolitana da população que passou o fim-de-semana fora e com os passeios de automóvel neste dia de descanso. O perfil diário do CO é caracterizado por um aumento da concentração de manhã e ao fim da tarde, em períodos coincidentes com as horas de ponta da circulação automóvel (Figura 15).

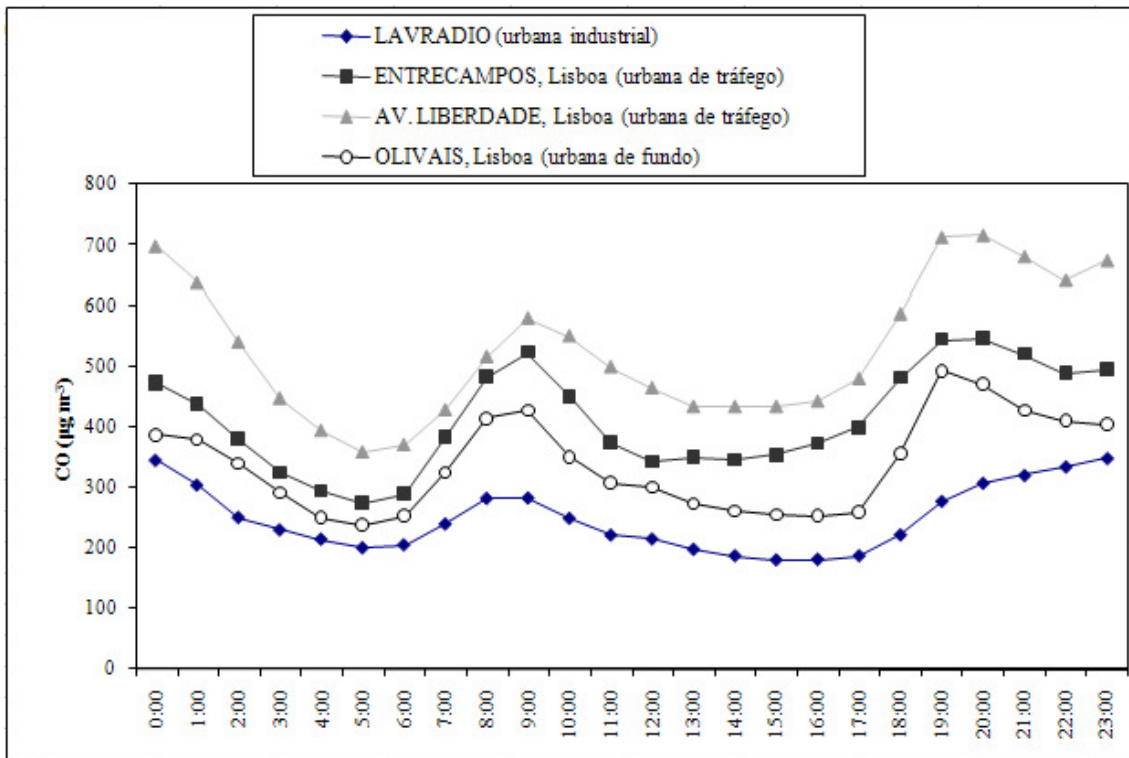


Figura 15 – Evolução da média horária das concentrações de CO em várias estações.

A Tabela 10 mostra o número de excedências para cada uma das estações das médias octo-horárias, bem como o valor médio mínimo e máximo para as mesmas. Pode observar-se que não houve qualquer excedência do valor de  $10 \text{ mg/m}^3$  estipulado para a protecção da saúde humana pela Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio.

**Tabela 10- Número de excedências, valor máximo e mínimo diário em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nas várias estações para CO.**

	<b>Estações</b>	<b>Tipo de estação</b>	<b>Excedências para valores superiores a <math>10 \text{ mg}/\text{m}^3</math>**</b>	<b>Máximo Valor Diário</b>	<b>Mínimo Valor Diário</b>
<b>Rede de Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo</b>	Olivais	Urbana/fundo	0	2679	0
	Escavadeira*	Urbana/Industrial	0	1636	0
	Avenida da Liberdade	Urbana/tráfego	0	3687	0
	Entrecampos	Urbana/tráfego	0	3566	0
<b>Rede de Qualidade do Ar do Norte</b>	Santo Tirso	Urbana/fundo	0	2540	0
	Boavista	Urbana/tráfego	0	2236	0
<b>Rede de Qualidade do Ar do Algarve</b>	David Neto	Urbana/tráfego	0	2130	0

\*estação com percentagem de dados inferior a 90%

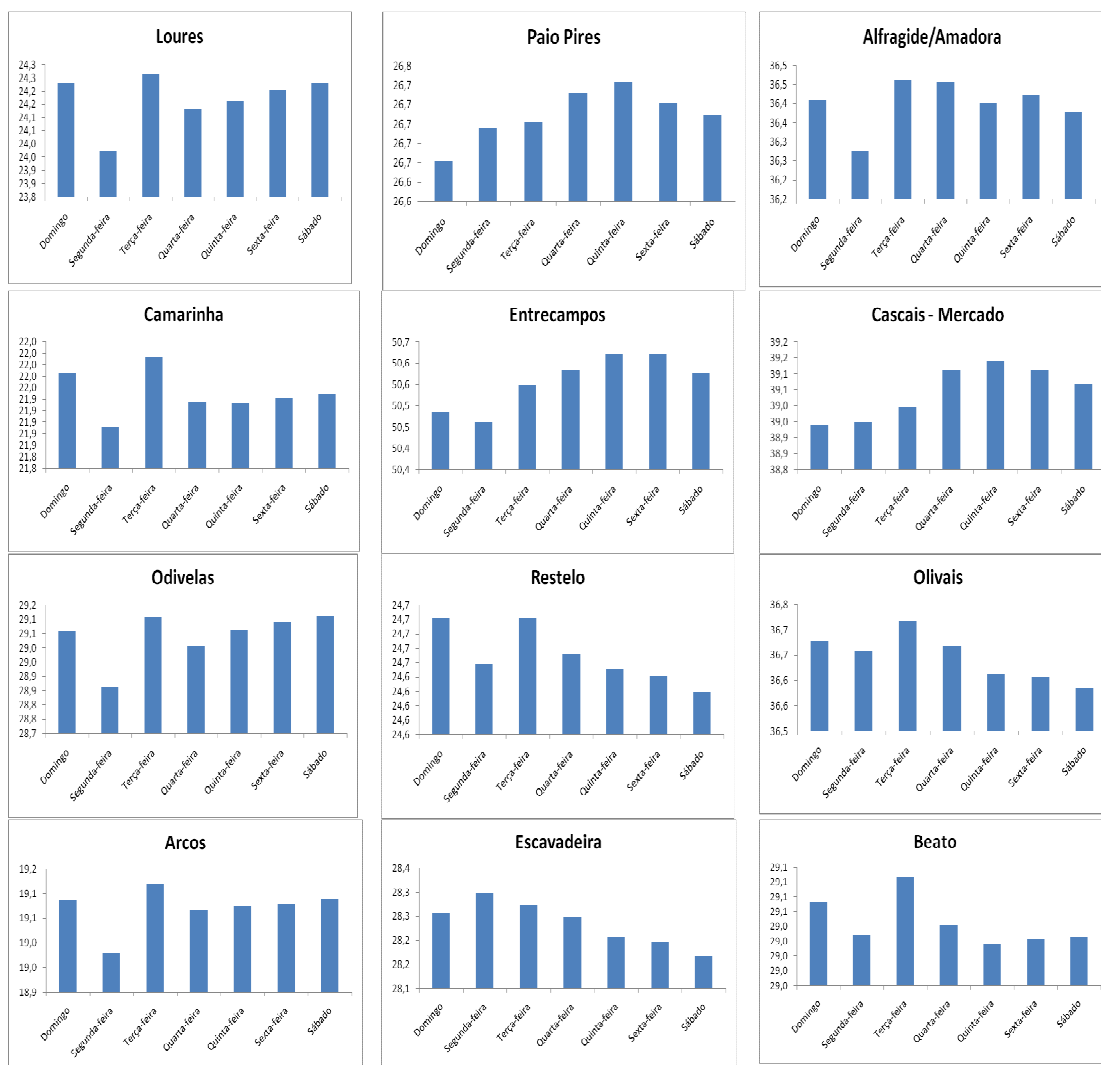
\*\*valor limite para protecção da saúde humana – 8 h - Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio

São as estações urbanas de tráfego da zona de Lisboa e Vale do Tejo as que apresentam valores superiores, tendo sido a estação da Avenida da Liberdade a registar o valor máximo. O valor mínimo localizou-se na estação urbana/industrial da Escavadeira.

### **3.1.5 DIÓXIDO DE AZOTO**

Na Figura 16 apresentam-se valores médios por dias de semana para o dióxido de azoto. Mais uma vez, os valores máximos aparecem associados às estações urbanas de tráfego. A Figura 17 apresenta os perfis horários da concentração de  $\text{NO}_2$  observados nalgumas estações de monitorização. Registam-se picos de concentração para todas as

estações por volta das 8:00 h e das 20:00 h coincidentes com o horário de maior fluxo automóvel. Os valores mínimos foram obtidos pelas 4:00 h. As excedências do valor limite horário para protecção da saúde humana são apresentadas na Tabela 11. O valor de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  definido na legislação foi ultrapassado 80 vezes na Avenida da Liberdade. É noutras estações urbanas de tráfego que se encontram as restantes excedências. As estações rurais da Chamusca e de Lamas de Olo são as que apresentam os valores mais baixos.





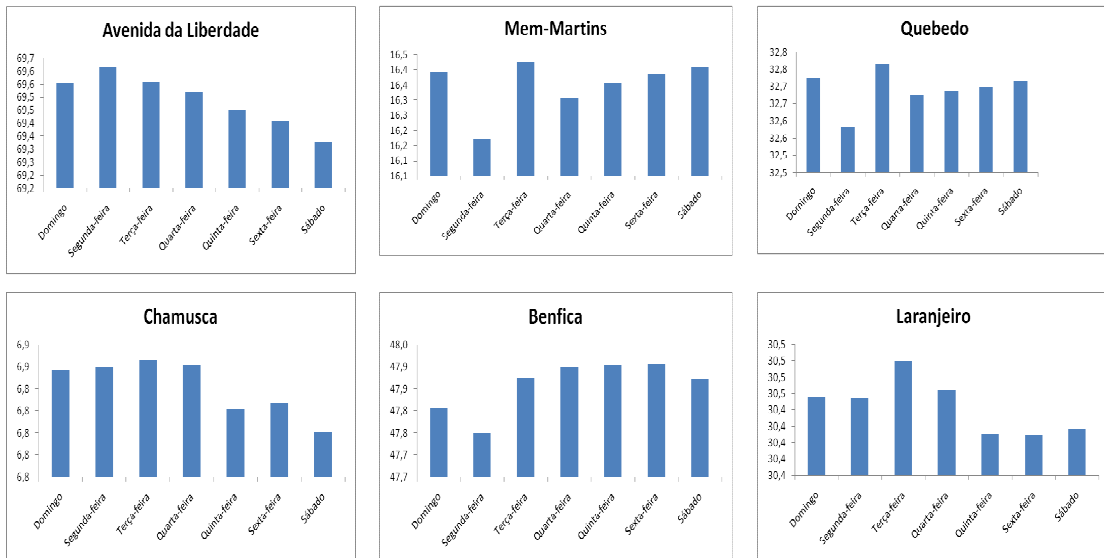


Figura 16: Concentrações médias diárias de NO<sub>2</sub> em µg/m<sup>3</sup> em várias estações.

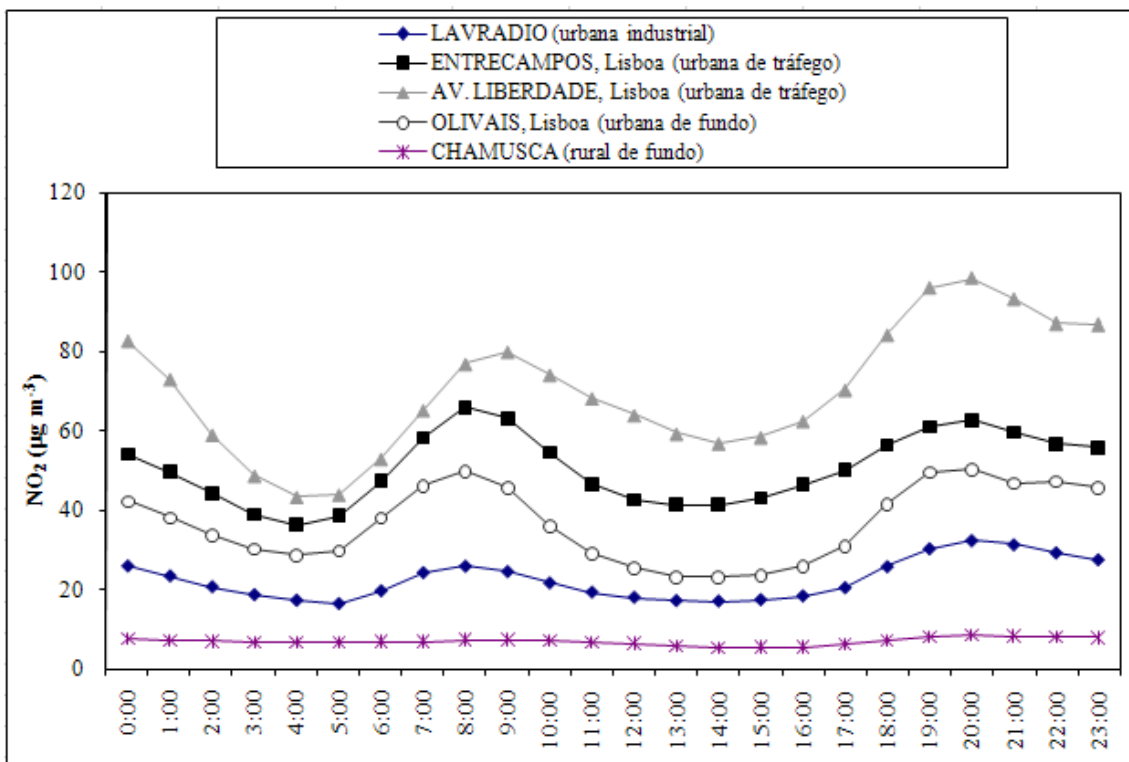


Figura 17 – Evolução da média horária das concentrações de NO<sub>2</sub> nalgumas estações.

**Tabela 11- Número de excedências, valor máximo e mínimo diário em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em diversas estações para  $\text{NO}_2$ .**

	<b>Estações</b>	<b>Tipo de estação</b>	<b>Excedências para valores superiores a <math>200 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>**</b>	<b>Máximo Valor Diário</b>	<b>Mínimo Valor Diário</b>
<b>Rede de Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo</b>	Olivais	Urbana/fundo	0	95	8,21
	Escavadeira	Urbana/Industrial*	0	75	3,03
	Chamusca	Rural/fundo	0	18	2,04
	Avenida da Liberdade	Urbana/tráfego	80	164	12,11
	Entrecampos	Urbana/tráfego	4	122	10,76
<b>Rede de Qualidade do Ar do Norte</b>	Lamas de Olo	Rural/fundo	0	8	0
	Boavista	Urbana/tráfego	4	104	18,29
<b>Rede de Qualidade do Ar do Centro</b>	Instituto Geográfico de Coimbra*	Urbana/fundo	0	55	5,54
	Estarreja/ Teixugueira	Suburbana/ industrial	0	58	0,88
<b>Rede de Qualidade do Ar do Algarve</b>	David Neto	Urbana/tráfego	0	52	1,26

\*estação com percentagem de dados inferior a 90%.

\*\*valor limite para protecção da saúde humana – valor horário - Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio.

### 3.1.6 OZONO

Na Figura 18 apresentam-se valores médios por dias da semana para diversas estações onde se efectua monitorização do ozono. Entre elas há que destacar as estações da Chamusca (rural de fundo), Mem – Martins e Quinta do Marquês (urbanas de fundo) onde se registaram os valores máximos, ao passo que Entrecampos (urbana de tráfego) contabiliza as médias por dias da semana mais baixas. Note-se que os valores máximos

são geralmente registados em estações rurais. Dado que a estação de Lamas de Olo não cumpria o critério de 90% de dados válidos, não se apresentou graficamente a evolução semanal das concentrações de ozono.



Figura 18: Concentração diária de O<sub>3</sub> em µg/m<sup>3</sup> em diversas estações.

A Figura 19 mostra o perfil de variação diário das concentrações horárias de ozono para algumas estações de monitorização. Uma possível explicação para o facto de se registarem valores mais elevados nas zonas rurais relaciona-se com o transporte para zonas rurais do principal precursor, o NO (emitido pelos automóveis nas cidades) que depois é convertido a NO<sub>2</sub>. As reacções fotoquímicas de formação do ozono demoram algum tempo, pelo que o andamento da curva diária do ozono nas zonas rurais é desfasado 1 a 2 horas em relação ao perfil do NO<sub>x</sub> em zonas urbanas. Assim, é habitual o registo de níveis de ozono significativamente mais elevados em áreas rurais e de montanha.

