



Helena Sofia Armada Brás

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Avaliação dos benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso
Ferreira, Professor Auxiliar da FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Manuel Hora Santos Coelho
Arguente: Doutora Ana Cristina Caldeira da Silva Gouveia Carvalho
Vogais: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira
Prof. Doutor Filipe Manuel Mercier Vilaça e Moura



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Abril 2012

Avaliação dos benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa

Copyright © Helena Sofia Armada Brás,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa,
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao longo deste trabalho, foram várias as pessoas que contribuíram para o seu desenvolvimento, como tal, não posso deixar de expressar o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor Francisco Cardoso Ferreira, pela orientação cuidada, pela dedicação, pelo incentivo e conhecimentos que transmitiu ao longo da realização desta dissertação.

Agradeço também, ao grupo de investigação de qualidade do ar do DCEA, especialmente aos Engenheiros Pedro Gomes e Hugo Tente pela colaboração, incentivo e transmissão de conhecimentos.

À CCDR-LVT, à Câmara Municipal de Lisboa e à Carris, por terem disponibilizado informações que contribuíram para a realização deste estudo.

Aos meus pais, que sempre transmitiram apoio e dedicação ao longo de toda a minha existência. Às minhas irmãs: Ana, Teresa, Joana e Inês pela ajuda, pelas experiências, por todos os momentos que temos passado juntas. Às minhas primas, ao primo, ao tio, ao cunhado por todos os bons momentos e ajuda. À Catarina, por ser a avó querida.

Agradeço também a todos os meus amigos, que de maneiras diferentes estiveram presentes ao longo dos últimos anos e contribuíram com ideias, incentivos e bons momentos.

RESUMO

Nas últimas décadas, nos grandes centros urbanos, os níveis de poluição atmosférica continuam a ser considerados muito elevados. Este fenómeno tem origem no tráfego rodoviário e tem consequências significativas na saúde humana.

Como forma de inverter esta tendência, várias medidas têm sido adotadas, sendo a principal a implementação de Zonas de Emissões Reduzidas (ZER). Até à data, esta tem sido considerada a medida mais eficaz para reduzir os problemas de qualidade do ar nas cidades, nomeadamente os decorrentes das elevadas concentrações de matéria particulada (PM_{10}), dióxido de azoto (NO_2) e indiretamente de ozono.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar os benefícios da implementação de uma ZER em Lisboa. De modo a relacionar o tráfego rodoviário com a poluição atmosférica, e a avaliar quais as zonas onde o nível de exposição aos poluentes é mais elevada, foi efetuada uma análise detalhada das concentrações de NO_2 e PM_{10} medidas nas estações de monitorização de qualidade do ar, durante o período temporal de 2008 a 2011. Foi também realizado um levantamento do tráfego rodoviário da cidade e analisaram-se vários parâmetros, tais como, tipologia, tipo de combustível, norma e idade dos veículos em circulação, para posteriormente serem calculadas as emissões de óxidos de azoto (NO_x) e de PM_{10} provenientes destes veículos.

Para determinar a influência das ZER, foram definidos cenários que tiveram em conta determinadas tipologias dos veículos (ligeiros, táxis, pesados de passageiros e motociclos) e diferentes graus de restrição relativamente às normas Euro. Posteriormente foi calculada a redução das emissões de NO_x e de PM_{10} , quando aplicados os diferentes cenários.

Ao ser aplicada uma ZER que imponha restrições sobre todas as tipologias de veículos consideradas, verifica-se uma redução percentual da concentração dos poluentes, de 8,9% de PM_{10} , 3,5% de NO_x , caso sejam aplicadas restrições a veículos anteriores a 1992 (Pré- Euro 1), uma redução de 17,8% de PM_{10} e 9,8% de NO_x , quando aplicadas restrições a veículos anteriores a 1996 (Euro 1) e uma redução de 35,3% de PM_{10} e 26,5% NO_x , quando aplicadas restrições a veículos anteriores a 2003 (Euro 2).

É possível afirmar que a implementação de ZER na cidade de Lisboa trará benefícios notáveis ao nível da qualidade do ar, salientando-se que quanto mais restritivas forem as medidas, em relação às normas Euro e área geográfica afetada, melhor a eficiência da redução de emissões.

Palavras-chave: ZER, Qualidade do Ar, Normas Euro, PM_{10} , NO_2 , Lisboa.

ABSTRACT

In the last decades, in large urban centers, the levels of air pollution are still considered very high. This phenomenon stems from the road traffic and has a significant impact on human health.

As a means to revert this trend, several steps have been taken, with the introduction of Low Emission Zones (LEZ) being one of the most important. To date, this is considered to be the most effective method to help reduce air quality problems in cities, namely the ones related to high level concentrations of particulate matter (PM₁₀), nitrogen dioxide (NO₂) and indirectly ozone.

The main goal of this work was to evaluate the benefits of LEZ's in the city of Lisbon. In order to relate road traffic with atmospheric pollution, as well as to be able to evaluate the areas in which the exposure level to pollutants is higher, a detailed analysis, concerning the concentrations of NO₂ and PM₁₀ measured in air quality measuring stations, between the years of 2008 and 2011 was undertaken. Was also performed a data collection of the city's road traffic and several parameters were considered, such as, typology, fuel type, Euro standards and age of vehicles on the road, so that the emissions of nitrogen oxides (NO_x) and PM₁₀ could be calculated.

To determine the influence of LEZ, several scenarios were defined, taking into account vehicle's typology (cars, taxis, buses and motorcycles) and the intervention level regarding Euro standards. Subsequently, the reduction of NO_x and PM₁₀ emissions was determined when applied to different scenarios.

When applying a LEZ that imposes restrictions on all typologies of vehicles, there is a percentage reduction of the pollutant concentration of 8,9% of PM₁₀, 3,5% of NO_x, if applied restrictions to vehicles prior to 1992 (Pré-Euro 1), a reduction of 17,8% of PM₁₀, and 9,8% of NO_x when restrictions are applied to vehicles prior to 1996 (Euro 1) and a reduction of 35,3% of PM₁₀ and 26,5% of NO_x, when restrictions are applied on vehicles prior to 2003 (Euro 2).

In conclusion, it is possible to state that the adoption of LEZ in the city of Lisbon will bring noticeable benefits to the air quality level. It can also be highlighted that the more restrictive the actions taken, in terms of Euro standards and affected geographical area, the better the efficiency of the reduction in emissions.

Keywords: LEZ, Air Quality, Euro Standards, PM₁₀, NO₂, Lisbon.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução.....	1
1.1.	Justificação do tema.....	1
1.2.	Objetivo e âmbito.....	1
1.3.	Estrutura e organização da dissertação.....	2
2.	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1.	Qualidade do ar em zonas urbanas e a sua influência na saúde humana.....	5
2.2.	Partículas inaláveis (PM ₁₀).....	9
2.2.1.	Características.....	9
2.2.2.	Efeitos na saúde humana.....	11
2.3.	Dióxido de azoto - NO ₂	13
2.3.1.	Características.....	13
2.3.2.	Efeitos na saúde humana e nos ecossistemas.....	14
2.4.	Enquadramento legislativo.....	15
2.5.	Inventário de emissões de tráfego.....	18
2.6.	Normas Euro.....	18
2.7.	Zona de Emissões Reduzidas – ZER.....	20
3.	Caso de Estudo de Lisboa.....	25
3.1.	Estações fixas de monitorização de qualidade do ar.....	25
3.2.	Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo – Plano de Execução.....	28
3.3.	ZER em Lisboa.....	30
4.	Metodologia.....	33
4.1.	Enquadramento.....	34
4.1.1.	Estações fixas de monitorização de qualidade do ar.....	34
4.1.2.	Dados de tráfego.....	35
4.2.	Caracterização da área em estudo e seleção dos pontos de amostragem.....	37
4.2.1.	Estações fixas de monitorização da qualidade do ar.....	39
4.2.2.	Dados de tráfego.....	39
5.	Resultados e Discussão.....	43
5.1.	Estações Fixas de Monitorização da Qualidade do Ar.....	43
5.1.1.	Avaliação da eficiência das estações fixas de monitorização de qualidade do ar.....	43
5.1.2.	Excedências relativas aos valores limite de NO ₂ e de PM ₁₀	44
5.1.3.	Evolução da série de dados.....	46
5.1.4.	Avaliação do ano completo mais recente - 2011.....	47
5.2.	Dados de Tráfego.....	54
5.2.1.	Determinação da tipologia e da norma dos veículos.....	54
5.2.2.	Determinação do tipo de combustível e da cilindrada.....	55