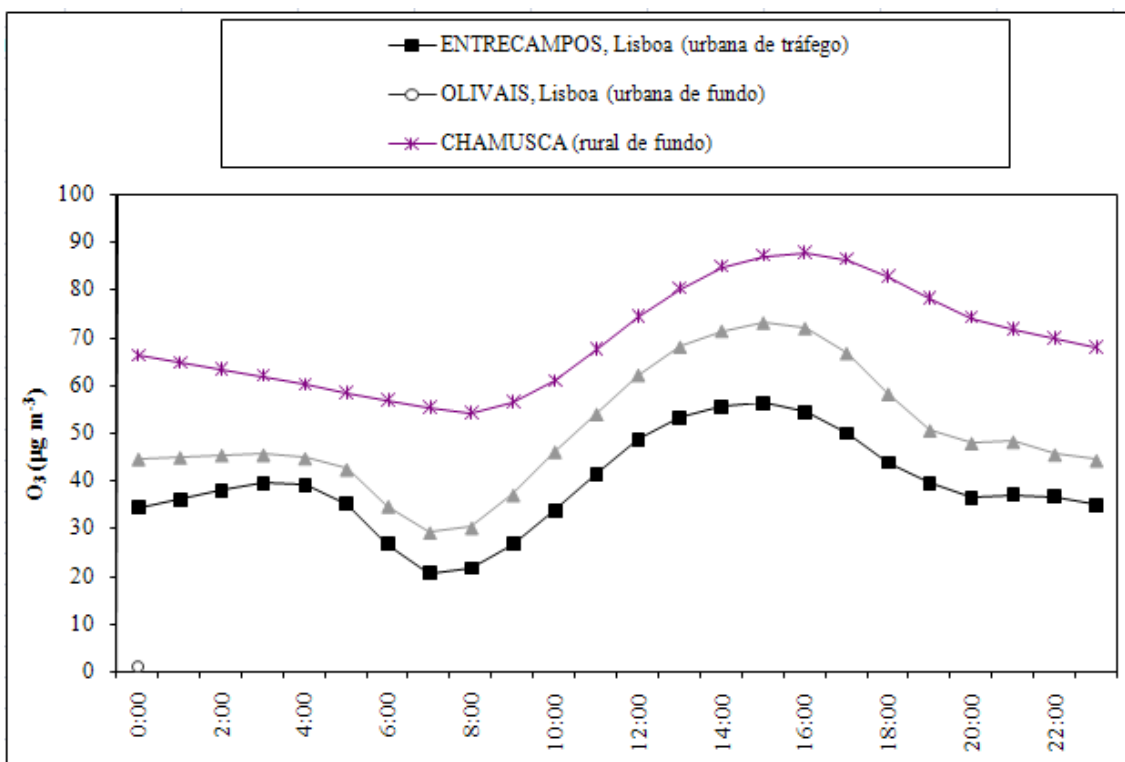


Figura 19 – Evolução da média horária das concentrações de O<sub>3</sub> nas várias estações.

A Tabela 12 apresenta as ultrapassagens da média octo-horária de 120 µg/m<sup>3</sup> estipulada para protecção da saúde humana. É nas estações rurais que se encontra o maior número de excedências, sobretudo em Lamas de Olo, tal como mencionado anteriormente.

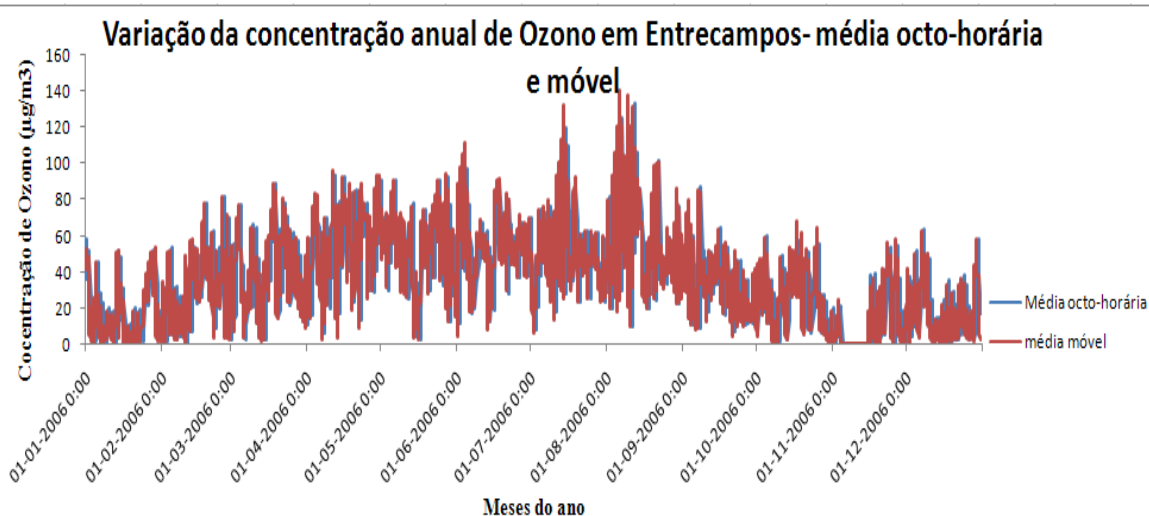
**Tabela 12- Número de excedências, valor máximo e mínimo diário em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em várias estações para o  $\text{O}_3$ .**

	<b>Estações</b>	<b>Tipo de estação</b>	<b>Excedências para valores superiores a <math>120 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>**</b>	<b>Máximo Valor Diário</b>	<b>Mínimo Valor Diário</b>
<b>Rede de Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo</b>	Olivais	Urbana/fundo	20	184	37
	Escavadeira*	Urbana/Industrial	16	179	34
	Chamusca	Rural/fundo	43	190	50
	Entrecampos	Urbana/tráfego	7	140	22
<b>Rede de Qualidade do Ar do Norte</b>	Lamas de Olo*	Rural/fundo	97	222	74
	Boavista*	Urbana/tráfego	0	89	23
<b>Rede de Qualidade do Ar do Centro</b>	Instituto Geográfico de Coimbra*	Urbana/fundo	15	172	34
	Estarreja/Teixugueira	Suburbana/industrial	27	183	34
<b>Rede de Qualidade do Ar do Algarve</b>	Pontal	Urbana/fundo	17	174	45

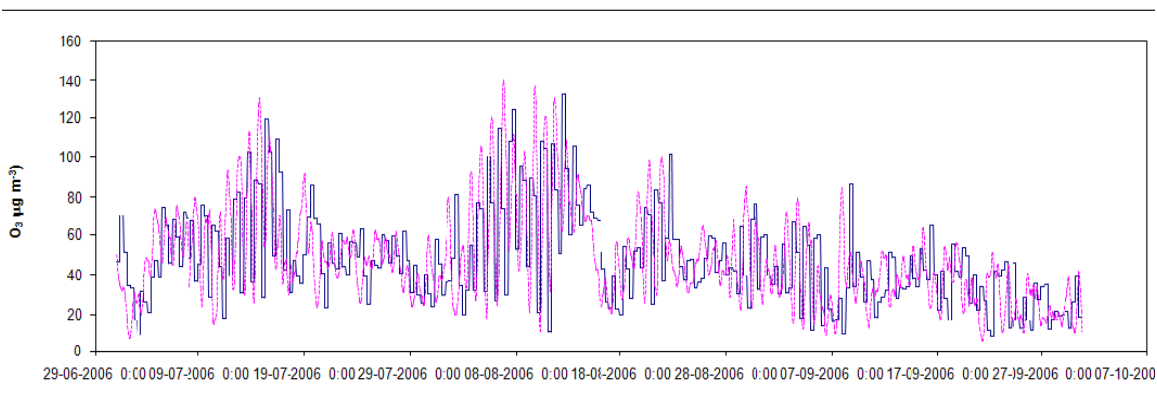
\*estação com percentagem de dados inferior a 90%.

\*\*valor limite para protecção da saúde humana – 8 h - Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio

A título de exemplo, as Figuras 20 e 21 representam, para a estação de Entrecampos, a variação da concentração de ozono calculada com base na média octo-horária sem sobreposição e na média móvel de 8 h. Ambas mostram que os valores máximos de ozono se localizam nos meses mais quentes, de Junho a Setembro, registando-se valores mínimos de Novembro a Janeiro. A Figura 21 mostra mais em detalhe os meses com concentrações mais elevadas. No Verão as condições de luminosidade e de temperatura são mais favoráveis à formação fotoquímica deste poluente secundário, pelo que as suas concentrações seguem um padrão marcadamente sazonal.



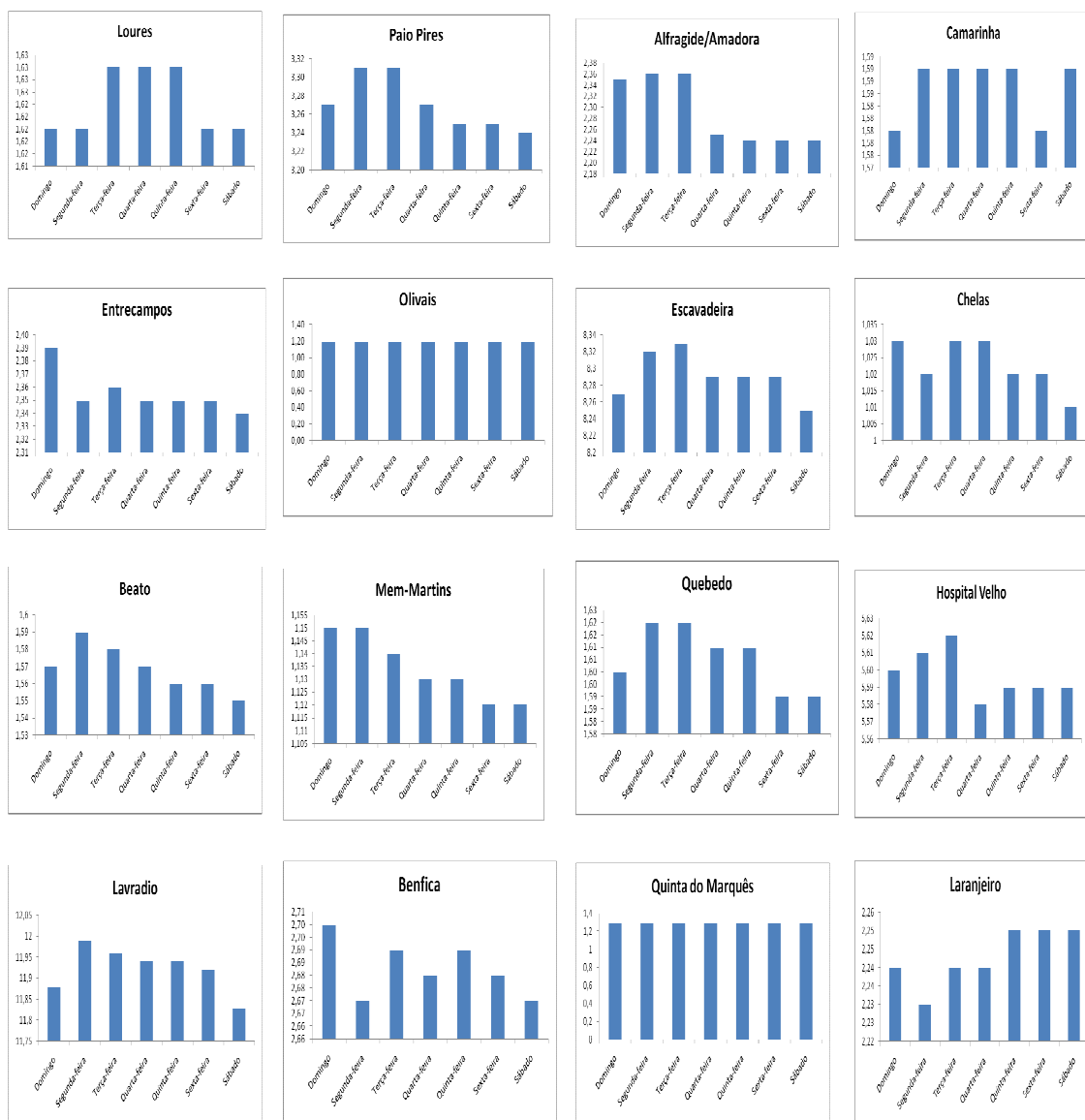
**Figura 20: Variação da concentração de O<sub>3</sub> ao longo do ano na estação de Entrecampos com média móvel e octo-horária.**



**Figura 21: Variação da concentração de O<sub>3</sub> na estação de Entrecampos para Junho e Outubro.**

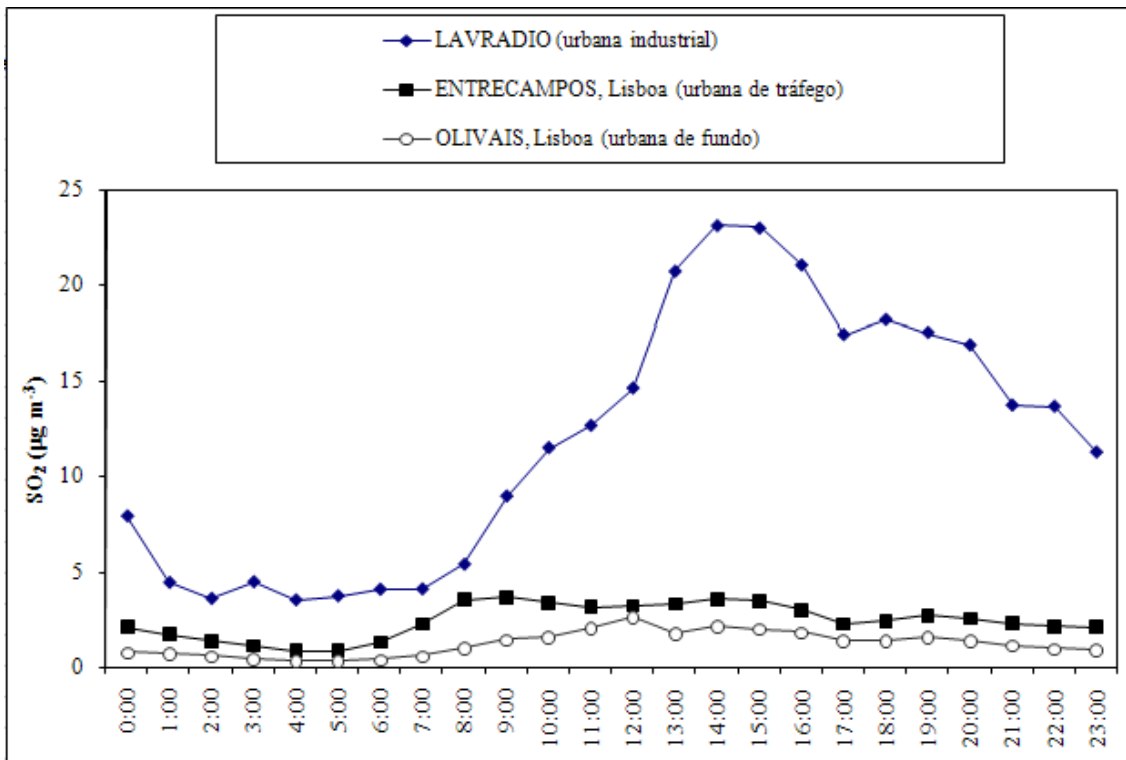
### 3.1.7 DIÓXIDO DE ENXOFRE

É nas estações urbanas industriais, nomeadamente do Lavradio e Escavadeira, que os valores de SO<sub>2</sub> são superiores, observando-se um decréscimo nos dias de fim-de-semana (Figura 22). As estações urbanas de fundo apresentam um padrão muito regular ao longo da semana. As demais estações não evidenciam uma tendência típica.



**Figura 22: Concentrações médias por dias da semana para o SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) em várias estações.**

É de destacar a evolução das concentrações ao longo do dia na estação industrial do Lavradio (Figura 23), onde se observa um perfil modal com máximo às 14 h. Para todas as estações verificam-se concentrações mínimas à noite e início da madrugada.



**Figura 23 – Evolução da média horária das concentrações de SO<sub>2</sub> nalgumas estações.**

Embora não tenha havido qualquer ultrapassagem ao limite legal imposto (125 µg/m<sup>3</sup>), as estações de Estarreja/Teixugueira e de Escavadeira registaram máximos diários de aproximadamente 40 µg/m<sup>3</sup>. A estação urbana de fundo dos Olivais registou o valor mais baixo (10 µg/m<sup>3</sup>), sendo que todas as estações urbanas e rurais de fundo apresentam valores similares (Tabela 13).



**Tabela 13- número de excedências, valor máximo e mínimo diário em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nas várias estações para  $\text{SO}_2$ .**

	Estações	Tipo de estação	Excedências para valores superiores a $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ **	Máximo Valor Diário	Mínimo Valor Diário
<b>Rede de Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo</b>	Olivais	Urbana/fundo	0	10	0
	Escavadeira	Urbana/Industrial	0	39	0
<b>Rede de Qualidade do Ar do Norte</b>	Lamas de Olo	Rural/fundo	0	17	74
	Boavista	Urbana/tráfego	0	25	0,08
<b>Rede de Qualidade do Ar do Centro</b>	Instituto Geográfico de Coimbra*	Urbana/fundo	0	19	0
	Estarreja/Teixugueira	Suburbana/industrial	0	40	0
<b>Rede de Qualidade do Ar do Algarve</b>	Pontal	Urbana/fundo	0	16	0,06

\*estação com percentagem de dados inferior a 90%.