5.2.3.	Determinação das emissões de NO _x e PM ₁₀	56
5.2.4.	Cálculo da redução de emissões de NO _x e de PM ₁₀ mediante a aplicação da ZER	58
6.	Conclusões	63
6.1.	Principais conclusões	63
6.2.	Limitações do estudo	64
6.3.	Desenvolvimentos futuros.....	64
7.	Referências Bibliográficas	65
8.	Anexos.....	69
8.1.	Tabelas do <i>Guia Corinair 2010</i> utilizadas para o cálculo dos fatores de emissão de PM ₁₀ e NO _x	69
8.2.	Classificação dos veículos em estudo.....	74
8.3.	Texto da decisão da CML sobre ZER.....	76
8.4.	Mapas de Zonas de Emissões reduzidas em países europeus.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pirâmide dos efeitos da poluição do ar na saúde. Adaptado de (WHO, 2006 b)	7
Figura 2.2 – Estimativa do número de meses reduzidos na esperança média de vida humana,..... devido aos teores de partículas. (European Commission , 2005).....	8
Figura 2.3 - Imagem do satélite Terra do dia 6 de Abril de 2011 (NASA, 2011).....	10
Figura 2.4 - Ciclo dos compostos azotados (Gomes, 2008)	14
Figura 2.5 - Emissões de NO _x em 2005 segundo o setor de atividade (APA, 2008)	14
Figura 2.6 – Representação esquemática do enquadramento legislativo de avaliação da gestão da qualidade do ar ambiente na União Europeia e em Portugal. Adaptado de (Almeida, 2010).....	16
Figura 3.1 - Área correspondente à primeira fase da ZER em Lisboa	30
Figura 3.2 - Área correspondente à segunda fase da ZER em Lisboa	31
Figura 4.1 - Diagrama explicativo da metodologia de recolha, tratamento e análise dos dados..... das estações fixas de monitorização de qualidade do ar	34
Figura 4.2 – Diagrama explicativo da metodologia de amostragem e de recolha dos dados de..... tráfego	35
Figura 4.3 - Diagrama explicativo da metodologia de cálculo dos dados de tráfego	36
Figura 4.4 - Área de estudo dividida em quadrículas	37
Figura 4.5 - Localização geográfica dos pontos de amostragem, das estações de monitorização.... de qualidade do ar e da ZER atualmente em vigor	38
Figura 5.1 – Representação do número de dias com excedências ao valor limite horário de NO ₂	44
Figura 5.2 - Representação do número de dias com excedências ao valor limite diário de PM ₁₀	45
Figura 5.3 - Evolução da Média Anual de NO ₂ (2008-2011).....	46
Figura 5.4 - Evolução da Média Anual de PM ₁₀ (2008-2011).....	46
Figura 5.5 - Concentração Média Horária de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação da Avenida..... da Liberdade.....	47
Figura 5.6 - Concentração Média Mensal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011	48
Figura 5.7 - Concentração Média Semanal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011.....	48
Figura 5.8 - Concentração Média Horária de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação de..... Entrecampos.....	49
Figura 5.9 - Concentração Média Mensal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação de..... Entrecampos.....	49
Figura 5.10 - Concentração Média Semanal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação de	49
Entrecampos.....	49
Figura 5.11 - Concentração Média Horária de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação dos Olivais...50	50
Figura 5.12 - Concentração Média Mensal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação dos Olivais...50	50
Figura 5.13 - Concentração Média Semanal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação dos Olivais 50	50
Figura 5.14 - Concentração Média Horária de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação do Restelo ...51	51
Figura 5.15 - Concentração Média Mensal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação do Restelo ...51	51
Figura 5.16 - Concentração Média Semanal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação do Restelo.52	52
Figura 5.17 - Concentração Média Horária de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação de Santa..... Cruz de Benfica	52
Figura 5.18 - Concentração Média Mensal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação de Santa..... Cruz de Benfica	52
Figura 5.19 - Concentração Média Semanal de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na Estação de Santa	53
Cruz de Benfica	53
Figura 5.20 - Percentagens das diferentes tipologias de veículos que circulam na cidade de..... Lisboa.....	54
Figura 5.21 - Percentagem dos veículos tendo em conta as Normas Euro.....	54
Figura 5.22 - Cilindrada e combustível dos veículos ligeiros amostrados	55
Figura 5.23 - Cilindrada e combustível dos táxis amostrados.....	55
Figura 5.24 - Emissões de NO _x tendo em conta a % das tipologias e a norma Euro dos veículos .57	57