\*\*valor limite para protecção da saúde humana – 24 h.- Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio

### 3.2 Índices de Qualidade do Ar

Para o cálculo dos índices API e AQI é necessário determinar, em primeiro lugar, os valores máximos, obtendo-se sub-índices para cada poluente e estação. Esta informação pode ser consultada no Anexo nº I. Os sub-índices API são calculados tendo em conta a expressão (9) e os valores padrão que se encontram na Tabela 14 (Liu, 2002). O índice obtido para determinada estação corresponde ao valor máximo de todos os sub-índices calculados.

Tabela 14: Valor API e respectivas concentrações padrão.

Índice de poluição	Concentração dos poluentes				
	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (mg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
50	50	80	50	5	120
100	150	120	150	10	200
200	800	280	350	60	400
300	1600	565	420	90	800
400	2100	750	500	120	1000
500	2620	940	600	150	1200

A expressão para o cálculo dos sub-índices API é a seguinte:

$$I_i = \left[ \frac{(VSA - VSB)}{(C_3 - C_2)} \right] \times (C - C_2) + VSB \quad (9)$$

Onde  $I_i$  é o sub-índice para um determinado poluente de uma estação,  $VSA$  e  $VSB$  são os valores padrão mais elevado e mais baixo, respectivamente,  $C_2$  e  $C_3$  correspondem à concentração mais baixa e mais alta desse poluente dentro dos valores padrão, e  $C$  é a concentração do poluente  $i$  medida na estação. Para exemplificar o cálculo, determinou-se o índice para um dia com uma concentração  $C$  de PM<sub>10</sub> de 115 µg/m<sup>3</sup>. Consultando a Tabela 12 verifica-se este valor se situa no intervalo de concentrações definido pelos níveis de 50 e 150 µg/m<sup>3</sup>, sendo estes os valores que definem  $C_2$  e  $C_3$ , respectivamente. Os respectivos  $VSA$  e  $VSB$  serão os valores API 100 e 50. Substituindo na expressão 9 obtém-se um índice para este poluente, ou um sub-índice para a estação, de 82.

O índice AQI é determinado com base na expressão:

$$I_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (10)$$

Onde,  $I_i$  é o sub-índice para um determinado poluente  $i$  de uma estação,  $C_i$  a concentração média obtida e  $S_i$  o valor limite legislado para esse poluente.

A Figura 24 compara os valores obtidos para os dois índices para as várias estações de Lisboa e Vale do Tejo.

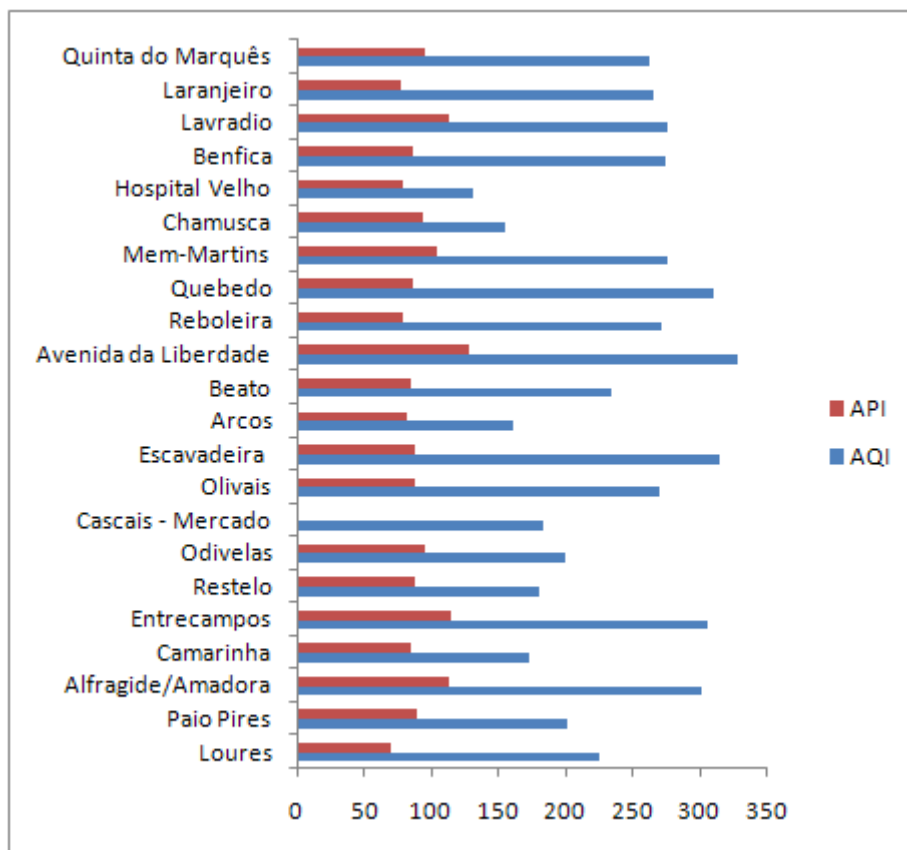


Figura 24: Índices AQI e API para diversas estações.

De um modo geral, os dois índices são concordantes na identificação das estações mais afectadas pela poluição atmosférica. De facto, é nas duas estações urbanas de tráfego de Entrecampos e da Avenida da Liberdade e na estação urbana industrial da Escavadeira que se registam os índices de poluição mais elevados. O valor do índice AQI para estes locais é superior a 300 (Tabela 15), indicando risco muito levado para a saúde pública. O índice API (Tabela 16) obtido para praticamente todas as estações apresenta valores entre os 50 e os 100, indicando que os níveis de poluição no ar são altos. Mais uma vez, para as estações de Entrecampos e Avenida da Liberdade regista-se uma qualidade do ar muito má com níveis API superiores a 100, indicando que a qualidade do ar é pior do que a preconizada pelos parâmetros a curto e a longo prazo. Para a estação de Cascais não foi possível determinar o índice API, já que os valores de concentração obtidos ficaram abaixo das concentrações padrão da Tabela 12.

**Tabela 15- Níveis de poluição atmosférica com respectivas leituras AQI (Adaptado de AIRNow, 2007).**

<b>Índice da qualidade do ar (AQI)</b>	<b>Níveis para alerta da saúde</b>	<b>Cores</b>
0 - 50	Bom	Verde
51- 100	Moderado	Amarelo
101 - 150	Pernicioso para grupos sensíveis	Laranja
151 - 200	Pernicioso	Vermelho
201 - 300	Muito pernicioso	Roxo
301 - 500	Risco muito elevado	Castanho

**Tabela 16- Níveis de poluição atmosférica com respectivas leituras API (Adaptado de GovHK, 2007).**

<b>Nível de poluição do ar</b>	<b>Gama de valores API</b>	<b>Condições de qualidade do ar</b>
Baixo	0 - 25	A qualidade do ar está entre os parâmetros, bom e aceitável, não representando motivo de preocupação.
Médio	26 - 50	A qualidade do ar está ainda dentro dos parâmetros aceitáveis.
Alto	51 - 100	A qualidade do ar está dentro dos parâmetros de qualidade definidos para curto prazo, mas fora deles a longo prazo.
Muito alto	101 - 200	A qualidade do ar é pior do que a preconizada pelos parâmetros a curto e a longo prazo.
Severo	201 - 500	A qualidade do ar é significativamente pior do que a preconizada pelos parâmetros a curto e a longo prazo

Calculou-se também o índice AQI médio anual e procedeu-se à comparação com os valores deste parâmetro publicado para outras cidades europeias (CITEAIR, 2007). Este índice representa um rácio entre a média anual de cada poluente e o valor limite legislado para idêntica base temporal (e.g. 10000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o CO e 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{SO}_2$ ). Os valores médios anuais para os poluentes monitorizados nalgumas estações da área de Lisboa são indicados na Tabela 17. A Tabela 18 mostra os índices AQI médios anuais calculados com o suporte da Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio e da legislação nacional em vigor. Na tabela 19 apresenta-se a classificação da qualidade do ar com base no índice obtido.

**Tabela 17- Médias anuais para diversos poluentes nas respectivas estações em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .**

	<b>Chamusca</b>	<b>Entrecampos</b>	<b>Av. Liberdade</b>	<b>Olivais</b>	<b>Escavadeira</b>
PM <sub>10</sub>	19	44	53	31	38
PM <sub>2.5</sub>	11	21	---	18	---
CO	---	414	524	337	267
O <sub>3</sub>	70	39	---	50	53
NO <sub>2</sub>	6,8	50	70	37	28
SO <sub>2</sub>	---	2,3	---	1,2	8,2

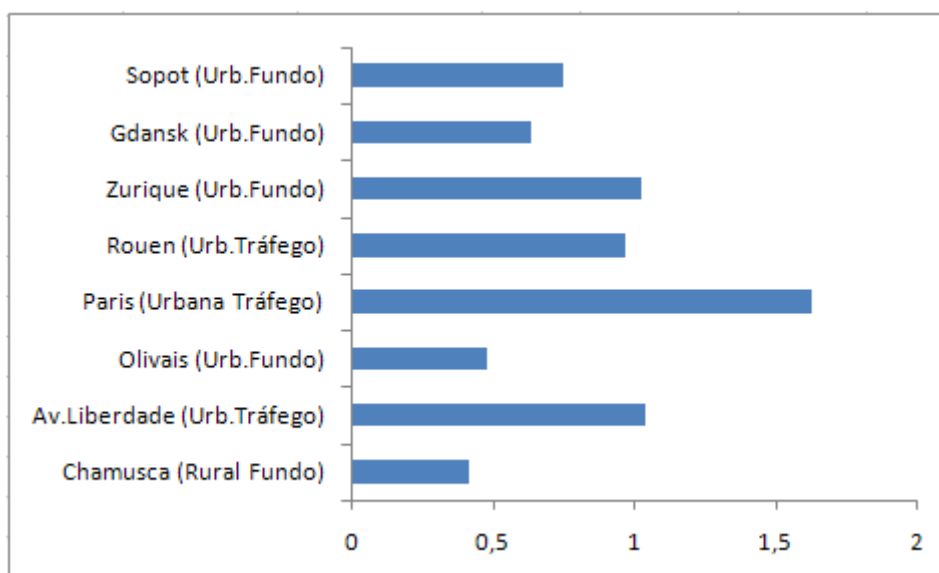
**Tabela 18- Índices para cada poluente de numa dada estação e respectiva média.**

	<b>Chamusca</b>	<b>Entrecampos</b>	<b>Av. Liberdade</b>	<b>Olivais</b>	<b>Escavadeira</b>
PM <sub>10</sub>	0,5	1,1	1,3	0,8	0,9
PM <sub>2.5</sub>	0,4	0,9	---	0,7	---
CO	---	0,04	0,05	0,03	0,03
O <sub>3</sub>	0,6	0,3	---	0,4	0,4
NO <sub>2</sub>	0,2	1,3	1,7	0,9	0,7
SO <sub>2</sub>	---	0,02	---	0,01	0,07
Média	0,4	0,6	1,0	0,5	0,5

**Tabela 19- Descrição da qualidade do ar com base no índice de qualidade do ar anual (Adaptado de CITEAIR, 2007)**

<b>Qualidade do ar</b>	<b>Índice</b>
Os parâmetros da UE são excedidos para um ou mais poluentes.	> 1
Os padrões da UE são cumpridos, em média.	1
Em média, observa-se o cumprimento dos valores regulamentados	< 1

A Figura 25 compara algumas estações de Lisboa com outras estações de cidades Europeias. O índice AQI médio anual confirma, mais uma vez, que a estação da Avenida da Liberdade é a que apresenta uma situação mais gravosa em termos de qualidade do ar, excedendo os parâmetros impostos pela UE. No entanto, o valor médio obtido para esta estação de tráfego é comparável ao reportado para o fundo urbano de Zurique e mais favorável do que o apresentado para Paris.



**Figura 25- Índices AQI em 2006 para as várias cidades europeias (CITEAIR, 2007).**

A Figura 26 compara os sub-índices AQI anuais para as estações de Entrecampos e Olivais com os reportados para outras cidades europeias. O sub-índice para o SO<sub>2</sub> nas estações da capital portuguesa apresenta valores próximos de zero, tal como se observa na cidade francesa de Rouen. A cidade polaca de Gdansk é a que

registou o sub-índice mais elevado para o SO<sub>2</sub>. Em contrapartida, a estação de Entrecampos apresenta um dos sub-índices mais elevados para PM<sub>10</sub>. São de destacar os valores significativamente superiores a 1 registados em Paris para os sub-índices do NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>, sugerindo níveis elevados de poluição atmosférica nesta capital europeia. Curiosamente, Zurique regista um sub-índice de qualidade do ar para o ozono elevado (> 1), indicando a possibilidade de transporte para a cidade de precursores do poluente secundário.

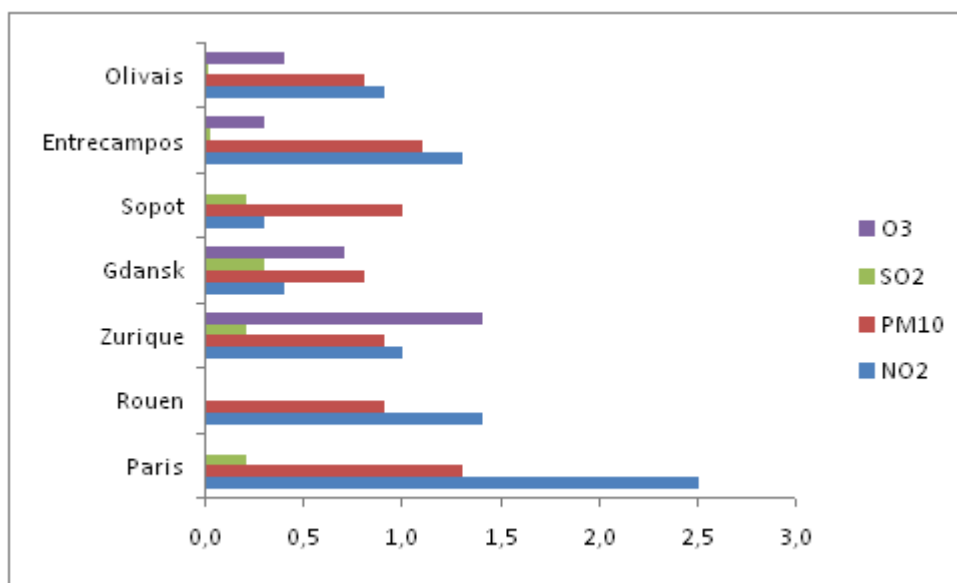


Figura 26- Sub-índices AQI em 2006 para diversos poluentes em várias cidades europeias (CITEAIR, 2007).

### 3.3 Distribuição de Frequências

Na análise das distribuições de PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> utilizaram-se funções densidade de probabilidade, as quais permitem também avaliar a frequência de elevadas concentrações. Para exemplificar a utilização do *software EasyFit 5.0* aos valores diários de PM<sub>10</sub> medidos na estação dos Olivais, nas Tabelas 20 e 21 mostram-se, respectivamente, os parâmetros característicos para as 61 funções de distribuição testadas e os parâmetros estatísticos que permitem avaliar a qualidade do ajuste realizado para cada função específica.

Através da Tabela 21 pode constatar-se que, dependendo do teste estatístico aplicado, pode não haver coincidência na escolha da função que melhor se ajusta aos dados. A título exemplificativo, mostram-se os resultados da aplicação dos 3 testes de avaliação da qualidade do ajuste para a função *Log-Gamma* (Tabela 22). De acordo com os testes de *Anderson-Darling* e *Chi-quadrado*, entre as 61 funções testadas, a função de distribuição *Log-Gamma* é a que melhor se ajusta aos dados, para qualquer grau de significância estatística. No entanto, de acordo com o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, a função *Log-Gamma* é a quarta melhor no que se refere à qualidade de ajuste à série de dados de PM<sub>10</sub> medida na estação dos Olivais.

**Tabela 20 – Parâmetros das funções densidade de probabilidade ajustadas aos valores de PM<sub>10</sub> medidos na estação dos Olivais (parâmetro de forma -  $\gamma$  ou  $\delta$  parâmetro de escala -  $\lambda$  ou  $\beta$ , parâmetro de localização -  $\xi$  ou  $\mu$ ).**

#	Distribution	Parameters
1	Beta	$\alpha_1=2.2914$ $\alpha_2=4.1771E+6$ $a=6.3831$ $b=4.4154E+7$
2	Burr	$k=0.73418$ $\alpha=3.9507$ $\beta=23.262$
3	Burr (4P)	$k=0.03333$ $\alpha=1.4435E+9$ $\beta=9.2367E+8$ $\gamma=-9.2367E+8$
4	Cauchy	$\sigma=7.6332$ $\mu=24.713$
5	Chi-Squared	$v=30$
6	Chi-Squared (2P)	$v=109$ $\gamma=-78.79$
7	Dagum	$k=1.8659$ $\alpha=2.956$ $\beta=19.797$
8	Dagum (4P)	$k=177.38$ $\alpha=5.1495$ $\beta=17.826$ $\gamma=-32.652$
9	Erlang	$m=3$ $\beta=9.0779$
10	Erlang (3P)	$m=2$ $\beta=10.24$ $\gamma=6.3033$
11	Error	$k=1.0104$ $\sigma=16.636$ $\mu=30.485$
12	Error Function	$h=0.04251$
13	Exponential	$\lambda=0.0328$
14	Exponential (2P)	$\lambda=0.0426$ $\gamma=7.01$
15	Fatigue Life	$\alpha=0.51319$ $\beta=26.947$
16	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0.56476$ $\beta=24.502$ $\gamma=2.0809$
17	Frechet	$\alpha=2.4856$ $\beta=21.244$



18	Frechet (3P)	$\alpha=5.0133$ $\beta=50.838$ $\gamma=-28.527$
19	Gamma	$\alpha=3.3582$ $\beta=9.0779$
20	Gamma (3P)	$\alpha=2.3616$ $\beta=10.24$ $\gamma=6.3033$
21	Gen. Extreme Value	$k=0.1649$ $\sigma=10.442$ $\mu=22.443$
22	Gen. Gamma	$k=1.049$ $\alpha=3.6037$ $\beta=9.0779$
23	Gen. Gamma (4P)	$k=0.51984$ $\alpha=9.1504$ $\beta=0.32504$ $\gamma=5.2817$
24	Gen. Pareto	$k=-0.12405$ $\sigma=20.631$ $\mu=12.131$
25	Gumbel Max	$\sigma=12.971$ $\mu=22.998$
26	Gumbel Min	$\sigma=12.971$ $\mu=37.972$
27	Hypersecant	$\sigma=16.636$ $\mu=30.485$
28	Inv. Gaussian	$\lambda=102.38$ $\mu=30.485$
29	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=88.037$ $\mu=28.868$ $\gamma=1.6177$
30	Johnson SB	$\gamma=2.1498$ $\delta=1.0544$ $\lambda=144.71$ $\xi=9.1024$
31	Kumaraswamy	$\alpha_1=1.5187$ $\alpha_2=1777.8$ $a=6.8313$ $b=3645.9$
32	Laplace	$\lambda=0.08501$ $\mu=30.485$
33	Levy	$\sigma=23.803$
34	Levy (2P)	$\sigma=14.309$ $\gamma=6.1891$
35	Log-Gamma	$\alpha=43.443$ $\beta=0.07572$
36	Log-Logistic	$\alpha=3.5635$ $\beta=26.73$
37	Log-Logistic (3P)	$\alpha=2.7917$ $\beta=21.305$ $\gamma=4.8169$
38	Log-Pearson 3	$\alpha=97.611$ $\beta=0.05052$ $\gamma=-1.6413$
39	Logistic	$\sigma=9.1717$ $\mu=30.485$
40	Lognormal	$\sigma=0.49841$ $\mu=3.2896$
41	Lognormal (3P)	$\sigma=0.56627$ $\mu=3.1579$ $\gamma=2.8841$
42	Nakagami	$m=0.64043$ $\Omega=1205.3$
43	Normal	$\sigma=16.636$ $\mu=30.485$
44	Pareto	$\alpha=0.74501$ $\beta=7.01$
45	Pareto 2	$\alpha=107.82$ $\beta=2917.1$
46	Pearson 5	$\alpha=4.3344$ $\beta=103.17$

47	Pearson 5 (3P)	$\alpha=5.5473$ $\beta=154.06$ $\gamma=-3.2777$
48	Pearson 6	$\alpha_1=17.547$ $\alpha_2=5.7202$ $\beta=8.228$
49	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=6.6552$ $\alpha_2=6.4251$ $\beta=22.334$ $\gamma=3.158$
50	Pert	m=16.761 a=6.9205 b=117.44
51	Power Function	$\alpha=0.36336$ a=7.01 b=108.01
52	Rayleigh	$\sigma=24.324$
53	Rayleigh (2P)	$\sigma=22.114$ $\gamma=3.9878$
54	Reciprocal	a=7.01 b=108.01
55	Rice	v=0.01079 $\sigma=24.549$
56	Student's t	v=2
57	Triangular	m=13.7 a=6.102 b=108.44
58	Uniform	a=1.6717 b=59.299
59	Weibull	$\alpha=2.4381$ $\beta=33.783$
60	Weibull (3P)	$\alpha=1.5183$ $\beta=26.347$ $\gamma=6.839$
61	Johnson SU	No fit

**Tabela 21 - Parâmetros estatísticos que permitem avaliar a qualidade do ajuste realizado para cada função de distribuição**

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
35	Log-Gamma	0.02679	4	0.18751	1	1.8041	1
49	Pearson 6 (4P)	0.02681	5	0.24229	4	2.2154	2
47	Pearson 5 (3P)	0.02876	8	0.23334	2	2.3658	3
48	Pearson 6	0.02844	7	0.23759	3	2.3791	4
46	Pearson 5	0.02716	6	0.25982	7	2.8089	5

38	Log-Pearson 3	0.02575	2	0.25531	5	3.0113	6
7	Dagum	0.03322	12	0.3848	13	3.7776	7
18	Frechet (3P)	0.03195	11	0.27754	8	3.9705	8
21	Gen. Extreme Value	0.03073	9	0.36381	10	4.0496	9
41	Lognormal (3P)	0.02595	3	0.25724	6	4.3428	10
29	Inv. Gaussian (3P)	0.03107	10	0.30072	9	4.4892	11
37	Log-Logistic (3P)	0.03344	13	0.38061	12	5.2081	12
23	Gen. Gamma (4P)	0.03614	17	0.46569	14	5.2376	13
16	Fatigue Life (3P)	0.03432	14	0.37016	11	5.4541	14
28	Inv. Gaussian	0.03566	16	0.52897	15	5.5831	15
40	Lognormal	0.03488	15	0.63609	17	6.1424	16
2	Burr	0.03938	18	0.60448	16	6.6772	17
17	Frechet	0.06364	24	2.6428	24	7.8823	18
15	Fatigue Life	0.0416	20	0.69119	18	7.91	19
36	Log-Logistic	0.04174	21	1.0672	19	10.188	20
1	Beta	0.05236	23	1.1569	21	10.828	21
20	Gamma (3P)	0.05042	22	1.1038	20	11.02	22
3	Burr (4P)	0.07873	30	3.7321	28	17.838	23
22	Gen. Gamma	0.0737	29	3.1282	25	20.858	24
60	Weibull (3P)	0.06631	26	2.4973	22	23.177	25

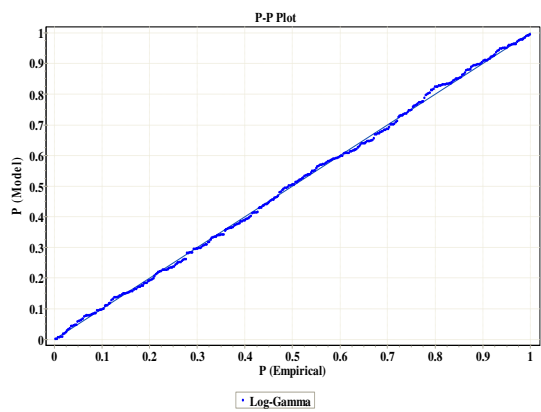
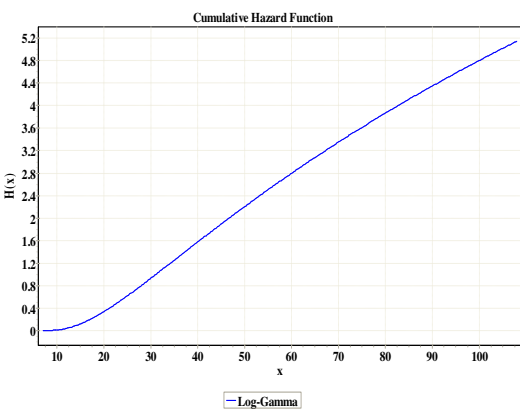
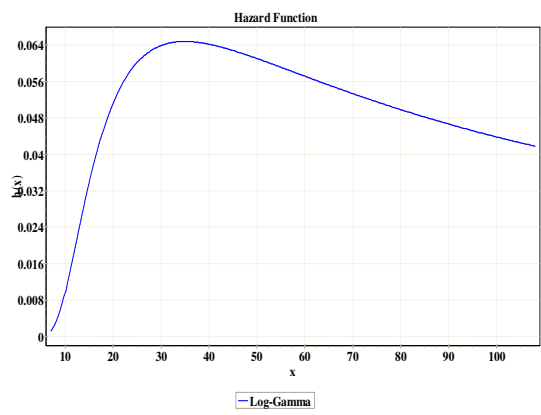
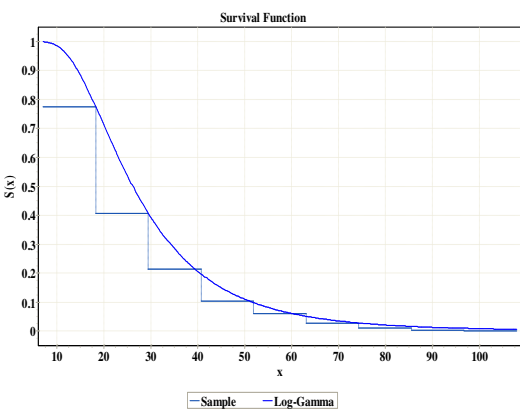
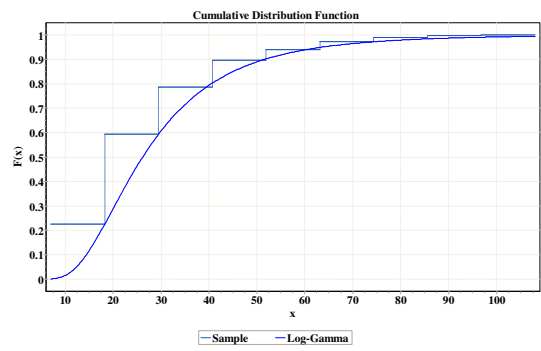
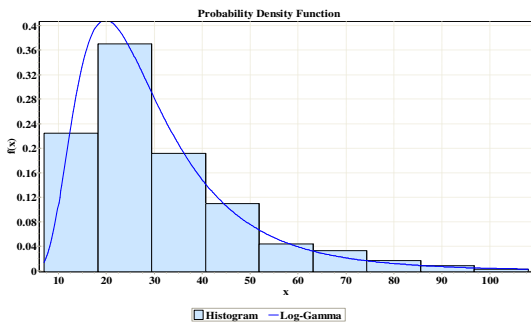
31	Kumaraswamy	0.06654	27	2.5089	23	23.975	26
25	Gumbel Max	0.06616	25	3.2231	26	27.159	27
19	Gamma	0.0689	28	3.3311	27	28.447	28
10	Erlang (3P)	0.10784	35	11.503	36	30.394	29
59	Weibull	0.09373	32	8.8055	32	35.247	30
53	Rayleigh (2P)	0.12251	37	8.9023	34	37.528	31
50	Pert	0.09875	33	5.9385	29	40.847	32
4	Cauchy	0.13903	42	12.328	39	41.661	33
9	Erlang	0.12546	38	10.981	35	45.616	34
55	Rice	0.10042	34	6.6553	31	47.94	35
6	Chi-Squared (2P)	0.10926	36	8.8503	33	51.21	36
52	Rayleigh	0.09372	31	6.2784	30	51.919	37
27	Hypersecant	0.13457	39	12.257	38	54.386	38
39	Logistic	0.13467	40	11.756	37	58.277	39
32	Laplace	0.15404	45	14.794	42	61.865	40
11	Error	0.15287	44	14.655	41	63.358	41
43	Normal	0.13676	41	12.605	40	75.534	42
14	Exponential (2P)	0.18374	48	19.824	44	94.588	43
42	Nakagami	0.17832	47	15.93	43	100.13	44
26	Gumbel Min	0.20545	49	43.613	47	109.17	45

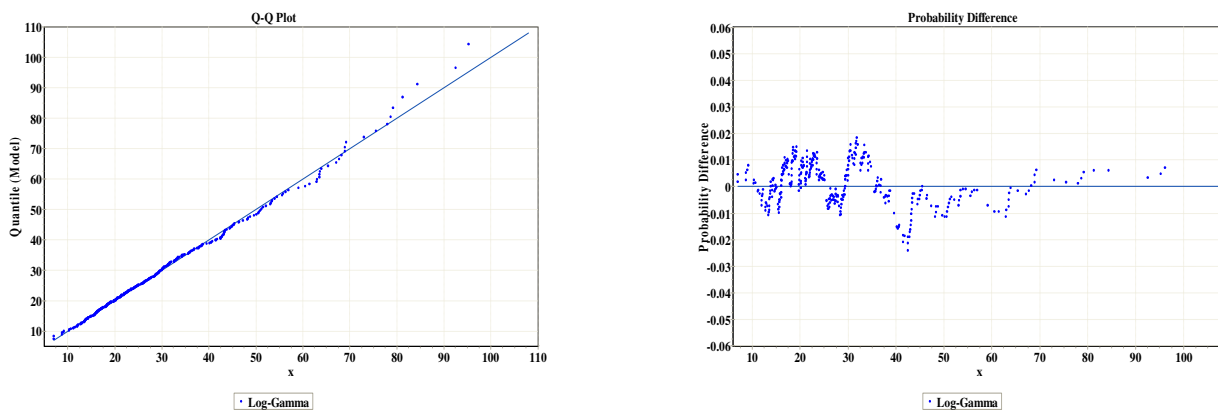
8	Dagum (4P)	0.22782	50	50.435	49	110.19	46
57	Triangular	0.28106	52	55.566	51	140.93	47
54	Reciprocal	0.17718	46	29.499	46	194.7	48
13	Exponential	0.29583	53	45.312	48	229.13	49
45	Pareto 2	0.33007	56	56.671	52	233.22	50
5	Chi-Squared	0.22845	51	82.19	56	249.53	51
34	Levy (2P)	0.33595	57	60.347	54	315.06	52
44	Pareto	0.3262	55	67.218	55	326.98	53
51	Power Function	0.30691	54	51.884	50	356.76	54
33	Levy	0.41209	58	94.518	57	502.79	55
12	Error Function	0.73171	59	558.06	59	1867.6	56
56	Student's t	0.99013	60	2085.7	60	1.6275E+5	57
24	Gen. Pareto	0.0413	19	57.42	53	N/A	
30	Johnson SB	0.02557	1	20.38	45	N/A	
58	Uniform	0.14958	43	109.82	58	N/A	
61	Johnson SU	No fit					

**Tabela 22- Testes de avaliação da qualidade do ajuste para a função Log-Gamma.**

<b>Log-Gamma [#35]</b>					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	365				
Statistic	0.02679				
P-Value	0.94955				
Rank	4				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.05616	0.06401	0.07108	0.07946	0.08527
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	365				
Statistic	0.18751				
Rank	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	8				
Statistic	1.8041				
P-Value	0.98644				
Rank	1				
$\alpha$	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	11.03	13.362	15.507	18.168	20.09
Reject?	No	No	No	No	No

Para esta parte do trabalho elaboraram-se através do *EasyFit 5.0* vários gráficos para as diversas distribuições de forma a poder escolher a distribuição mais acertada. Para a escolha da distribuição mais correcta o *software* coloca as mesmas num ranking facilitando a escolha. Este teste foi realizado para a matéria particulada PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> nas estações de Entrecampos, Olivais, Cerro e Fundão. Na Tabela 21 pode-se observar um excerto da tabela obtida pelo programa para as concentrações de PM<sub>2,5</sub> para a estação dos Olivais, onde o *raking* das distribuições é apresentado. Quanto menor for esse *ranking* mais se ajusta essa distribuição aos dados. Neste caso em específico foram escolhidas as distribuições de *Johnson SB*, *Fatigue Life (3P)* e *Gen. Gamma (4P)* já que o teste *Chi-quadrado* não se aplicava á distribuição de *Gen. Pareto*.