Figura 5.25 - Emissões de PM ₁₀ tendo em conta a % das tipologias e a norma Euro dos veículos....	57
Figura 5.26 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação a todas as tipologias de veículos.....	59
Figura 5.27 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação a..... todas as tipologias de veículos.....	59
Figura 5.28 - Redução percentual de emissões quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e táxis.....	59
Figura 5.29 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e táxis.....	59
Figura 5.30 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e pesados de passageiros	60
Figura 5.31 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e pesados de passageiros	60
Figura 5.32 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação de táxis e pesados de passageiros	60
Figura 5.33 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de táxis e pesados de passageiros	60
Figura 5.34 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros.....	61
Figura 5.35 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros.....	61
Figura 8.1 - Equação utilizada para o cálculo do fator de emissão de NO _x para veículos ligeiros e táxis movidos a gasolina	70
Figura 8.2 - Equação utilizada para o cálculo do fator de emissão de PM ₁₀ para veículos ligeiros..... e táxis movidos a gasóleo	71
Figura 8.3 - Equação utilizada para o cálculo de emissões de NO _x de motociclos a quatro..... tempos com cilindrada superior a 50 cm ³	71
Figura 8.4 - Mapas de algumas ZER implementadas em cidades europeias (EU, 2012).....	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Efeitos de alguns poluentes atmosféricos na saúde e na atmosfera. Adaptado de:..... (McKinney, Schoch, & Yonavjak, 2007; Vallero, 2008; WHO, 2006b; EEA, 2011)	8
Tabela 2.2 - Constituição química e fontes de partículas finas e grosseiras (Tente, 2005).	11
Tabela 2.3 – Valores normativos para PM ₁₀	16
Tabela 2.4 – Valores normativos para PM _{2,5}	17
Tabela 2.5 – Valores normativos para NO ₂	17
Tabela 2.6 - Datas de introdução das normas Euro para veículos rodoviários (EEA, 2010 b).....	19
Tabela 2.7 - Normas de Emissões para Veículos Ligeiros, g/km. Adaptado de (DieselNet, 2012) .	19
Tabela 2.8 – Exemplos de algumas ZER e respetivas medidas aplicadas na Europa. Adaptado..... de (EU, 2012)	21
Tabela 2.9 – Resumo de alguns Impactes resultantes de algumas ZER Europeias. Adaptado de.... (EU, 2012)	23
Tabela 3.1 – Classificação das estações de monitorização da qualidade do ar. Adaptado de (Comissão Europeia, 2001; Garber, <i>et al.</i> , 2002)	26
Tabela 3.2 – Informações adicionais a fornecer sobre as estações. Adaptado de (Comissão Europeia, 2001)	26
Tabela 3.3 – Tipos de estações, objetivos de monitorização e respetivos poluentes a analisar (ADEME, 2002).....	27
Tabela 3.4 – Estações fixas de monitorização da qualidade do ar em análise (APA, 2012 b).....	27
Tabela 4.1 - Indicação da localização de todos os pontos de amostragem	38
Tabela 4.2 - Indicação dos diferentes cenários (A1,A2,A3;B1,B2,B3; C1,C2,C3; D1,D2,D3; E1,E2,E3) definidos neste trabalho.	42
Tabela 5.1 – Percentagens de validação diária dos resultados de cada estação em análise.....	43
Tabela 5.2 – Dados estatísticos referentes aos inquéritos	55
Tabela 5.3 - Emissões em g/km de NO _x e PM ₁₀ correspondentes a cada tipologia de tráfego.	56
Tabela-5.4 – Emissões em g/km de NO ₂ e PM ₁₀ emitidas por cada tipologia/norma na cidade de.... Lisboa	56
Tabela 5.5 – Redução das emissões de PM ₁₀ e NO _x caso sejam aplicados vários cenários de implementação da Zona de Emissões Reduzidas.....	58
Tabela 8.1 - Equações utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO _x para veículos ligeiros e táxis Pré-Euro movidos a gasolina. (Tabela 3-35 do Guia Corinair).....	69
Tabela 8.2 - Constantes utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO _x para veículos..... ligeiros e táxis movidos a gasolina (Tabela 3-39 do Guia Corinair)	69
Tabela 8.3 – Fatores de emissão de PM ₁₀ para veículos ligeiros de passageiros e táxis movidos.... a gasolina (Tabela 3-40 do Guia Corinair)	70
Tabela 8.4 – Equações utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO _x e PM ₁₀ para..... veículos ligeiros e táxis Pré-Euro movidos a gasóleo (Tabela 3-43 do Guia Corinair).....	70
Tabela 8.5 – Constantes utilizadas para o cálculo do fator de emissão de PM ₁₀ para veículos ligeiros e táxis movidos a gasóleo (Tabela 3-45 do Guia Corinair)	70
Tabela 8.6 – Fatores de emissão dos veículos pesados de passageiros movidos a Gás Natural (Tabela 3-59 do Guia Corinair)	71
Tabela 8.7 – Constantes utilizadas para o cálculo de emissões de NO _x de motociclos a quatro..... tempos com cilindrada superior a 50 cm ³ (Tabela 3-63 do Guia Corinair)	71
Tabela 8.8 - Fatores de emissão utilizados para o cálculo de emissões de PM ₁₀ de motociclos a dois tempos com cilindrada superior a 50 cm ³ (Tabela 3-64 do Guia Corinair).....	72
Tabela 8.9 - Equações utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO _x e PM ₁₀ , para veículos pesados, presentes no documento EFs_G00%_L050% do Anexo 3 do Guia Corinair 2010	73
Tabela 8.10 – Normas Euro dos veículos ligeiros de passageiros.....	74
Tabela 8.11 – Tipo de combustível e cilindrada dos veículos ligeiros.....	74

Tabela 8.12 – Número de veículos da frota de veículos pesados de passageiros da Carris, tendo ... em conta a tipologia e a norma Euro (Carris, 2010 a).....	74
Tabela 8.13 – Classificação dos veículos da Carris por tipologia e por peso (Carris, 2010 b).....	74
Tabela 8.14 - Normas Euro dos motociclos	75
Tabela 8.15 – Classificação dos táxis em relação às normas Euro	75

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AML - Área Metropolitana de Lisboa
APA - Agência Portuguesa do Ambiente
CAFE - *Clean Air for Europe*
CCDR-LVT - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo
COV – Compostos orgânicos voláteis
CRSP-LVT - Centro Regional de Saúde Pública de Lisboa e Vale do Tejo
DCEA - Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente
DL – Decreto-Lei
EEA – *European Environment Agency*
EPA - *Environmental Protection Agency*
ETC-ACC - *European Topic Centre on Air and Climate Change*
ETC / AEM - Centro de Agência Temático Europeu sobre Emissões Atmosféricas
FCT/UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Nova de Lisboa
INE - Instituto Nacional de Estatística
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PM – Matéria particulada
PM₁₀ – Partículas em suspensão suscetíveis de passar através de um filtro seletivo com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 10 µm
PM_{2.5} - Partículas em suspensão suscetíveis de passar através de um filtro seletivo com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 2.5 µm
PMQA-LVT - Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo
PNAC - Plano Nacional para as Alterações Climáticas
RLVT - Região de Lisboa e Vale do Tejo
RMQA - Rede de Monitorização da Qualidade do Ar
UE - União Europeia
UV – Ultravioleta
VAO - Vias de Alta Ocupação
WHO - *World Health Organization*
ZER - Zona de Emissões Reduzidas

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificação do tema

Segundo o relatório ambiental divulgado em 2012 pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a poluição do ar será uma das principais causas de morte associada a questões ambientais no ano de 2030, com cerca de 2,25 milhões de mortes, prevendo-se ainda que este número aumente para 3.6 milhões (OCDE, 2012).

Sendo as áreas urbanas locais onde habitam cerca de 72% da população europeia, existe a necessidade real de desenvolver sistemas mais eficientes de transporte, pois estes são a principal fonte emissora de poluentes atmosféricos. Surge assim o desafio de assegurar a sustentabilidade dos transportes em termos ambientais (poluição atmosférica, ruído) e de competitividade, mas tendo sempre em conta a dimensão social.

É urgente a implementação de medidas que permitam reduzir as emissões de poluentes atmosféricos e ao mesmo tempo reduzir o encargo económico dos problemas de saúde.

Para tal, é essencial a adoção de medidas que promovam a redução dos impactes ambientais do setor dos transportes, tais como a promoção da investigação para a produção de veículos com emissões mais baixas ou nulas e a implementação de áreas ou estradas onde se restrinja a entrada e a circulação de veículos mais poluentes. Estas últimas são denominadas de Zonas de Emissões Reduzidas e têm sido consideradas a medida mais eficaz para reduzir os problemas de qualidade do ar nas cidades, nomeadamente as referentes aos elevados teores de matéria particulada, dióxido de azoto e indiretamente, ozono.

1.2. Objetivo e âmbito

Os principais objetivos desta dissertação são:

- Avaliar os benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa;
- Relacionar o tráfego rodoviário com a poluição atmosférica em zonas urbanas;
- Identificar as zonas da cidade de Lisboa onde o nível de exposição aos poluentes NO_2 e PM_{10} é mais elevado.