**Figura 27 – Vários tipos de gráficos obtidos para a concentração de  $PM_{2,5}$  na estação dos Olivais.**

A função densidade de probabilidade é a probabilidade de uma variável (neste caso,  $PM_{2,5}$  na Figura 27) tomar o valor  $x$ . No exemplo apresentado, verifica-se que o intervalo de concentrações de 20 a 30  $\mu g/m^3$  é o que corresponde a uma maior probabilidade de ocorrência (aproximadamente 36% do total de registos). A função de distribuição cumulativa representa a probabilidade da variável tomar valores iguais ou inferiores a  $x$ . A função “sobrevivência” representa a probabilidade da variável tomar um valor maior do que  $x$ . A função “perigo” (ou rácio de “falha”) representa um rácio entre a função densidade de probabilidade e a função “sobrevivência. Se a função “perigo” é constante, então a “falha” ocorre com igual frequência durante qualquer período de tempo. Se a função não for constante (como no exemplo apresentado), então o rácio de “falha” varia com o tempo. A função “perigo” cumulativa representa a probabilidade de “falha” em determinado momento e durante um determinado período de tempo. O gráfico probabilidade-probabilidade (P-P) representa os valores empíricos *versus* valores teóricos da função de distribuição cumulativa. É utilizada para verificar a qualidade do ajuste aos dados observados por determinada distribuição. O gráfico produzido será aproximadamente linear se a distribuição teórica escolhida representar o modelo correcto. O gráfico quartil-quartil (Q-Q) representa os valores observados (dados de entrada) *versus* a distribuição teórica ajustada. A linearidade deste gráfico é um bom indicador de que o modelo testado produz um bom ajuste dos dados observados. O gráfico de probabilidade da diferença representa a diferença entre as funções de distribuição cumulativa e teórica., podendo ser usado para determinar o quanto se afastam os valores preditivos do modelo dos valores medidos.



Na Tabela 23 encontra-se a compilação dos parâmetros das funções de distribuição que melhor se ajustam aos dados de  $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$  nalgumas estações.

**Tabela 23- Distribuições que melhor se ajustam aos valores de  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  e respectivos parâmetros para diversas estações.**

	$PM_{2.5}$		$PM_{10}$	
	Distribuições	Parâmetros	Distribuições	Parâmetros
Olivais	Johnson SB	$\gamma=1,7617$ $\delta=0,94324$ $\lambda=73,771$ $\xi=0,99458$	Log-Gamma	$\alpha=43,443$ $\beta=0,07572$
	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,76668$ $\beta=11,007$ $\gamma=-0,32423$	Pearson 6(4P)	$\alpha_1=6,6552$ $\alpha_2=6,4251$ $\beta=22,334$ $\gamma=3,158$
	Gen. Gamma (4P)	$k=0,82537$ $\alpha=2,1124$ $\beta=4,8624$ $\gamma=1,2234$	Pearson 5(3P)	$\alpha=5,5473$ $\beta=154,06$ $\gamma=-3,2777$
Entrecampos	Lognormal (3P)	$\sigma=0,59962$ $\mu=2,6689$ $\gamma=1,1146$	Lognormal(P)	$\sigma=0,50954$ $\mu=3,467$ $\gamma=4,0655$
	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=48,7$ $\mu=18,032$ $\gamma=0,31263$	Pearson 6	$\alpha_1=16,745$ $\alpha_2=7,6648$ $\beta=16,148$
	Log-Pearson 3	$\alpha=303,23$ $\beta=0,03167$ $\gamma=-6,8475$	Log-Pearson 3	$\alpha=239,94$ $\beta=0,02892$ $\gamma=-3,3396$
Cerro	Gen. Gamma (4P)	$k=0,58152$ $\alpha=7,2298$ $\beta=0,24795$ $\gamma=0,30725$	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,66008$ $\beta=14,079$ $\gamma=0,84107$
	Pearson 6	$\alpha_1=2,559$ $\alpha_2=25,348$ $\beta=73,866$	Fatigue Life	$\alpha=0,61319$ $\beta=15,147$
	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,60035$ $\beta=14,998$ $\gamma=0,64638$	Johnson SB	$\gamma=2,4663$ $\delta=1,1751$ $\lambda=114,75$ $\xi=2,4615$
Fundão	Fatigue Life	$\alpha=0,68185$ $\beta=8,3656$	Pearson 6	$\alpha_1=6,3868$ $\alpha_2=6,1829$ $\beta=17,626$
	Inv. Gaussian	$\lambda=19,79$ $\mu=10,302$	Lognormal	$\sigma=0,58721$ $\mu=2,9045$
	Lognormal	$\sigma=0,65333$ $\mu=2,1246$	Burr (4P)	$k=1,7392$ $\alpha=2,1638$ $\beta=22,293$ $\gamma=2,3621$

As Figuras 28 e 29 representam funções de distribuição estatisticamente “bem” ajustadas aos dados de  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ , nalgumas estações. De notar que, nas estações de Lisboa, a probabilidade de registo de concentrações superiores a  $50 \mu g/m^3$ , no caso de  $PM_{2,5}$ , ou superiores a  $100 \mu g/m^3$ , no caso de  $PM_{10}$ , é inferior a 4%.

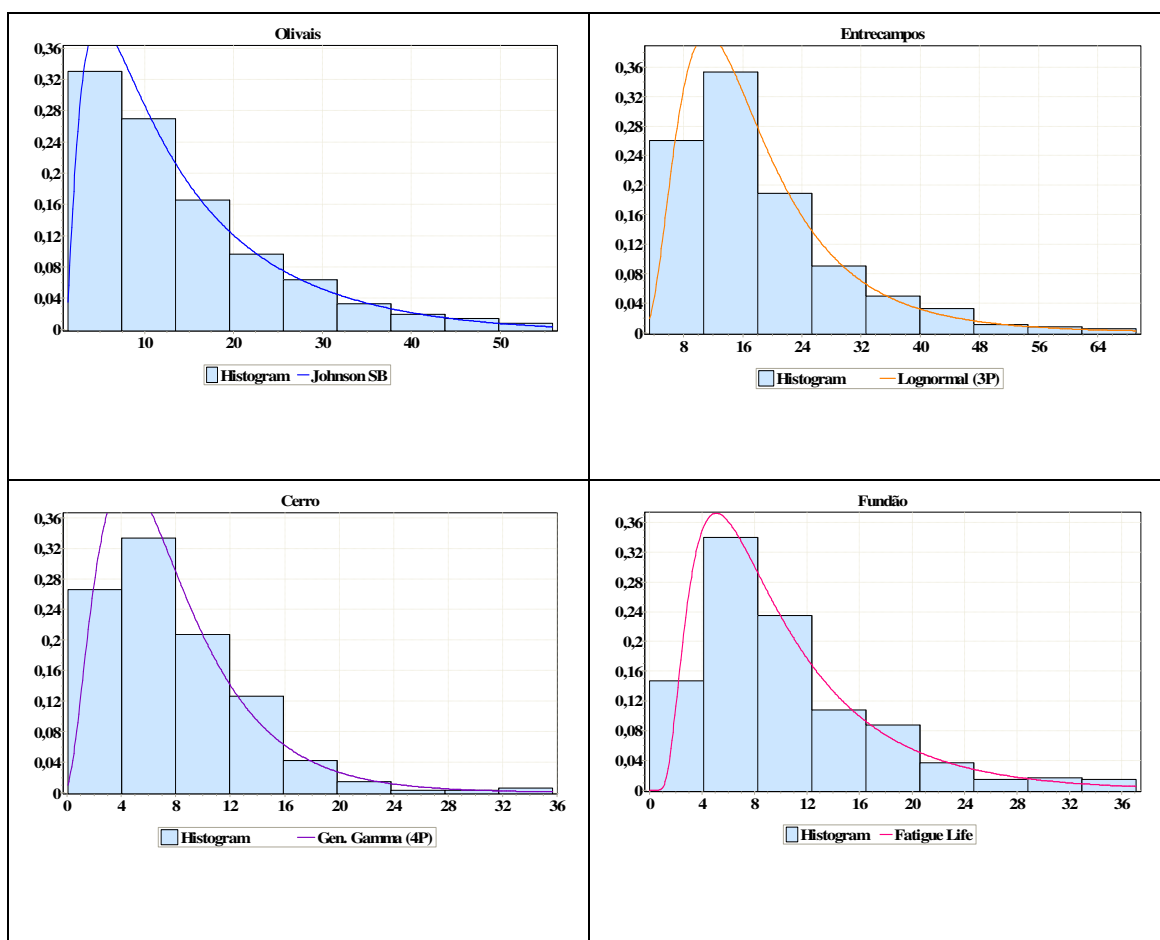


Figura 28- Algumas das distribuições de frequência seleccionadas que se ajustam às concentrações de  $PM_{2,5}$  medidas nalgumas estações.

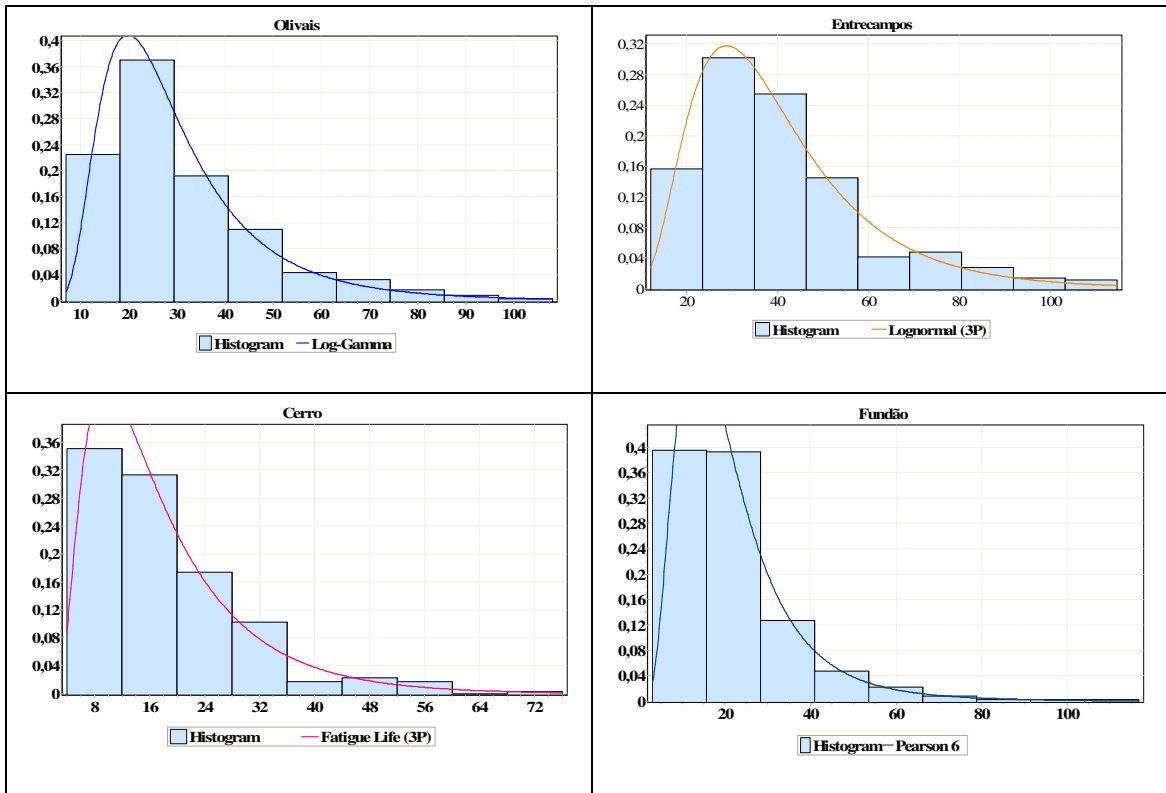


Figura 29- Algumas das distribuições de frequência seleccionadas que se ajustam às concentrações de PM10 medidas nalgumas estações.

## 4. CONCLUSÕES

Com base nas séries temporais obtidas através da Agência Portuguesa do Ambiente no ano de 2006 efectuou-se uma análise comparativa da qualidade do ar registada em várias estações da rede de monitorização, focando particularmente a área metropolitana de Lisboa.

Das estações que monitorizam matéria partícula  $PM_{10}$ , a da Avenida da Liberdade (urbana de tráfego) foi a que mais excedências registou, num total de 145, relativamente ao valor limite diário para protecção da saúde humana de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio e Decreto-Lei nº111/2002 de 16 de Abril). Os ciclos diários deste poluente caracterizam-se por valores mínimos durante a madrugada e máximos durante a manhã e no fim da tarde, em períodos coincidentes com as horas de ponta da circulação rodoviária. De um modo geral, observa-se para as várias estações um pico de concentrações de matéria particulada em Agosto que poderá estar relacionado com a ressuspensão de poeiras do solo em consequência de um tempo mais árido. No entanto, as concentrações mais elevadas são registadas no período de Inverno, altura em que se poderá registar um aumento significativo das emissões resultantes do aquecimento doméstico e condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão. As retro-trajectórias *HYSPLIT* revelaram uma maior frequência de transporte atmosférico com proveniência oceânica para os meses de Verão, e de trajectórias do Norte de África para os meses de Inverno. Isto poderá ser indicativo de um enriquecimento do aerossol atmosférico com *spray* marinho e com poeiras do Sahara, respectivamente.

Para a matéria particulada  $PM_{2,5}$ , foi na estação industrial de Estarreja/Teixugueira onde se verificou maior número de ultrapassagens, 124, relativamente ao valor anual legislado ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pela directiva acima mencionada. Os valores mínimos obtidos foram registados em estações de zonas rurais. A evolução da média horária das concentrações caracteriza-se por valores máximos ao fim da tarde e início de noite e valores mínimos ao meio da tarde. Os valores mensais mais elevados foram obtidos no Inverno. De salientar que nesta época do ano há um acréscimo de emissões provenientes de aquecimento e transporte continental de partículas do sul e centro da Europa.

No que diz respeito ao monóxido de carbono, foram calculadas para as várias estações as concentrações médias de 8 h, não se verificando qualquer ultrapassagem do valor de  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  para a protecção da saúde humana estipulado no Decreto-Lei nº 111/2002 de 16 de Abril. As estações urbanas de tráfego da Avenida da Liberdade e de Entrecampos registam os valores máximos relativamente às restantes estações analisadas. Os ciclos diários caracterizam-se por valores mínimos durante a madrugada e meio da tarde com picos máximos durante a manhã e o fim da tarde e início de noite.

Quanto ao dióxido de azoto, o nível horário de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estabelecido pela legislação acima referida, foi ultrapassado 80 vezes na estação da Avenida da Liberdade e 4 vezes em Entrecampos e na Boavista. O valor máximo pertence à primeira estação referida. O perfil de evolução da média horária é idêntico ao do poluente anterior, registando valores mínimos durante a madrugada e valores máximos no período matinal, fim da tarde e início de noite.

Foram calculadas médias octo-horárias para o ozono, tendo-se registado 97 ultrapassagens do valor limite de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na estação montanhosa de Lamas de Olo. A estação rural da Chamusca também apresenta um número significativo de excedências, 43. A evolução da média horária das concentrações de  $O_3$  segue um perfil com valores mínimos nas primeiras horas da manhã e valores máximos a meio da tarde, de acordo com o ciclo fotoquímico diário típico. Os níveis deste poluente tornam-se superiores na época quente, altura em que as condições de radiação e de temperatura são propícias à formação deste poluente secundário.

Para o dióxido de enxofre não se verifica qualquer excedência ao valor limite ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para a protecção da saúde humana nas estações que monitorizaram este poluente. As estações com concentrações mais elevadas foram a do Lavradio, Escavadeira e Estarreja/Teixugueira, todas elas estações industriais. Verifica-se uma

tendência generalizada de valores relativamente altos durante a semana e aos fins-de-semana um decréscimo dos mesmos. Os ciclos horários caracterizam-se por valores mais elevados durante o período laboral e mínimos durante a noite. Este perfil é mais vincado para a estação do Lavradio.

Os índices de qualidade do ar AQI e API são superiores para a estação da Avenida da Liberdade, ao passo que estações de cariz rural ou urbano de fundo apresentam valores inferiores. Comparando os valores dos índices obtidos para Lisboa com os reportados para outras cidades Europeias, constata-se que a qualidade do ar na estação da Avenida da Liberdade é, apesar de tudo, melhor do que a medida noutras metrópoles, como Paris ou Zurique.

## 5. REFERÊNCIAS

Agrawal, M., Singh, B., Rajput, M., Marshall, F. e Bell, J.N.B. (2003). Effect of air pollution on peri-urban agriculture: a case study. *Environ Pollut*, 126, 323–329.

AIRNow (2007) Air Quality Index - A Guide to Air Quality and Your Health. US Environmental Protection Agency. URL: <http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=static.aqi> (Consultada em Outubro de 2008).

Artíñano, B., Querol, X., Salvador, P., Rodríguez, S., Alonso, D. e Alastuey, A. (2000). Assessment of airborne particulate levels in Spain in relation to the new EU-directive. *Atmos Environ*, 35, S43-S53.

Artíñano, B., Salvador, P., Alonso, D.G., Querol, X., , Andrés Alastuey. (2004). Influence of traffic on the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> urban aerosol fractions in Madrid (Spain). *Sci Total Environ*, 334-335, 111-123.

Almeida, S. M., Pio, C. A. e Freitas, M. C., *et al.* (2005). Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast. *Atmos Environ*, 39, 3127–3138.

Atkinson, R. (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmos Environ* ,34, 2063–101.

Bailey, D. e Solomon, G. (2004). Pollution prevention at ports: clearing the air. *Environ Impact Assess*, 24, 749–774.

Baldasano, J.M., Valera, E. e Jimenez, P.(2003). Air quality data from large cities. *Sci Total Environ*, 307, 141–165.

Belanger, K., Leaderer, B.P., Gent, J.F., Triche, E.W. e Bracken, M.B. (2006). Association of indoor nitrogen dioxide exposure with respiratory symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med*, 173, 297-303.

Brunekreef, B. e Holgate, T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360,1233-1242.

Brajer, V., Mead, R.W. e Xiao, F. (2006). Valuing the health impacts of air pollution in Hong Kong. *J Asian Econ* ,17, 85–102.

Brankov, E., Henry, R., Civerolo, K., Hao, W., Rao, S.T. e Misra, P. *et al.* (2003). Assessing the effects of transboundary ozone pollution between Ontario, Canada and New York, USA, *Environ Pollut*, 123, 403–411.

Brulfert, G.T., Cholleta, J.P., Jouveb, B. e Villard, H.. ( 2005). Atmospheric emission inventory of the Maurienne valley for an atmospheric numerical model. *Sci Total Environ*, 349, 232–248.

Brunk, H.D. (1960). An Introduction to Mathematical Statistics. *Ginn & Co.*, p. 261.

Burnett, R.T., Dales, R.E., Brook, J.R., Raizenne, M.E. e Krewski, D. (1997). Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalizations for congestive heart failure in the elderly in 10 Canadian cities. *Epidemiology*, 8, 162-167.



Cairncross, G., VanderSpek, L., Bauman, G., Macdonald, D. e Fisher, B. (2006). A phase I/II study of 3-D conformal radiotherapy and low dose cisplatin for the treatment of recurrent malignant gliomas. *Radiother Oncol*, 80, S27.

Chen, M.L., Mao, I.F. e Lin, I.K. (1998). The PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> particles in urban areas of Taiwan. *Sci Total Environ*, 226, 227- 235.

CITEAIR (2007) Air Quality in Europe. Common Information to European Air Project, European Union's INTERREG IIC Programme. URL: [http://www.airqualitynow.eu/comparing\\_year\\_average.php](http://www.airqualitynow.eu/comparing_year_average.php) (Consultada em Outubro de 2008).

Cogliani, E. (2001). Air pollution forecast in cities by an air pollution index highly correlated with meteorological variables. *Atmos Environ*, 35, 2871–2877.

Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E. e Pan, Y.. (2006). Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int*, 32,815-830.

DeGaetano A e Doherty O. (2004). Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM<sub>25</sub> concentration extremes in New York city. *Atmos Environ*, 38,1547– 1558.

Döğeroğlu, T. (2002). Air pollution in Turkey. Global atmospheric change and its impact on regional air quality. *Environ Int*, 34, 678-687.

Environmental Protection Agency (EPA), (1999). Guideline for reporting of daily air quality—air quality index (AQI). EPA-454/R-99-010. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711.

European Union, (2008). <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0050:EN:NOT> (Consultada em Julho de 2008)

Fang, S.H. e Chen, H.W. (1996). Air quality and pollution control in Taiwan. *Atmo Environ*, 30, 735–741.

Fenger, J. (1999). Urban air quality. *Atmos Environ*, 33, 4877–900.

Frank, L. e Wim, M.. (2005). Air quality and air quality indices: a world apart? ETC/ACC Technical paper 2005/5. [http://airclimate.eionet.europa.eu/docs/ETCACC\\_TechPaper\\_2005\\_5\\_AQ\\_Indices.pdf](http://airclimate.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TechPaper_2005_5_AQ_Indices.pdf) (Consultada em Março de 2008 )

Garcia, J., Colossio e J., Jamet, P. (2002). Air-quality indices. Elaboration, uses and international comparisons. Paris: *Les presses de l'Ecole des Mines* [112 pp., ISBN: é-911762-36-3].

Ghio, A.J. e Huang, Y.C..( 2004). Exposure to concentrated ambient particles (CAPs): a review. *Inhal Toxicol*, 16, 53

Guicherit, R. e Roemer, M. (2000). Tropospheric ozone trends. *Chemosphere-Glob Chang Sci*, 2, 167–83.

GovHK (2007) Air Pollution Index. The Hong Kong Special Administrative Region (HKSAR) Government. URL: <http://www.gov.hk/en/residents/environment/air/api.htm> (Consultada em Outubro de 2008).

Gurjar, B.R., Butler, T.M., Lawrence, M.G. e Lelieveld, J. (2008). Evaluation of emissions and air quality in megacities. *Atmos Environ*, 42, 1593-1606.

Han, X. e Naeher, L.P. (2006). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environ Int*, 32, 106-120.

Horstman, D., Roger, L.J., Kehrl, H. e Hazucha, M.. (1986). Airway sensitivity of asthmatics to sulfur dioxide. *Toxicol Ind Health*, 2, 289-298.

Hubbard, H.F., Coleman, B.K., Sarwar, G. e Corsi, R.L. (2005). Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings. *Am J Respir Crit Care Med*, 151, 1336-1345.

Kalabokas, P. D. e Repapis, C. C. (2004). A climatological study of rural surface ozone in central Greece *Atmos. Chem Phys*, 4, 1139–1147.

Kampa, M. e Castanas, E. (2007). Human health effects of air pollution. *Environ Pollut*, 151, 362-367.

Karaca, F., Alagha, O. e Erturk, F. (2005). Statistical characterization of atmospheric PM10 and PM2.5 concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey. *Chemosphere*, 59, 1183–1190.

Kassomenos, P., Argiriou, A., Lykoudis, S., Kontoyiannidis, S., Balaras, C.A., Asimakopoulos, D. e Petrakis M. (1999). Comparison of methodologies for tmy generation using 20 years data for Athens, Greece. *Sol Energy*, 66, 33-45.

Katsouyanni, K. ,Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F. e Medina S. (1997). Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Brit Med J*, 314, 1658-1663.

Katsouyanni, K. ( 2003). Ambient air pollution and health. *Brit Med Bull*, 68,143.

Khan, I.R., do Carmo Freitas, M., Pacheco, A.M.G. (2007) Particulate matter levels in Portugal (mainland and islands). A preliminary study for outdoor/indoor environment in basic schools. Proceedings CLIMA 2007 - Wellbeing Indoors, 10-14.

Laden, F., Neas, L.M., Dockery, D.W. e Schwartz, J. (2000). Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environ Health Persp*, 108, 941–947.

Laden, F., Neas, L.M., Dockery, D.W., Schwartz, J., Law, A.M. e Kelton, W.D (2000). Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in Six US Cities, *Environmental Health Perspectives, Simulation Modeling & Analysis. McGraw-Hill*, 330, 941– 947.

Leaderer, B.P., Naeher, L., Jankun, T., Balenger, K., Holford, T.R. e Toth, C. (1999). Indoor, outdoor, and regional summer and winter concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>4</sub>(2)-, H<sub>1</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>-, NH<sub>3</sub>, and nitrous acid in homes with and without kerosene space heaters. *Environ Health Perspect*, 107, 223-231.

Lim, L.L., Hughes S.J. e Hellowell, E.E. (2005). Integrated decision support system for urban air quality assessment. *Environ Modell & Softw*, 20, 947–954.

Liu, C.M. (2002). Effect of PM<sub>2,5</sub> on AQI in Taiwan. *Environl Modell & Softw*, 17, 29-37.

Lu, H.C. e Fang, G.C. (2002). Estimating the frequency distributions of PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> by the statistics of wind speed at Sha-Lu, Taiwan. *Sci Total Environ*, 298, 119–130.

Mage, D.T. e Ott, W.R. (1984). An evaluation of the method of fractiles, moments and maximum likelihood for estimating parameters when sampling air quality data from a stationary lognormal distribution. *Atmos Environ*, 18, 163 –171.

Mao, X., Guo, X., Chang, Y. e Peng, Y. (2005). Improving air quality in large cities by substituting natural gas for coal in China: changing idea and incentive policy implications. *Energy Policy*, 33, 307–318.

Maynard, R.L. e Coster, S.M.. (1999). Informing the Public about Air Pollution. *Air Pollution and Health*, 44, 1019-1033.

Mei-Lien ChenU, I-Fang Mao e Kai Lin. (1998). The PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> particles in urban areas of Taiwan. *Sci Total Environ*, 226, 227 – 235.

Morel, B., Yen, S. e Cifuentes, L. (1999). Statistical distribution for air pollutant applied to the study of the particulate problem in Santiago. *Atmos Environ*, 33, 2575 -2585.

Murena, F. (2004). Measuring air quality over large urban areas: development and application of an air pollution index at the urban area of Naples. *Atmos Environ*, 38, 6195–6202.

Oduyemi, K. O.K. e Davidson, B. (1998). The impacts of road traffic management on urban air quality. *Sci Total Environ*, 218, 59-66.

Oliveira, C., Pio C., Alves, C., Evtyugina, M., Santos, P., Gonçalves, V., Nunes, T., Silvestre, A., Palmgren, F., Wahlin, P. e Harrad, S. (2007) Seasonal distribution of polar organic compounds in the urban atmosphere of two large cities from the North and South of Europe. *Atmos Environ*. 41, 5555-5570.

Oliveira C., Alves C. e Pio C.A. (2008) Aerosol particle size distributions at a traffic exposed site and an urban background location in Oporto, Portugal. *Química Nova*. In press.

O'Malley, V. (1999). The integrated pollution prevention and control IPPC directive and its implications for the environment and industrial activities in Europe, *Sens Actuators B* 59, 78–82.

Özden , Ö., Döğeroğlu, T. e Kara, S.. (2008). Assessment of ambient air quality in Eskişehir, Turkey, *Environ Int*, 34 (5), 678-687.

Parra, R., Jimenez, P. e Baldasano, J.M. (2006). Development of high spatial resolution EMICAT2000 emission model for air pollutants from the north-eastern Iberian Peninsula (Catalonia, Spain). *Environ Pollut*, 140, 200–219.

Peden, D.B., Setzer, R.W. Jr e Devlin, R.B. (2001). Air pollution in asthma: effect of pollutants on airway inflammation. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 87, 12-7.

Poschl, U. (2005). Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects, *Angew. Chem Int Ed Engl*, 44, 7520.

Puustinen, A., Ha, K., Pekkanen, J., Kulmala, M., Hartog, J., Meliefste, K., Brinke, H., Kose, G., Katsouyanni, K., Karakatsani, A., Kotronarou, A., Kavouras, I., Meddings, C., Thomas, S., Harrison, R., Ayresi, J., Zee, S. e Hoek, G. (2007). Spatial variation of particle number and mass over four European cities. *Atmos Environ*, 41, 6622–6636.

Ribas, A. e Peñuelas J. (2004). Temporal patterns of surface ozone levels in different habitats of the north western Mediterranean basin, *Atmos Environ* 38, 985–992.

Riga-Karandinos, A.N. e Saitanis, C. (2005). Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece. *Chemosphere*, 59, 1125–1136.

Salvador, P., Artiñano, B., Querol, X. e Alastuey, A. (2007). A combined analysis of backward trajectories and aerosol chemistry to characterise long-range transport episodes of particulate matter: The Madrid air basin, a case study. *Sci Total Environ*, 390, 495-506.

Schlink, U., Dorling, S., Pelikan, E., Nunnari, G., Cawley, G., Junninen, H., Greig, A., Foxall, R., Eben, K., Chatterton, T., Vondracek, J., Richter, M., Dostal, M., Bertuccio, L., Kolehmainen, M. e Doyle, M. (2003). A rigorous inter-comparison of ground-level ozone predictions, *Atmos. Environ*, 37, 3237–3253.

Schnitzhofer, R., Beauchamp, J., Dunkl, J., Wisthaler, A., Weber, A. e Hansel, A.. (2008). Long-term measurements of CO, NO, NO<sub>2</sub>, benzene, toluene and PM<sub>10</sub> at a motorway location in an Austrian valley. *Atmos Environ*, 42, 1012–1024.

Seinfeld, J.H. e Pandis, S.N. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics. *Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, New York, 1271.

Shooter, D. e Brimblecombe, P. (2005) Air quality indexing; <http://www.uea.ac.uk/~e490/msc/m566fdl/AQI.pdf> (Consultada em Março de 2008).

Simpson, R.W., Taylor, J.A. e Jakeman A.J. (1986). Modeling distributions of air pollutant concentrations—I. Identification of statistical models. *Atmos Environ*, 20, 1781-1789.

Stieb, K.E., Haver, E.C. e Te Pas. (2005). Identification of major food allergens by health care providers. *J Allergy Clin Immun*, 115, S246

Strand, V., Rak, S., Svartengren, M. e Bylin, G.(1997). Nitrogen dioxide exposure enhances asthmatic reaction to inhaled allergen in subjects with asthma. *Am J Respir Crit Care Med*, 155, 881-887.

Streets, D.G., Tsai, N.Y., Akimoto, H. e Oka, K. (2000). Sulfur dioxide emissions in Asia in the period 1985–1997. *Atmos Environ*, 34, 4413–4424.

Stuart, A. e Ord, J.K. (1991). Kendall\_s Advanced Theory of the Statistics, vol. 2. *Oxford University Press*, p. 1159.

Tunnicliffe, W.S., Harrison, R.M., Kelly, F.J., Dunster, C. e Ayres, J.G. (2003). The effect of sulphurous air pollutant exposures on symptoms, lung function, exhaled nitric oxide, and nasal epithelial lining fluid antioxidant concentrations in normal and asthmatic adults. *Occup Environ Med*, 60, e1-e7.

Uysal, N. e Schapira, R.M. (2003). Effects of ozone on lung function and lung diseases. *Curr Opin Pulm Med* 9, 144.

Van den Elshout, S. e Karine, L. (2006). Comparing urban air quality across borders; <http://www.airqualitynow.eu/download/CITEAIR-Comparing%20Urban%20Air%20Quality%20across%20Borders%202007.pdf>  
(Consultada em Maio de 2008).

Van den Elshout, S., Léger, K. e Nussio, F. (2008). Comparing urban air quality in Europe in real time A review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative. *Environ Int* 34, 720-726.

Van Strien, R.T., Gent, J.F., Belanger, K., Triche, E., Bracken, M.B. e Leaderer B.P. (2004). Exposure to NO<sub>2</sub> and nitrous acid and respiratory symptoms in the first year of life. *Epidemiology*, 15, 471-478.

Vargas, V.M.F. (2003). Mutagenic activity as a parameter to assess ambient air quality for protection of the environment and human health. *Mutation Res*, 544, 313–319.

Vingarzan, V. (2004). A review of surface ozone background levels and trends. *Atmos Environ*, 38, 3431–3442.

Weaver, L.K., Hopkins, R.O., Chan, K.J., Churchill, S., Elliott, C.G. e Clemmer, T.P. (2002). Hyperbaric oxygen for acute carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med*, 347, 1057-1067.

Wilson, W.E., Chow, J.C., Claiborn, C., Fusheng, W., Engelbrecht, J. e Watson, J.G. (2002). Monitoring of particulate matter outdoors. *Chemosphere*, 49, 1009–1043.

Wolf, C. (2002). Urban air pollution and health: an ecological study of chronic rhinosinusitis in Cologne, Germany. *Health Place*, 8, 129–39.



# ANEXOS

# ANEXO I

## Concentrações máximas de poluentes para cada estação e respectivos cálculos intermédios para os índices API e AQI.

TABELA I-1

Concentrações máximas de poluente para as várias estações de monitorização.

Concentrações Máximas	Loures	Paio Pires	Alfragide/Amadora	Camarinha	Entrecampos
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	183	165	176	140
CO (mg/m <sup>3</sup> )	1,18	2,41	2,08	1,39	3,57
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	72,7	80,6	120	69,2	122
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	11,8	26,6	41,7	17,0	28,1
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	89,9	---	---	---	115

Nota: Os espaços a tracejado nas tabelas (---) significam que na estação não se monitorizava o poluente ou que a eficiência de aquisição de dados validados estava abaixo de 90%.

TABELA I-1

Concentrações máximas de poluente para as várias estações de monitorização (cont.)

Concentrações Máximas	Restelo	Odivelas	Cascais – Mercado	Olivais
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	181	193	---	179
CO (mg/m <sup>3</sup> )	1,38	1,90	1,79	2,68
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	72,2	79,8	73,6	95,3
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	9,82
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	108

TABELA I-1

Concentrações máximas de poluente para as várias estações de monitorização (cont.)

Concentrações Máximas	Arcos	Escavadeira	Beato	Avenida da Liberdade
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	170	175	175	---
CO (mg/m <sup>3</sup> )	1,39	---	---	3,69
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	64,1	83,7	93,5	164
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	84,3	16,1	---
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	125	---	131

TABELA I-1

Concentrações máximas de poluente para as várias estações de monitorização (cont.)

Concentrações Máximas	Mem-Martins	Chamusca	Reboleira	Quebedo	Hospital Velho
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	209	186	189	---	157
CO (mg/m <sup>3</sup> )	1,51	---	---	1,85	2,03
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	77,8	18,2	---	80,6	---
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	6,45	103	---	13,9	55,4
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	110	49,4	108	123	

TABELA I-1

Concentrações máximas de poluente para as várias estações de monitorização (cont.)

Concentrações Máximas	Laranjeiro	Quinta do Marquês	Benfica	Lavradio
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	174	192	---	---
CO (mg/m <sup>3</sup> )	2,83	1,57	3,37	1,97
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	89,9	83,5	109	---
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	13,2	13,8	32,7	178
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	106	105	---	110

TABELA I-2

Índices e sub – índices AQI para as várias estações de monitorização.