Para tal, foi necessário realizar uma análise detalhada e dedicada da área urbana em questão, tendo-se realizado o seguinte:

- Caracterização da qualidade do ar na cidade de Lisboa, com recurso aos dados recolhidos pelas estações fixas de monitorização de qualidade do ar, nomeadamente através da análise do comportamento da concentração dos poluentes, do padrão de concentrações de acordo com a localização das estações fixas e da comparação das concentrações com os valores legislados;
- Estabelecer relações entre a intensidade de tráfego e as concentrações dos poluentes atmosféricos na cidade;
- Caracterização do tráfego da cidade tendo em conta a sua tipologia (veículos ligeiros, táxis, pesados de passageiros e motociclos), norma Euro e tipo de combustível;
- Cálculos das emissões de PM_{10} e NO_x provenientes das várias tipologias de veículos em circulação;
- Definição de vários cenários da implementação da ZER e conseqüente cálculo da redução das emissões de PM_{10} e de NO_2 ;
- Compreender se a implementação de Zonas de Emissões reduzidas iria influenciar o padrão das concentrações medidas nas estações fixas.

1.3. Estrutura e organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada nos seguintes seis capítulos:

Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo é feita uma introdução ao trabalho desenvolvido, sendo justificada a escolha do tema e os objetivos da dissertação, assim como a sua estrutura e organização.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Este capítulo tem como objetivo contextualizar o estudo desenvolvido nesta dissertação e introduzir alguns conceitos teóricos que auxiliam a sua compreensão, servindo de suporte à metodologia aplicada.

As principais temáticas abordadas são: qualidade do ar em zonas urbanas e a sua influência na saúde humana, características dos poluentes atmosféricos estudados, enquadramento legislativo referente às concentrações e monitorização dos poluentes atmosféricos, inventário de emissões atmosféricas, normas Euro e zonas de emissões reduzidas.

Capítulo 3 - Caso de Estudo de Lisboa

O capítulo 3 consiste numa contextualização mais específica do que foi abordado na revisão bibliográfica, sendo dado destaque aos seguintes tópicos: monitorização da qualidade do ar por parte das estações fixas de monitorização de qualidade do ar em Lisboa; plano de melhoria da qualidade do ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo; Zona de Emissões reduzidas implementada na cidade de Lisboa.

Capítulo 4 – Metodologia

Neste capítulo é descrita a metodologia deste estudo aplicada ao longo das seguintes etapas:

- Caracterização da qualidade do ar na cidade de Lisboa, com recurso aos dados recolhidos pelas estações fixas de monitorização de qualidade do ar;
- Caracterização do tráfego da cidade tendo em conta a sua tipologia, norma Euro e combustível;
- Estabelecimento de relações entre a intensidade de tráfego e as concentrações dos poluentes atmosféricos na cidade;
- Definição de vários cenários da implementação de ZER e consequente cálculo da redução das emissões de PM₁₀ e de NO₂;
- Avaliação dos benefícios da implementação de ZER em Lisboa.

Capítulo 5 - Resultados e Discussão

Através da metodologia descrita, foi realizada uma análise cuidada e detalhada de todos os dados obtidos. Esta foi seccionada em dois capítulos intermédios:

- Estações fixas de monitorização da qualidade do ar, onde foi avaliada a eficiência das estações, as excedências em relação aos valores limite de NO₂ e PM₁₀ e analisada a evolução das concentrações destes poluentes ao longo de uma série de dados. Para uma análise mais detalhada foi destacado o ano completo mais recente;
- Dados de tráfego, onde foi determinada a tipologia, norma Euro, tipo de combustível e cilindrada dos veículos. Foram também determinadas as emissões de NO₂ e PM₁₀

provenientes das várias tipologias dos veículos em estudo e calculadas as reduções de emissões destes poluentes mediante a aplicação de vários cenários definidos para a Zona de Emissões Reduzidas.

Capítulo 6 - Conclusões

Por fim, de acordo com os objetivos definidos inicialmente, são enumeradas as principais conclusões resultantes desta dissertação, apresentadas as limitações deste estudo e são sugeridos alguns desenvolvimentos futuros que visam complementar e dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo contextualizar o estudo desenvolvido nesta dissertação e introduzir alguns conceitos teóricos que auxiliam a compreensão deste trabalho.

Algumas das temáticas abordadas neste trabalho são:

- Caracterização da qualidade do ar em zonas urbanas, nomeadamente na cidade de Lisboa;
- Influência da dinâmica da cidade na qualidade do ar;
- Efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde humana;
- Monitorização da qualidade do ar;
- Enquadramento legislativo referente às concentrações e monitorização dos poluentes atmosféricos;
- Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo;
- Zonas de Emissões Reduzidas na Europa e em Portugal.

2.1. Qualidade do ar em zonas urbanas e a sua influência na saúde humana

A Área Metropolitana de Lisboa (AML) é formada por 19 concelhos, que constituem cerca de 3.3% da superfície do território do português. Na década de 60 morava nesta região cerca de 1/6 da população nacional; no entanto, nas últimas décadas verificou-se um aumento demográfico, sendo atualmente a região com maior concentração populacional do país, onde habita cerca de 1/4 da população portuguesa (AML, 2007).

Esta distribuição da população leva que sejam registados congestionamentos no acesso à capital, sobretudo durante as horas de ponta, pois existem cerca de 250 000 pessoas a deslocarem-se diariamente para o concelho de Lisboa, que possui apenas cerca de 20% da população residente da Região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT) (INE, 2012) e concentra pouco mais de 25% da população activa do país (CCDR-LVT, 2009). É realmente de assinalar a existência de um grande número de pessoas que mora na periferia e que se tem que deslocar diariamente para o seu local de trabalho.

A maioria das deslocações pendulares realizadas na AML efetua-se através de transportes públicos coletivos rodoviários, ferroviários e fluviais. Destes passageiros que se deslocam de transportes públicos, no ano 2000, cerca de 64% recorriam transporte rodoviário (AML, 2007).

A RLVT, sendo também um importante centro urbano e industrial, apresenta graves problemas de poluição atmosférica resultantes das emissões de diversos poluentes próprios dos grandes aglomerados urbanos e industriais. A topografia e a disposição da cidade associada ao clima da região favorecem a ocorrência de episódios de poluição atmosférica (Reis, 2008).

O uso do transporte rodoviário individual, apesar de valorizado por ser um facilitador de mobilidade individual, possui várias externalidades negativas associadas ao seu uso, nomeadamente: custos ambientais advindos da poluição atmosférica, poluição sonora, emissão de gases de efeito de estufa, agravamento das alterações climáticas, efeitos adversos na saúde e degradação de infraestruturas (Almeida, 2010). Todos estes impactes fazem-se notar sobretudo nos grandes centros urbanos, sendo que a cidade de Lisboa não é exceção.

O aumento do tráfego rodoviário, associado ao congestionamento das vias rodoviárias faz com que o tempo médio das deslocações seja maior, aumentando também as concentrações dos poluentes emitidos pelos veículos. A baixas velocidades de circulação há um aumento em termos

absolutos das emissões de poluentes como o monóxido de carbono, os óxidos de azoto e partículas, agravando-se assim a qualidade do ar (Martins, 2005).

Segundo Almeida (2010), os principais poluentes advindos do sector dos transportes são:

- Óxidos de azoto (NO_x);
- Compostos orgânicos voláteis (COV);
- Dióxido de carbono (CO_2), resultante do consumo de combustíveis fósseis;
- Dióxido de Enxofre (SO_2), libertado pelos veículos a gasóleo;
- Partículas, procedentes sobretudo dos veículos a gasóleo;
- Ozono (O_3), que é um poluente secundário derivado dos compostos orgânicos voláteis e dos óxidos de azoto;
- Monóxido de carbono (CO) derivado da combustão incompleta;
- Benzeno (C_6H_6).