	Loures	Paio Pires	Alfragide/ Amadora	Camarinha	Entrecampos	Restelo
	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	152	138	146	117	151
CO (mg/m <sup>3</sup> )	11,8	24,1	20,7	13,9	36	13,8
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	182	202	301	173	305	180
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	9,47	21,3	33,3	13,6	22,5	---
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	225	---	---	---	287	---
<b>ÍNDICE</b>	225	202	301	173	305	180

Nota: Os espaços a tracejado nas tabelas (---) significam que na estação não se monitorizava o poluente ou que a eficiência de aquisição de dados validados estava abaixo de 90%.

TABELA I-2

Índices e sub – índices AQI para as várias estações de monitorização (cont.).

	Odivelas	Cascais – Mercado	Olivais	Escavadeira	Arcos	Beato
	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice
<b>O<sub>3</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	160	---	150	146	142	146
<b>CO</b> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	19,0	17,9	26,8	---	13,9	---
<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	199	183	238	209	160	234
<b>SO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	---	7,86	67,4	---	12,9
<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	---	270	314	---	---
<b>ÍNDICE</b>	199	183	270	314	160	234

TABELA I-2

Índices e sub – índices AQI para as várias estações de monitorização (cont.).

	Avenida da Liberdade	Reboleira	Quebedo	Mem- Martins	Chamusca	Hospital Velho
	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice
<b>O<sub>3</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	---	---	174	155	131
<b>CO</b> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	36,9	22,7	18,5	15	---	20,3
<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	149	---	73,6	70,9	16,6	---
<b>SO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	---	11,1	5,16	82,9	44,3
<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	327	271	309	275	124	---
<b>ÍNDICE</b>	327	271	309	275	155	131

TABELA I-2

Índices e sub – índices AQI para as várias estações de monitorização (cont.).

	<b>Benfica</b>	<b>Lavradio</b>	<b>Laranjeiro</b>	<b>Quinta do Marquês</b>
	<b>sub-índice</b>	<b>sub-índice</b>	<b>sub-índice</b>	<b>sub-índice</b>
<b>O<sub>3</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	---	---	160
<b>CO</b> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	33,7	19,7	28,3	15,7
<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	274	---	225	209
<b>SO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	26	142	10,5	11,1
<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	276	266	262
<b>ÍNDICE</b>	274	276	266	262

TABELA I-3

Índices e sub – índices API para as várias estações de monitorização.

	<b>Loures</b>	<b>Paio Pires</b>	<b>Alfragide/ Amadora</b>	<b>Camarinha</b>	<b>Entrecampos</b>	<b>Restelo</b>
	<b>Sub-índice</b>	<b>Sub-índice</b>	<b>Sub-índice</b>	<b>Sub-índice</b>	<b>Sub-índice</b>	<b>Sub-índice</b>
<b>O<sub>3</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	89,3	78,2	84,8	62,5	88,4
<b>CO</b> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	---	---	---	---	---	---
<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	63,3	113	---	115	---
<b>SO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	---	---	---	---	---	---
<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	70,0	---	---	---	82,4	---
<b>ÍNDICE</b>	70,0	89,3	113	84,8	115	88,4

Nota: Os espaços a tracejado nas tabelas (---) significam que na estação não se monitorizava o poluente ou que a eficiência de aquisição de dados validados estava abaixo de 90%.

TABELA I-3

Índices e sub – índices API para as várias estações de monitorização (cont.).

	Odivelas	Cascais – Mercado	Olivais	Escavadeira	Arcos	Beato
	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	95,4	---	87,5	84,5	81,7	84,7
CO (mg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	81,6	67,2	---	79,4
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	67,1	---	---
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	79,0	87,9	---	---
<b>ÍNDICE</b>	95,4	---	87,5	87,9	81,7	84,7

TABELA I-3

Índices e sub – índices API para as várias estações de monitorização (cont.).

	Avenida da Liberdade	Reboleira	Quebedo	Mem-Martins	Chamusca	Hospital Velho
	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	105	93,2	79,0
CO (mg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	127	---	50,9	---	---	---
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	---	76,8	52,7
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	90,4	79,2	86,8	80,0	---	---
<b>ÍNDICE</b>	127	79,2	86,8	105	93,2	79,0

TABELA I-3

Índices e sub – índices API para as várias estações de monitorização (cont.).

	Benfica	Lavradio	Laranjeiro	Quinta do Marquês
	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice	Sub-índice
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	94,8
CO (mg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	---
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	87,0	---	62,5	54,4
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	114	---	---
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	---	80,2	78,1	77,4
<b>ÍNDICE</b>	87,0	114	78,1	94,8

TABELA I-4

Índices API e AQI para as várias estações de monitorização.

	Loures	Paio Pires	Alfragide/ Amadora	Camarinha	Entrecampos	Restelo	Odivelas
<b>AQI</b>	225	202	301	173	305	180	199
<b>API</b>	70,0	89,3	113	84,8	115	88,4	95,4

TABELA I-4

Índices API e AQI para as várias estações de monitorização (cont.).

	Cascais – Mercado	Olivais	Escavadeira	Arcos	Beato	Avenida da Liberdade
<b>AQI</b>	184	270	314	160	234	327
<b>API</b>	0,00	87,5	87,9	81,7	84,7	127



TABELA I-4

Índices API e AQI para as várias estações de monitorização (cont.).

	<b>Reboleira</b>	<b>Quebedo</b>	<b>Mem-Martins</b>	<b>Chamusca</b>	<b>Hospital Velho</b>	<b>Benfica</b>
<b>AQI</b>	271	309	275	155	136	274
<b>API</b>	79,2	86,8	105	93,2	79,0	87,0

TABELA I-4

Índices API e AQI para as várias estações de monitorização (cont.).

	<b>Lavradio</b>	<b>Laranjeiro</b>	<b>Quinta do Marquês</b>
<b>AQI</b>	276	266	262
<b>API</b>	114	78,1	94,8

# ANEXO II

TABELA II-1

**Valores limite e limiar de alerta para o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) no ar ambiente (Decreto-Lei n° 111/2002 de 16 de Abril).**

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

		Período considerado	Valor limite (µg/m <sup>3</sup> )	Margem de tolerância (µg/m <sup>3</sup> )	Data de cumprimento
SO <sub>2</sub> Valor-limite	Protecção da saúde humana	1 hora	<b>350</b> Não exceder mais de 24 vezes por ano civil	150 µg/m <sup>3</sup> (43%) data de entrada em vigor da directiva, devendo sofrer uma redução a partir de 1 Jan 2001 e depois de 12 em 12 meses, numa % anual idêntica, até atingir 0% em 1 Jan 2005	1 Jan 2005
		24 horas	<b>125</b> Não exceder mais de 3 vezes por ano civil	Não se aplica	1 Jan 2005
	Protecção de ecossistemas	Ano civil e Inverno (1/10 a 31/3)	20	Não se aplica	19 Julho 2001
SO <sub>2</sub> Limiar de alerta	<b>500 µg/m<sup>3</sup></b> , medido em 3 horas consecutivas, em locais representativos numa área de, pelo menos, 100 km <sup>2</sup> , ou numa zona ou aglomeração, consoante o espaço que apresentar menor área.				

TABELA II-2

Valores limite para o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ) e óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) e limiar de alerta para o dióxido de azoto no ar ambiente (Decreto-Lei nº 111/2002 de 16 de Abril).

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

		Período considerado	Valor limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Margem de tolerância ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Data cumprimento
<b><math>\text{NO}_2</math> e <math>\text{NO}_x</math></b> Valor-limite	Protecção da saúde humana	1 hora	<b>200</b> de $\text{NO}_x$  Não exceder mais de 18 vezes por ano civil	50% na data de entrada em vigor da directiva, devendo sofrer uma redução a partir de 1 Jan 2001 e depois de 12 em 12 meses, numa % anual idêntica, até atingir 0% em 1 Jan 2010	1 Jan 2010
		Horário para 1 ano civil	<b>40</b> de $\text{NO}_x$	50% na data de entrada em vigor da directiva, devendo sofrer uma redução a partir de 1 Jan 2001 e depois de 12 em 12 meses, numa % anual idêntica, até atingir 0% em 1 Jan 2010	1 Jan 2010
	Protecção da vegetação	Anual	30 de $\text{NO}_x$	Não se aplica	19 Julho 2001
<b><math>\text{NO}_2</math></b> Limiar de alerta	<b><math>400\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> , medido em 3 horas consecutivas, em locais representativos numa área de, pelo menos, $100\text{ km}^2$ , ou numa zona ou aglomeração, consoante o espaço que apresentar menor área.				

TABELA II-3

**Valores limite para as partículas em suspensão (PM<sub>10</sub>) no ar ambiente (Decreto-Lei nº 111/2002 de 16 de Abril).**

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

		Período considerado	Valor limite (µg/m <sup>3</sup> )	Margem de tolerância (µg/m <sup>3</sup> )	Data cumprimento
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>1ª Fase</b> Protecção da saúde humana	24 horas	<b>50</b> Não exceder mais de 35 vezes por ano civil	15 µg/m <sup>3</sup> na data de entrada em vigor da directiva, devendo sofrer uma redução a partir de 1 Jan 2001 e depois de 12 em 12 meses, numa % anual idêntica, até atingir 0% em 1 Jan 2005	1 Jan 2005
		Anual	<b>40</b>	5 µg/m <sup>3</sup> na data de entrada em vigor da directiva, devendo sofrer uma redução a partir de 1 Jan 2001 e depois de 12 em 12 meses, numa % anual idêntica, até atingir 0% em 1 Jan 2005	1 Jan 2005
	<b>2ª Fase</b> Protecção da saúde humana	24 horas	<b>50</b> Não exceder mais de 7 vezes por ano civil	A calcular em função dos dados, de modo a ser equivalente ao VL da 1ª Fase	1 Jan 2010
		Anual	<b>20</b>	50% em 1 Jan 2005, devendo reduzir de 12 em 12 meses, em percentagem anual idêntica, até 0% em 1 Jan 2010	1 Jan 2010

TABELA II-4

**Valor limite para o monóxido de carbono (CO) no ar ambiente (Decreto-Lei nº 111/2002 de 16 de Abril).**

O valor limite será expresso em miligramas por metro cúbico, normalizado à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

		Período considerado	Valor limite	Data de cumprimento
<b>CO</b>	Protecção da saúde humana	Máximo diário das médias de oito horas.	<b>10 mg/m<sup>3</sup></b>	Data da entrada em vigor do presente diploma.

O valor máximo diário da concentração média por períodos de oito horas deve ser seleccionado pela análise das médias por períodos consecutivos de oito horas, calculadas a partir de dados horários e actualizados hora a hora. Cada média de oito horas assim calculada deve ser atribuída ao dia em que termina, ou seja, o primeiro período de cálculo para um dia determinado será o período decorrido entre as 17 horas do dia anterior e a 1 hora desse dia; o último período de cálculo para um dia determinado será o período entre as 16 e as 24 horas desse dia.

**Decreto-Lei nº320/2003 de 20 de Dezembro**

TABELA II-5

**Valores limite, limiar de informação e limiar de alerta para o ozono (O<sub>3</sub>) no ar ambiente**

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

			Período considerado	Valor limite (µg/m <sup>3</sup> )	Data cumprimento
<b>O<sub>3</sub></b>	Protecção da saúde humana	Valor alvo	Valor máximo das médias octo-horárias do dia	<b>120</b>  Não deve ser excedido em mais de 25 dias por ano civil, calculados em média em relação a 3 anos	2010
		Objectivo de longo prazo	Valor máximo da média diária octo- horária num ano civil	<b>120</b>	-
	Protecção da vegetação	Valor alvo	AOT40, calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho	18 000 µg/m <sup>3</sup> .h calculados em média em relação a 5 anos	2010
		Objectivo de longo prazo	AOT40, calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho	6 000 µg/m <sup>3</sup> .h	-
		Limiar de informação	Média horária	<b>180</b>	
		Limiar de alerta	Média horária	<b>240</b>	-

**Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio**

TABELA II-6

**Valor limite para as partículas em suspensão (PM<sub>2,5</sub>) no ar ambiente**

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

PM <sub>2,5</sub>	Período considerado	Valor alvo	Data de cumprimento
	Anual	25 µg/m <sup>3</sup>	1 Janeiro 2010

## ANEXO III

**Equações de distribuição utilizadas pelo *software EasyFit 5.0***



## Wakeby Distribution

The Wakeby distribution is defined by the quantile function

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1 - F)^\beta) - \frac{\gamma}{\delta} (1 - (1 - F)^{-\delta})$$

### Parameters

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \xi$  (all continuous)

The following conditions are imposed:

$$\begin{aligned} \alpha &\neq 0 \text{ or } \gamma \neq 0, \\ \beta + \delta &> 0 \text{ or } \beta = \gamma = \delta = 0, \\ \text{if } \alpha &= 0, \text{ then } \beta = 0, \\ \text{if } \gamma &= 0, \text{ then } \delta = 0, \\ \gamma &\geq 0 \text{ and } \alpha + \gamma \geq 0. \end{aligned}$$

### Domain

$$\begin{aligned} \xi &\leq x < \infty \text{ if } \delta \geq 0 \text{ and } \gamma > 0, \\ \xi &\leq x \leq \xi + \alpha/\beta - \gamma/\delta \text{ if } \delta < 0 \text{ or } \gamma = 0. \end{aligned}$$

## Uniform Distribution

### Parameters

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{b-a}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{x-a}{b-a}$$

## Triangular Distribution

### Parameters

$m$  (most likely value) - continuous mode parameter ( $a \leq m \leq b$ )

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & m < x \leq b \end{cases}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(m-a)(b-a)} & a \leq x \leq m \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-m)(b-a)} & m < x \leq b \end{cases}$$

## Student's t Distribution

### Parameters

$\nu$  - degrees of freedom (positive integer)

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi \nu}} \frac{\Gamma((\nu+1)/2)}{\Gamma(\nu/2)} \left( \frac{\nu}{\nu+x^2} \right)^{\frac{\nu+1}{2}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} - \frac{1}{2} I_z \left( \frac{1}{2}, \frac{\nu}{2} \right) & x < 0 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} I_z \left( \frac{1}{2}, \frac{\nu}{2} \right) & x \geq 0 \end{cases}$$

where  $z \equiv \frac{x^2}{\nu+x^2}$ ,  $\Gamma$  is the Gamma Function, and  $I_z$  is the Regularized Incomplete Beta Function.

## Rice Distribution

### Parameters

$\nu$  - continuous parameter ( $\nu \geq 0$ )

$\sigma$  - continuous parameter ( $\sigma > 0$ )

### Domain

$$0 \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + \nu^2)}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{x\nu}{\sigma^2}\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - Q_1\left(\frac{\nu}{\sigma}, \frac{x}{\sigma}\right)$$

where  $I_0$  is the modified Bessel function of the first kind of order zero, and  $Q_1$  is the Marcum Q-function.

## Reciprocal Distribution

### Parameters

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $0 < a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{x(\ln(b) - \ln(a))}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\ln(x) - \ln(a)}{\ln(b) - \ln(a)}$$

## Rayleigh Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the one-parameter Rayleigh distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Two-Parameter Rayleigh Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{x - \gamma}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \gamma}{\sigma}\right)^2\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \gamma}{\sigma}\right)^2\right)$$

## One-Parameter Rayleigh Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^2\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^2\right)$$

## Power Function Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha (x - a)^{\alpha - 1}}{(b - a)^\alpha}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \left( \frac{x - a}{b - a} \right)^\alpha$$



## Phased Bi-Weibull Distribution

### Parameters

$\alpha_1$  - continuous shape parameter ( $\alpha_1 > 0$ )

$\beta_1$  - continuous scale parameter ( $\beta_1 > 0$ )

$\gamma_1$  - continuous location parameter

$\alpha_2$  - continuous shape parameter ( $\alpha_2 > 0$ )

$\beta_2$  - continuous scale parameter ( $\beta_2 > 0$ )

$\gamma_2$  - continuous location parameter ( $\gamma_2 > \gamma_1$ )

The parameters are constrained by the following relation

$$\left(\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\beta_1}\right)^{\alpha_1} = \left(\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\beta_2}\right)^{\alpha_2}$$

When you manually specify the parameter values, EasyFit automatically computes the  $\beta_2$  parameter based on this equation, so you don't need to calculate it by hand.