Ao longo das últimas décadas, as evidências dos efeitos da poluição do ar na saúde humana têm sido cada vez mais suportadas por estudos científicos. Foram identificados diversos efeitos dependendo da exposição ser de curto ou longo prazo (WHO, 2006 b).

No que respeita aos efeitos atribuídos à exposição de curto prazo podem considerar-se:

- Aumento da mortalidade diária;
- Interações devido a problemas respiratórios e cardiovasculares;
- Aumento das consultas de emergência devido a problemas respiratórios e cardiovasculares;
- Uso de medicamentos respiratórios e cardiovasculares;
- Dias de atividade restrita;
- Afastamento do trabalho/escola;
- Sintomas agudos (episódios de tosse irritativa, infeções respiratórias);
- Mudanças fisiológicas, nomeadamente da função pulmonar.

Quanto aos efeitos atribuídos à exposição a longo prazo:

- Mortalidade por doença cardiovascular e respiratória;
- Maior incidência de doenças crónicas respiratórias e cardiovasculares;
- Alterações crónicas de funções fisiológicas;
- Cancro do pulmão;
- Restrição do crescimento intra-uterino (exemplo: baixo peso ao nascer) (WHO, 2006 a).

A Figura 2.1 estabelece uma relação entre a proporção da população afetada pela poluição atmosférica e a gravidade dos efeitos que esta origina na saúde humana.

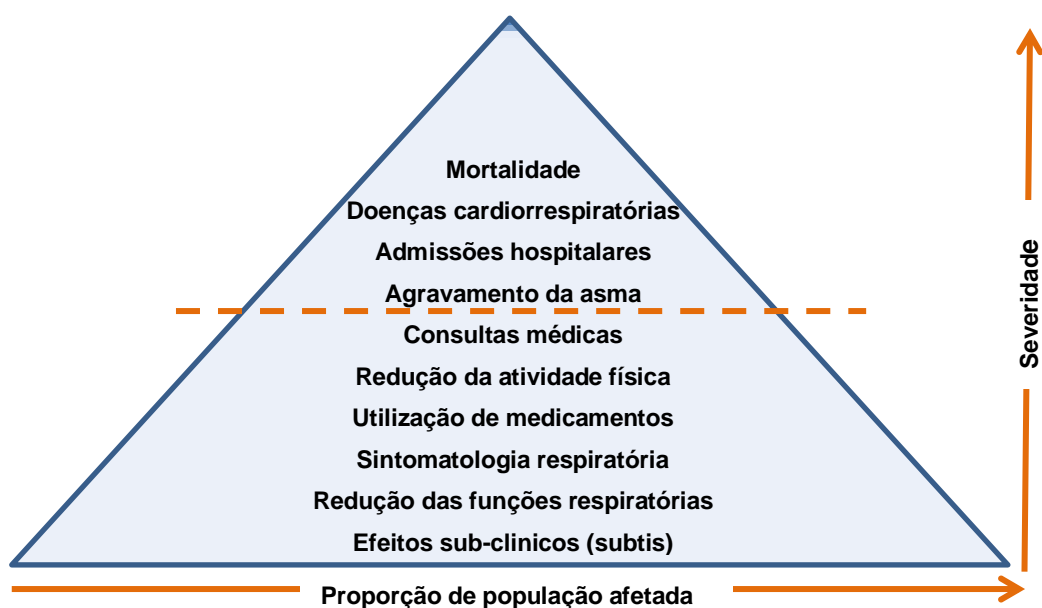


Figura 2.1 - Pirâmide dos efeitos da poluição do ar na saúde. Adaptado de (WHO, 2006 b)

São atribuídos à má qualidade do ar ambiente cerca de 3% da mortalidade por doenças cardiopulmonares, cerca de 5% da mortalidade por cancro na traqueia, brônquios e pulmão e cerca de 1% da mortalidade por infeções respiratórias agudas em crianças com menos de cinco anos. Estes valores correspondem a aproximadamente 0,8 milhões (1,2%) de mortes prematuras, sendo que este fenómeno ocorre sobretudo nos países em desenvolvimento. No entanto, é relevante salientar que devido a limitações no banco de dados epidemiológicos, estas estimativas apenas consideram o impacte da poluição do ar sobre a mortalidade (anos de vida perdidos) e não a morbilidade (isto é, anos vividos com incapacidade) (WHO, 2006 b).

Os danos causados pela poluição atmosférica na saúde humana têm sido cada vez maiores, sendo responsáveis por 310 000 mortes prematuras na Europa, por ano, (mais do que as mortes causadas por acidentes rodoviários) e representam uma despesa para a economia europeia entre 427 a 790 mil milhões de euros por ano (EU, 2012).

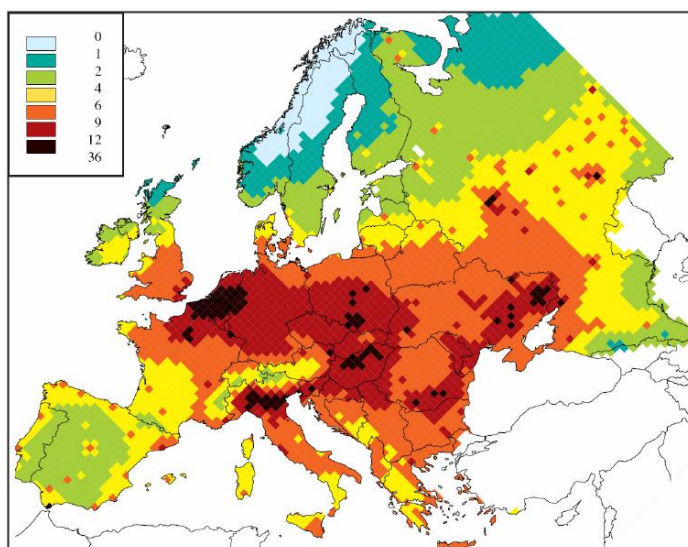


Figura 2.2 – Estimativa do número de meses reduzidos na esperança média de vida humana, devido aos teores de partículas. (European Commission , 2005)

O mapa da Figura 2.2, realizado no âmbito do programa CAFE (*Clean Air For Europe*) representa uma estimativa dos meses reduzidos na esperança média de vida humana devido à poluição atmosférica, mais especificamente devido ao teor de partículas.

Na Tabela 2.1 encontram-se descritos os efeitos de alguns poluentes atmosféricos na saúde humana e na atmosfera.

Tabela 2.1 – Efeitos de alguns poluentes atmosféricos na saúde e na atmosfera. Adaptado de: (McKinney, Schoch, & Yonavjak, 2007; Vallero, 2008; WHO, 2006b; EEA, 2011)

Poluente	Efeitos na Saúde	Efeitos na Atmosfera
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Dificuldades respiratórias, bronquites e tonturas.	Origina partículas de sulfatos contribuindo para a diminuição da visibilidade e para a formação de chuvas ácidas.
Partículas (PM ₁₀)	Irritação nasal, tosse, bronquite e asma. Pode agravar doenças pulmonares e cardiovasculares.	Redução da visibilidade
Óxidos de Azoto (NO _x)	Problemas respiratórios (brônquios e alvéolos pulmonares). Pode afetar também o fígado e o baço.	Origina partículas de nitratos contribuindo para a diminuição da visibilidade e é precursor da formação de ozono troposférico.
Ozono (O ₃)	Irritação dos olhos, nariz e garganta e causar reações alérgicas. Pode destruir tecido pulmonar, levando à diminuição da sua função,	Principal constituinte do <i>smog</i> fotoquímico.

	desencadeando sintomas respiratórios, tais como: tosse, asma e outras doenças pulmonares. Náuseas, leucemia, cancro da pele e do pulmão (concentra-se na placenta e medula óssea).	
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)		Precursor da formação de ozono troposférico.
Monóxido de Carbono (CO)	Pode causar cefaleias, tonturas e fadiga. Pode levar a uma redução da capacidade do sistema circulatório transportar oxigênio, afetando assim o sistema cardiovascular e o sistema nervoso central.	Agravamento do efeito de estufa e consequente aquecimento Global.
Dióxido de Carbono (CO ₂)		
Benzeno (C ₆ H ₆)	Afeta o sistema nervoso central e debilita o sistema imunitário (carcinogénico, mutagénico e solúvel).	

2.2. Partículas inaláveis (PM₁₀)

2.2.1. Características

Matéria particulada (PM) é o termo geral que é utilizado para uma mistura de partículas de aerossol suspensas no ar. Estas podem variar em tamanho, composição e são produzidas por uma variedade de processos naturais ou antropogénicos (EEA, 2011).

O tamanho das partículas é variável, estando classificado em diversas categorias: a) partículas ultra-finas, com um diâmetro inferior a 0,1 µm; b) partículas finas, com diâmetro inferior a 1 µm; c) partículas grosseiras com um diâmetro superior a 1 µm. A concentração da PM, geralmente é expressa em microgramas por metro cúbico de ar (µg/ m³) (Baptista, 2008).

O tamanho das partículas também determina o tempo que estas residem na atmosfera. Enquanto a sedimentação e a precipitação removem PM₁₀ da atmosfera em apenas algumas horas, as PM_{2,5} já podem permanecer na atmosfera durante dias, ou mesmo semanas, podendo portanto ser transportadas a longas distâncias, viajando mais de 5 000 km.

A PM é diretamente emitida como partículas primárias, ou então é formada na atmosfera a partir de reações de oxidação e transformação das principais emissões gasosas, sendo estas denominadas por partículas secundárias.

Os principais precursores das partículas secundárias são o dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), amoníaco (NH₃) e compostos orgânicos voláteis (COV). Os principais gases precursores, SO₂, NO_x e NH₃, reagem na atmosfera, formando amónio e outras formas de compostos de sulfatos e nitratos, que condensam e formam partículas no ar, denominadas por aerossol orgânico secundário (EEA, 2011).

A matéria particulada pode ser de origem antropogénica ou de origem natural, sendo que a primeira inclui a combustão dentro de motores automóveis, combustão em habitações (aquecimento doméstico), atividades industriais (construção, manufatura de cimento, cerâmica e tijolos) e pavimento do tráfego rodoviário. A origem natural da PM inclui circulação de pólenes, sal marinho, cinzas vulcânicas e poeira suspensa (WHO, 2006 b) .

A Figura 2.3, consiste na imagem de satélite referente ao dia 6 de Abril de 2011, onde é possível observar uma nuvem de partículas a atingir o território nacional, sendo esta proveniente no norte de Africa, mais particularmente dos desertos do Sahara e Sahel.



Figura 2.3 - Imagem do satélite Terra do dia 6 de Abril de 2011 (NASA, 2011)

Existem épocas do ano em que a movimentação de partículas provenientes dos desertos africanos é mais intensa, refletindo-se assim nas concentrações de PM_{10} no ar ambiente (Santos, 2008).

Quanto às partículas de origem antropogénica, verifica-se que nas zonas urbanas, a principal fonte emissora são os transportes rodoviários, observando-se as maiores concentrações na proximidade de vias de tráfego intenso. Estes teores de PM resultam não só das emissões diretas do escape dos veículos, mas também do desgaste dos pneus e dos travões e da ressuspensão das poeiras das estradas. De um modo geral, os veículos a gasóleo emitem uma quantidade muito maior de partículas por veículo, do que os veículos a gasolina (Araújo, 2008).

Na Tabela 2.2, apresentam-se os principais compostos e elementos químicos que podem ser encontrados nos aerossóis atmosféricos, assim como a sua origem e granulometria mais frequentes.

Tabela 2.2 - Constituição química e fontes de partículas finas e grosseiras (Tente, 2005).

		Partículas grosseiras				Partículas finas			
		0.1 µm	1.0 µm	10 µm	25 µm	0.1 µm	1.0 µm	10 µm	25 µm
Fontes		Naturais		Antropogénicas		Naturais		Antropogénicas	
		<ul style="list-style-type: none"> • Ressuspensão de solos áridos • Transporte de PM de regiões áridas a longas distâncias • Vulcões • <i>Spray</i> Marinho • Fontes biológicas (esporos, pólenes, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressuspensão no pavimento provocada por tráfego rodoviário • Atividades industriais (cimento, cerâmica, construção, entre outras) • Combustão (petróleo e carvão). 		<ul style="list-style-type: none"> • Oxidação de gases sulfurosos • Oxidação dos óxidos de azoto (provenientes da transpiração do solo e de relâmpagos) • Produtos da transformação de compostos orgânicos de espécies biogénicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividades industriais com altas temperaturas (ex: fundições) • Emissões do Tráfego Rodoviário (essencialmente produtos da transformação de substâncias como NO_x, SO₂ e compostos orgânicos). 			
Componentes químicos principais		Óxidos metálicos de elementos crustais (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂) NaCl CaCO ₃ , Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄ , K ₂ SO ₄ Pólenes, Esporos, Micro-organismos				Sulfato (SO ₄ ²⁻) Nitrato (NO ₃ ⁻) Amónio (NH ₄ ⁺) Hidrogenião (H ⁺) Carbono elementar Metais (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe)			

2.2.2. Efeitos na saúde humana

A exposição a ambientes cuja concentração de PM é elevada está associada a um aumento da morbilidade e mortalidade, sendo estes fatores traduzidos numa diminuição da esperança média de vida (Maurício, 2009).

Segundo Baptista (2008), por cada aumento de 10 µg/m³ 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%.

Os efeitos da PM na mortalidade humana estão associados sobretudo à fração de PM_{2.5}, que representa na Europa, cerca de 40 a 80% da concentração em massa da PM₁₀ no ar ambiente. No entanto, a fração PM₁₀ também se encontra associada aos impactes na saúde.

O tamanho das partículas determina o local no trato respiratório onde se vão depositar, sendo que as PM₁₀ depositam-se sobretudo no trato respiratório superior, enquanto as partículas finas e ultrafinas conseguem atingir os alvéolos pulmonares (Uysal & Schapira, 2003; Ghio & Huang, 2004).

As partículas atuam ao nível do sistema respiratório e cardiovascular, mas os seus mecanismos de ação biológicos são ainda pouco conhecidos. Alguns efeitos associados com a exposição a curto prazo, devido a picos de concentração são: reações inflamatórias das vias respiratórias, sintomas respiratórios, efeitos adversos no sistema cardiovascular, aumento de admissões hospitalares e aumento da mortalidade. Quanto à exposição a longo prazo à concentração ambiente de partículas, associam-se patologias tais como: redução na capacidade respiratória, aumento de doenças pulmonares obstrutivas crónicas, redução na esperança média de vida devido a mortalidade cardiorrespiratória e provavelmente cancro do pulmão (WHO, 2004).

As partículas em suspensão na atmosfera são atualmente o poluente atmosférico em torno do qual a atividade de investigação ao nível dos efeitos epidemiológicos tem sido mais intensa. Uma das motivações destas investigações reside no facto de ser um dos poluentes cujos efeitos são mais relevantes e de “não existir nenhum limiar abaixo do qual a exposição a partículas não origina efeitos, ao contrário da maioria dos poluentes atmosféricos” (DCEA-FCT-UNL *et al*, 2005).