### Domain

$$\gamma_1 \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha_1}{\beta_1} \left(\frac{x - \gamma_1}{\beta_1}\right)^{\alpha_1 - 1} \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma_1}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}\right) & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ \frac{\alpha_2}{\beta_2} \left(\frac{x - \gamma_1}{\beta_2}\right)^{\alpha_2 - 1} \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma_1}{\beta_2}\right)^{\alpha_2}\right) & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma_1}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}\right) & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma_1}{\beta_2}\right)^{\alpha_2}\right) & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases}$$

## Phased Bi-Exponential Distribution

### Parameters

$\lambda_1$  - continuous inverse scale parameter ( $\lambda_1 > 0$ )  
 $\gamma_1$  - continuous location parameter

$\lambda_2$  - continuous inverse scale parameter ( $\lambda_2 > 0$ )  
 $\gamma_2$  - continuous location parameter ( $\gamma_2 > \gamma_1$ )

### Domain

$$\gamma_1 \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \begin{cases} \lambda_1 e^{-\lambda_1(x-\gamma_1)} & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ \lambda_2 e^{-\lambda_2(x-\gamma_2)-\lambda_1(\gamma_2-\gamma_1)} & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_1(x-\gamma_1)} & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ 1 - e^{-\lambda_2(x-\gamma_2)-\lambda_1(\gamma_2-\gamma_1)} & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases}$$

## Pert Distribution

### Parameters

$m$  (most likely value) - continuous mode parameter ( $a \leq m \leq b$ )

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Description

The Pert distribution is a special case of the Beta distribution specified by the parameters

$$\alpha_1 = \frac{4m + b - 5a}{b - a}$$

$$\alpha_2 = \frac{5b - a - 4m}{b - a}$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = I_z(\alpha_1, \alpha_2)$$

where  $z \equiv \frac{x-a}{b-a}$ ,  $B$  is the Beta Function, and  $I_z$  is the Regularized Incomplete Beta Function.

## Pearson Type 6 Distribution

### Parameters

$\alpha_1$  - continuous shape parameter ( $\alpha_1 > 0$ )

$\alpha_2$  - continuous shape parameter ( $\alpha_2 > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the three-parameter Pearson 6 distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Four-Parameter Pearson 6 Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{((x - \gamma)/\beta)^{\alpha_1 - 1}}{\beta B(\alpha_1, \alpha_2) (1 + (x - \gamma)/\beta)^{\alpha_1 + \alpha_2}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = I_{(x - \gamma)/(x - \gamma + \beta)}(\alpha_1, \alpha_2)$$

## Three-Parameter Pearson 6 Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{(x/\beta)^{\alpha_1 - 1}}{\beta B(\alpha_1, \alpha_2) (1 + x/\beta)^{\alpha_1 + \alpha_2}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = I_{x/(x + \beta)}(\alpha_1, \alpha_2)$$

where  $B$  is the Beta Function, and  $I_x$  is the Regularized Incomplete Beta Function.

## Pearson Type 5 Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Pearson 5 distribution)

### Domain

$$\gamma < x < +\infty$$

## Three-Parameter Pearson 5 Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\exp(-\beta/(x-\gamma))}{\beta \Gamma(\alpha) ((x-\gamma)/\beta)^{\alpha+1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \frac{\Gamma_{\beta/(x-\gamma)}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

## Two-Parameter Pearson 5 Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\exp(-\beta/x)}{\beta \Gamma(\alpha) (x/\beta)^{\alpha+1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \frac{\Gamma_{\beta/x}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

## Pareto (First Kind) Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

### Domain

$$\beta \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha \beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - (\beta/x)^\alpha$$

## Normal Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

where  $\Phi$  is the Laplace Integral.

## Nakagami Distribution

### Parameters

$m$  - continuous parameter ( $m \geq 0.5$ )

$\Omega$  - continuous parameter ( $\Omega > 0$ )

### Domain

$$0 \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} x^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} x^2\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{mx^2/\Omega}(m)}{\Gamma(m)}$$

## Pareto (Second Kind) Distributio

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

### Domain

$$0 \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^\alpha}{(x+\beta)^{\alpha+1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x+\beta}\right)^\alpha$$



## Log-Pearson 3 Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous parameter ( $\beta \neq 0$ )

$\gamma$  - continuous parameter

### Domain

$$0 < x \leq e^\gamma \quad \beta < 0$$

$$e^\gamma \leq x < +\infty \quad \beta > 0$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{x |\beta| \Gamma(\alpha)} \left( \frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left( -\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma(\ln(x) - \gamma) / \beta (\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

## Lognormal Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous parameter

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Lognormal distribution)

### Domain

$$\gamma < x < +\infty$$

## Three-Parameter Lognormal Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}{(x-\gamma)\sigma\sqrt{2\pi}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right)$$

## Two-Parameter Lognormal Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right)}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)$$

where  $\Phi$  is the Laplace Integral.

## Log-Logistic Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Log-Logistic distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Three-Parameter Log-Logistic Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-1}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \left( 1 + \left( \frac{\beta}{x - \gamma} \right)^{\alpha} \right)^{-1}$$

## Two-Parameter Log-Logistic Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-1}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \left( 1 + \left( \frac{\beta}{x} \right)^{\alpha} \right)^{-1}$$

## Logistic Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\exp(-z)}{\sigma (1 + \exp(-z))^2}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

where  $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$

## Log-Gamma Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous parameter ( $\beta > 0$ )

### Domain

$$0 < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{(\ln(x))^{\alpha-1}}{x\beta^\alpha\Gamma(\alpha)} \exp(-\ln(x)/\beta)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{\ln(x)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

## Levy Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the one-parameter Levy distribution)

### Domain

$$\gamma < x < +\infty$$

## Two-Parameter Levy Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi}} \frac{\exp(-0.5\sigma/(x-\gamma))}{(x-\gamma)^{3/2}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 2 - 2\Phi(\sqrt{\sigma/(x-\gamma)})$$

## One-Parameter Levy Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi}} \frac{\exp(-0.5\sigma/x)}{(x-\gamma)^{3/2}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 2 - 2\Phi(\sqrt{\sigma/x})$$

where  $\Phi$  is the Laplace Integral.

## Laplace (Double Exponential) Distribution

### Parameters

$\lambda$  - continuous inverse scale parameter ( $\lambda > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\lambda}{2} \exp(-\lambda|x - \mu|)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \exp(-\lambda(\mu - x)) & x \leq \mu \\ 1 - \frac{1}{2} \exp(-\lambda(x - \mu)) & x > \mu \end{cases}$$

## Kumaraswamy Distribution

### Parameters

$\alpha_1$  - continuous shape parameter ( $\alpha_1 > 0$ )

$\alpha_2$  - continuous shape parameter ( $\alpha_2 > 0$ )

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha_1 \alpha_2 z^{\alpha_1 - 1} (1 - z^{\alpha_1})^{\alpha_2 - 1}}{(b - a)}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - (1 - z^{\alpha_1})^{\alpha_2}$$

where  $z \equiv \frac{x - a}{b - a}$

## Johnson SU Distribution

### Parameters

- $\gamma$  - continuous shape parameter
- $\delta$  - continuous shape parameter ( $\delta > 0$ )
- $\lambda$  - continuous scale parameter ( $\lambda > 0$ )
- $\xi$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} \sqrt{z^2 + 1}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln(z + \sqrt{z^2 + 1})\right)^2\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\gamma + \delta \ln(z + \sqrt{z^2 + 1})\right)$$

where  $z \equiv \frac{x - \xi}{\lambda}$ , and  $\Phi$  is the Laplace Integral.



## Johnson SB Distribution

### Parameters

- $\gamma$  - continuous shape parameter
- $\delta$  - continuous shape parameter ( $\delta > 0$ )
- $\lambda$  - continuous scale parameter ( $\lambda > 0$ )
- $\xi$  - continuous location parameter

### Domain

$$\xi \leq x \leq \xi + \lambda$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)$$

where  $z \equiv \frac{x - \xi}{\lambda}$ , and  $\Phi$  is the Laplace Integral.

## Inverse Gaussian Distribution

### Parameters

$\lambda$  - continuous parameter ( $\lambda > 0$ )

$\mu$  - continuous parameter ( $\mu > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Inverse Gaussian distribution)

### Domain

$$\gamma < x < +\infty$$

## Three-Parameter Inverse Gaussian Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi(x-\gamma)^3}} \exp\left(-\frac{\lambda(x-\gamma-\mu)^2}{2\mu^2(x-\gamma)}\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}-1\right)\right) + \exp(2\lambda/\mu) \Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}+1\right)\right)$$

## Two-Parameter Inverse Gaussian Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}} \exp\left(-\frac{\lambda(x-\mu)^2}{2\mu^2 x}\right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x}}\left(\frac{x}{\mu}-1\right)\right) + \exp(2\lambda/\mu) \Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x}}\left(\frac{x}{\mu}+1\right)\right)$$

## Hyperbolic Secant Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\operatorname{sech}\left(\frac{\pi(x-\mu)}{2\sigma}\right)}{2\sigma}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{2}{\pi} \arctan\left(\exp\left(\frac{\pi(x-\mu)}{2\sigma}\right)\right)$$

## Gumbel Min Distribution (Minimum Extreme Value Type 1)

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(z - \exp(z))$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp(-\exp(z))$$

where  $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$

## Gumbel Max Distribution (Maximum Extreme Value Type 1)

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z))$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \exp(-\exp(-z))$$

where  $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$

## Generalized Logistic Distribution

### Parameters

$k$  - continuous shape parameter

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0 \quad \text{for } k \neq 0$$

$$-\infty < x < +\infty \quad \text{for } k = 0$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(1 + k z)^{-1-1/k}}{\sigma (1 + (1 + k z)^{-1/k})^2} & k \neq 0 \\ \frac{\exp(-z)}{\sigma (1 + \exp(-z))^2} & k = 0 \end{cases}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (1 + k z)^{-1/k}} & k \neq 0 \\ \frac{1}{1 + \exp(-z)} & k = 0 \end{cases}$$

where  $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$

## Generalized Gamma Distribution

### Parameters

$k$  - continuous shape parameter ( $k > 0$ )

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the three-parameter Generalized Gamma distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Four-Parameter Generalized Gamma Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{k(x-\gamma)^{k\alpha-1}}{\beta^{k\alpha}\Gamma(\alpha)} \exp(-((x-\gamma)/\beta)^k)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{((x-\gamma)/\beta)^k}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

## Three-Parameter Generalized Gamma Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{kx^{k\alpha-1}}{\beta^{k\alpha}\Gamma(\alpha)} \exp(-(x/\beta)^k)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(x/\beta)^k}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

## Generalized Pareto Distribution

### Parameters

$k$  - continuous shape parameter

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$\mu \leq x < +\infty \quad \text{for } k \geq 0$$

$$\mu \leq x \leq \mu - \sigma/k \quad \text{for } k < 0$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1 - 1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/k} & k \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases}$$



## Generalized Extreme Value Distribution

### Parameters

$k$  - continuous shape parameter

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0 \quad \text{for } k \neq 0$$

$$-\infty < x < +\infty \quad \text{for } k = 0$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp(-(1 + kz)^{-1/k}) (1 + kz)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} \exp(-(1 + kz)^{-1/k}) & k \neq 0 \\ \exp(-\exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$$

where  $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$

## Gamma Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Gamma distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

### Three-Parameter Gamma Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha - 1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-(x - \gamma)/\beta)$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(x - \gamma)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

### Two-Parameter Gamma Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{x^{\alpha - 1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-x/\beta)$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{x/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

where  $\Gamma$  is the Gamma Function, and  $\Gamma_x$  is the Incomplete Gamma Function.

## Frechet Distribution (Maximum Extreme Value Type 2)

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Frechet distribution)

### Domain

$$\gamma < x < +\infty$$

### Three-Parameter Frechet Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{\beta}{x - \gamma} \right)^{\alpha+1} \exp \left( - \left( \frac{\beta}{x - \gamma} \right)^{\alpha} \right)$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \exp \left( - \left( \frac{\beta}{x - \gamma} \right)^{\alpha} \right)$$

### Two-Parameter Frechet Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{\beta}{x} \right)^{\alpha+1} \exp \left( - \left( \frac{\beta}{x} \right)^{\alpha} \right)$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \exp \left( - \left( \frac{\beta}{x} \right)^{\alpha} \right)$$

## Fatigue Life (Birnbbaum-Saunders) Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Fatigue Life distribution)

### Domain

$$\gamma < x < +\infty$$

### Three-Parameter Fatigue Life Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\sqrt{(x-\gamma)/\beta} + \sqrt{\beta/(x-\gamma)}}{2\alpha(x-\gamma)} \cdot \phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}\right)\right)$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}\right)\right)$$

### Two-Parameter Fatigue Life Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\sqrt{x/\beta} + \sqrt{\beta/x}}{2\alpha x} \cdot \phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)\right)$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)\right)$$

where  $\phi$  is the PDF of the standard Normal distribution, and  $\Phi$  is the Laplace Integral.

## F Distribution

### Parameters

$\nu_1$  - degrees of freedom #1 (positive integer)

$\nu_2$  - degrees of freedom #2 (positive integer)

### Domain

$$0 \leq x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{x B(\nu_1, \nu_2)} \sqrt{\frac{(\nu_1 x)^{\nu_1} \nu_2^{\nu_2}}{(\nu_1 x + \nu_2)^{\nu_1 + \nu_2}}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = I_z(\nu_1, \nu_2)$$

where  $z \equiv \frac{\nu_1 x}{\nu_1 x + \nu_2}$ ,  $B$  is the Beta Function, and  $I_z$  is the Regularized Incomplete Beta Function.

## Exponential Distribution

### Parameters

$\lambda$  - continuous inverse scale parameter ( $\lambda > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the one-parameter Exponential distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Two-Parameter Exponential Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda(x - \gamma))$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda(x - \gamma))$$

## One-Parameter Exponential Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$$

## Error Function Distribution

### Parameters

$h$  - continuous inverse scale parameter ( $h > 0$ )

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-(hx)^2)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \Phi(\sqrt{2}hx)$$

where  $\Phi$  is the Laplace Integral.

## Error Distribution

### Parameters

- $k$  - continuous shape parameter
- $\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )
- $\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = c_1 \sigma^{-1} \exp(-|c_0 z|^k)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \begin{cases} 0.5 \left( 1 + \frac{\Gamma_{|c_0 z|^k}(1/k)}{\Gamma(1/k)} \right) & x \geq \mu \\ 0.5 \left( 1 - \frac{\Gamma_{|c_0 z|^k}(1/k)}{\Gamma(1/k)} \right) & x < \mu \end{cases}$$

where

$$c_0 = \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2} \quad \text{and} \quad z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$$
$$c_1 = \frac{k c_0}{2\Gamma(1/k)}$$



## Erlang Distribution

### Parameters

$m$  - shape parameter (positive integer)

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Erlang distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Three-Parameter Erlang Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp(-(x - \gamma)/\beta)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(x-\gamma)/\beta}(m)}{\Gamma(m)}$$

## Two-Parameter Erlang Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{x^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp(-x/\beta)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{x/\beta}(m)}{\Gamma(m)}$$

where  $\Gamma$  is the Gamma Function, and  $\Gamma_z$  is the Incomplete Gamma Function.

## Dagum Distribution

### Parameters

$k$  - continuous shape parameter ( $k > 0$ )

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the three-parameter Dagum distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Four-Parameter Dagum Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-k}$$

## Three-Parameter Dagum Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-k}$$

## Chi-Squared Distribution

### Parameters

$\nu$  - degrees of freedom (positive integer)

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the one-parameter Chi-Squared distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Two-Parameter Chi-Squared Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\nu/2 - 1} \exp(-(x - \gamma)/2)}{2^{\nu/2} \Gamma(\nu/2)}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(x-\gamma)/2}(\nu/2)}{\Gamma(\nu/2)}$$

## One-Parameter Chi-Squared Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{x^{\nu/2 - 1} \exp(-x/2)}{2^{\nu/2} \Gamma(\nu/2)}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{\Gamma_x(\nu/2)}{\Gamma(\nu/2)}$$

where  $\Gamma$  is the Gamma Function, and  $\Gamma_x$  is the Incomplete Gamma Function.

## Cauchy Distribution

### Parameters

$\sigma$  - continuous scale parameter ( $\sigma > 0$ )

$\mu$  - continuous location parameter

### Domain

$$-\infty < x < +\infty$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \left( \pi \sigma \left( 1 + \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right) \right)^{-1}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = \frac{1}{\pi} \arctan \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) + 0.5$$

## Burr Distribution

### Parameters

$k$  - continuous shape parameter ( $k > 0$ )

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the three-parameter Burr distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

### Four-Parameter Burr Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-k}$$

### Three-Parameter Burr Distribution

#### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$$

#### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-k}$$

## Beta Distribution

### Parameters

$\alpha_1$  - continuous shape parameter ( $\alpha_1 > 0$ )

$\alpha_2$  - continuous shape parameter ( $\alpha_2 > 0$ )

$a, b$  - continuous boundary parameters ( $a < b$ )

### Domain

$$a \leq x \leq b$$

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = I_z(\alpha_1, \alpha_2)$$

where  $z \equiv \frac{x-a}{b-a}$ ,  $B$  is the Beta Function, and  $I_z$  is the Regularized Incomplete Beta Function

## Weibull Distribution

### Parameters

$\alpha$  - continuous shape parameter ( $\alpha > 0$ )

$\beta$  - continuous scale parameter ( $\beta > 0$ )

$\gamma$  - continuous location parameter ( $\gamma \equiv 0$  yields the two-parameter Weibull distribution)

### Domain

$$\gamma \leq x < +\infty$$

## Three-Parameter Weibull Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \exp \left( - \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right)$$

## Two-Parameter Weibull Distribution

### Probability Density Function

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \exp \left( - \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right)$$

### Cumulative Distribution Function

$$F(x) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right)$$