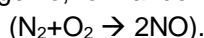
2.3. Dióxido de azoto - NO₂

2.3.1. Características

Os óxidos de azoto (NO e NO₂) são resultado da queima de combustíveis fósseis. São emitidos na forma de óxido de azoto (NO) que ao reagir com o ozono ou com radicais na atmosfera se transformam em dióxido de azoto (NO₂) (Baptista, 2008).

O NO é um gás inodoro e incolor praticamente insolúvel em água, no entanto, o NO₂ já apresenta características distintas, possuindo uma cor castanha/avermelhada, um forte odor ácido e é mais solúvel em água.

A própria atmosfera constitui uma importante fonte da maior parte do azoto que conduz à formação de NO_x (termo utilizado para descrever a soma de NO e NO₂). Apesar do azoto molecular (N₂) ser pouco reativo nas condições naturais da atmosfera terrestre, quando é sujeito a temperaturas elevadas, reage com o oxigénio, formando NO_x.



Os motores de combustão interna (como os que existem nos automóveis), conjugam as condições ideais para a formação de NO, sendo os veículos automóveis os principais emissores deste poluente. No entanto, estas condições ideais para a formação de NO, também ocorrem nas caldeiras das centrais termelétricas, sendo detetadas elevadas concentrações de NO_x perto das centrais (Vallero, 2008).

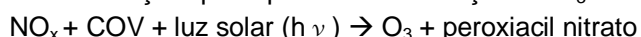
Cerca de 90 a 95% dos NO_x, apresentam-se sobre a forma de NO. Quando este é emitido para a atmosfera, reage com as moléculas de oxigénio em processos fotoquímicos, convertendo-se para NO₂ (NO + ½O₂ → NO₂).

Estando esta equação associada a fenómenos fotoquímicos, quanto maior a radiação solar, maior a produção de dióxido de azoto, estando este poluente sujeito a variações sazonais. Existem também fontes naturais de NO_x, nomeadamente descargas elétricas na atmosfera e transformação microbiana dos solos (Araújo, 2008).

Os óxidos de azoto intervêm na fotoquímica da troposfera e da estratosfera, sendo importantes nos processos de destruição do ozono estratosférico e de produção de ozono troposférico (O₃), conduzindo assim a fenómenos de *smog* fotoquímico. A sua remoção da troposfera é efetuada através da sua reação com o radical OH, originando ácido nítrico (HNO₃), rapidamente removido por deposição húmida, sendo que os óxidos de azoto contribuem para a acidificação do solo (Monjardino, 2008).

A definição de medidas que pretendem regular as emissões de NO e de NO₂ prendem-se no objetivo de reduzir as emissões na atmosfera responsáveis pela produção de O₃, uma vez que esta é uma molécula extremamente reativa e é formada por processos fotoquímicos na troposfera.

O NO₂ é o principal gás responsável pela absorção de luz solar que é necessária para que ocorram as reações fotoquímicas. Esta molécula é eficiente em absorver radiação ultravioleta que chega à superfície terrestre. A reação que representa a formação de O₃ na troposfera é:



Quanto maior o afastamento em relação às fontes emissoras, menores as concentrações de NO₂, uma vez que estas diminuem devido à dispersão atmosférica bem como à deposição e transformação química (Vallero, 2008).

Na Figura 2.4, encontra-se representado de uma forma sintética o ciclo dos compostos azotados.

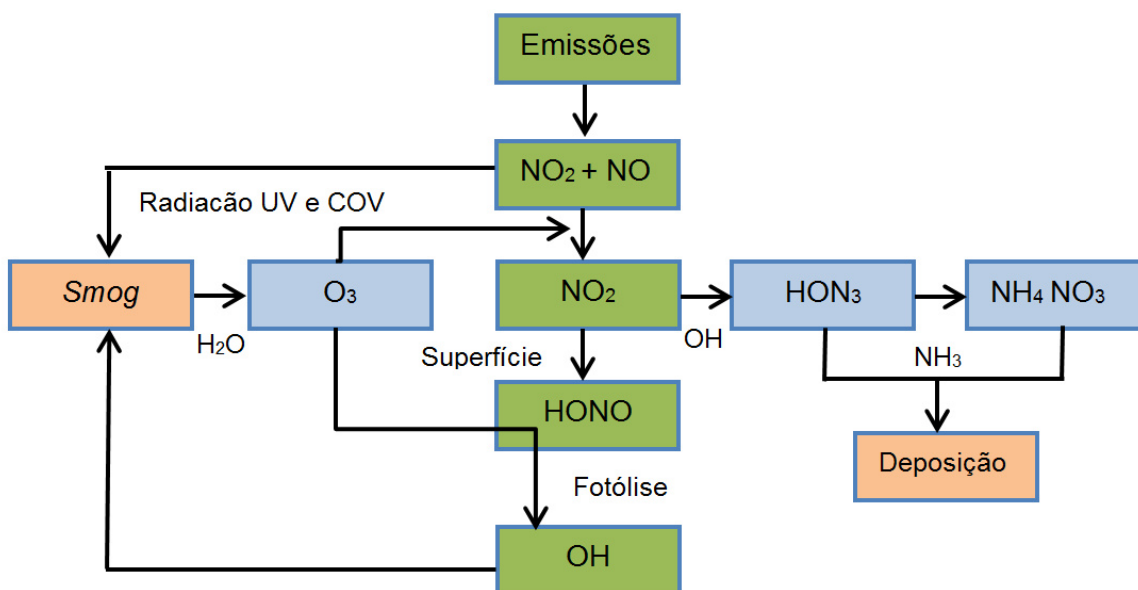


Figura 2.4 - Ciclo dos compostos azotados (Gomes, 2008)

A Figura 2.5 indica a proveniência das principais fontes antropogénicas de NO₂ em Portugal no ano de 2005, verificando-se que a maior percentagem pertence ao setor dos transportes rodo/ferroviários.

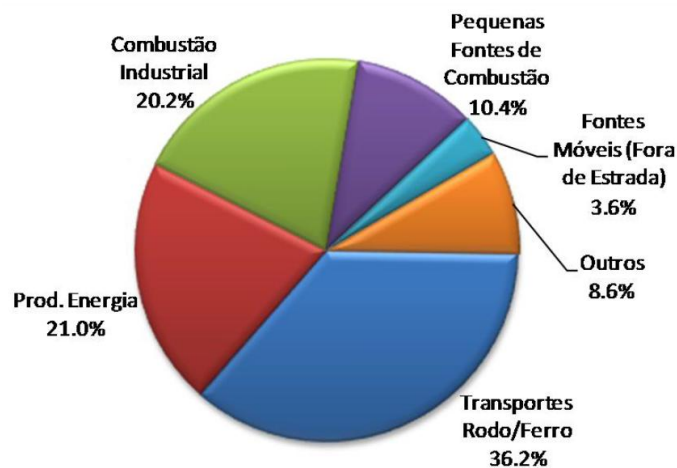


Figura 2.5 - Emissões de NO_x em 2005 segundo o setor de atividade (APA, 2008)

2.3.2. Efeitos na saúde humana e nos ecossistemas

Apesar dos teores de NO e de NO₂ presentes na atmosfera serem, de um modo geral, inferiores aos considerados prejudiciais para a saúde humana, quando as concentrações ultrapassam determinados valores, o NO₂ que é mais solúvel, consegue penetrar mais profundamente na região pulmonar. Podem surgir então lesões ao nível dos brônquios e alvéolos pulmonares e ser desenvolvida bronquite crónica e enfisemas.

Para além dos potenciais efeitos destes compostos azotados na saúde humana, são também identificados efeitos sobre o ambiente em geral, nomeadamente:

- Formação de chuvas ácidas, causando efeitos negativos na água, solo, vegetação e em diversos materiais;
- Degradação da qualidade da água, pois um aumento da concentração de azoto na água causa um desequilíbrio químico limitando o consumo de nutrientes pelas plantas aquáticas e outros organismos;
- Formação de espécies químicas tóxicas, uma vez que o NO_x reage com diversos químicos orgânicos;
- Redução da visibilidade devido ao bloqueio da transmissão da luz solar;
- Aumento da temperatura média do planeta, uma vez que promove o efeito de estufa;
- Formação do ozono troposférico que é prejudicial para a saúde humana (Araújo, 2008).

2.4. Enquadramento legislativo

A 27 de Setembro de 1996, foi publicada a Diretiva Quadro da Qualidade do Ar (Diretiva 1996/62/CE), referente à avaliação e gestão do ar ambiente. Esta estabeleceu linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar ambiente na União Europeia. Este documento, estipula objetivos de qualidade do ar ambiente na UE, visando assim prevenir e limitar os efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente. Deste documento, resultaram quatro diretivas-filha que estabelecem valores normativos para cada poluente atmosférico legislado.

A 21 de Maio de 2008 foi publicada a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. Esta, para além de agregar as três diretivas-filha, estabelece objetivos de qualidade do ar para as $\text{PM}_{2.5}$, incluindo um valor limite e objetivos relacionados com a exposição.

A 23 de Setembro de 2010, foi aprovado o Decreto-Lei 102/2010 que transpõe para o direito interno a Diretiva 2008/50/CE e a 4ª Diretiva filha (Diretiva 2004/107/CE).

Na Figura 2.6, encontra-se indicada, de uma forma sucinta, a principal legislação relativa à qualidade do ar.

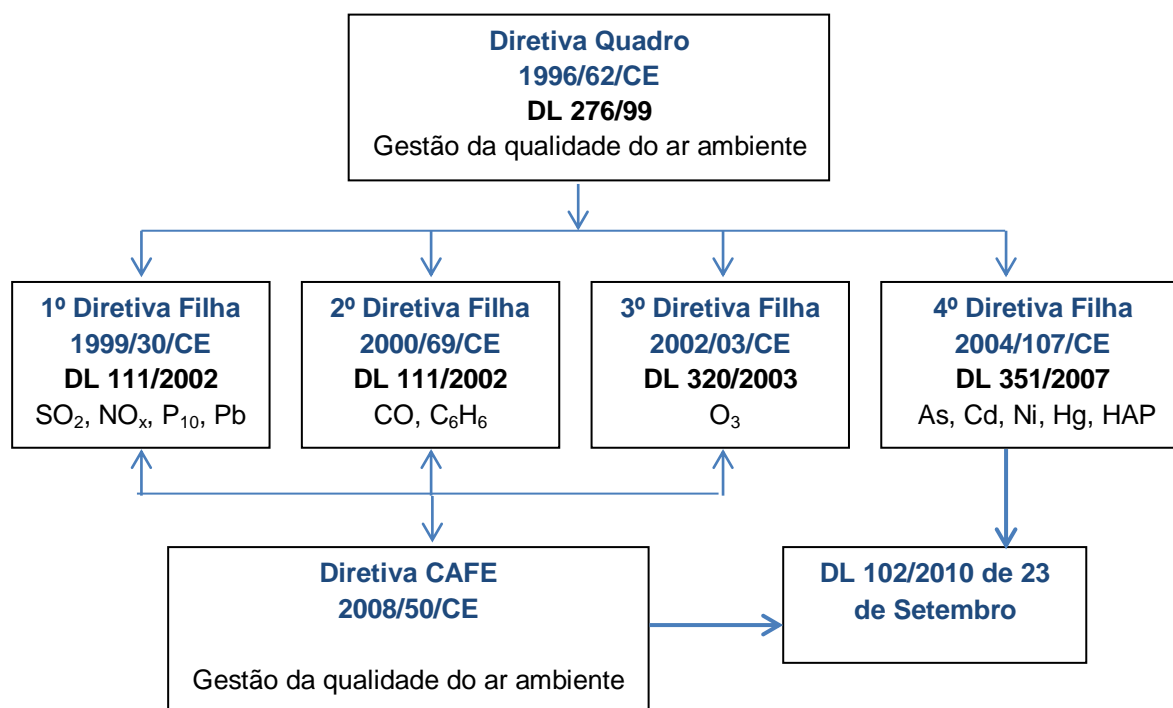


Figura 2.6 – Representação esquemática do enquadramento legislativo de avaliação da gestão da qualidade do ar ambiente na União Europeia e em Portugal. Adaptado de (Almeida, 2010)

Nas Tabelas 2.3 e 2.4, estão indicados os valores limite legislados para o ar ambiente relativos às partículas inaláveis.

Tabela 2.3 – Valores normativos para PM₁₀

Partículas em Suspensão PM ₁₀		
Proteção da saúde humana – Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de Setembro		
	Base diária (24 horas)	Base anual
Valor limite (µg/m³)	50	40
Limiar superior de avaliação	70 % do valor limite (35 µg/m ³ , a não exceder mais de 35 vezes em cada ano civil)	70 % do valor limite (28 µg/m ³)
Limiar inferior de avaliação	50 % do valor limite (25 µg/m ³ , a não exceder mais de 35 vezes em cada ano civil)	50 % do valor limite (12 µg/m ³)
Data de cumprimento do valor limite	Já em vigor desde 1 de Janeiro de 2005	Já em vigor desde 1 de Janeiro de 2005

Tabela 2.4 – Valores normativos para PM_{2,5}

Partículas em Suspensão PM _{2,5}	
Proteção da saúde humana – Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de Setembro	
	Base anual
Valor limite (µg/m³)	25
Limiar superior de avaliação*	70 % do valor limite (17 µg/m ³)
Limiar inferior de avaliação	50 % do valor limite (12 µg/m ³)
Data de cumprimento do valor limite	1 de Janeiro de 2015

* O limiar superior de avaliação e o limiar inferior de avaliação para as PM_{2,5} não se aplicam às medições efetuadas para avaliar o cumprimento do objetivo de redução de exposição às PM_{2,5} para proteção da saúde humana.

Na Tabela 2.5, estão indicados os valores definidos na legislação em vigor para o ar ambiente relativos ao dióxido de azoto.

Tabela 2.5 – Valores normativos para NO₂

Dióxido de Azoto – NO ₂		
Proteção da saúde humana – Decreto-Lei 102/2010 de 23 de Setembro		
	Base diária (24 horas)	Base anual
Valor limite (µg/m³)	200	40
Limiar superior de avaliação	70 % do valor limite (140 µg/m ³ , a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil)	80 % do valor limite (32 µg/m ³)
Limiar inferior de avaliação	50 % do valor limite (100 µg/m ³ , a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil)	65 % do valor limite (26 µg/m ³)
Data de cumprimento do valor limite	1 de Janeiro de 2010	1 de Janeiro de 2010

Estratégia temática sobre a poluição atmosférica

A estratégia temática europeia relativa à poluição do ar resultou de diversos trabalhos de investigação realizados no âmbito do Programa *Clean Air For Europe* (CAFE), tendo sido adotada após um longo processo de consulta que envolveu diversos *stakeholders* como o Parlamento Europeu, organizações não-governamentais, a indústria e os particulares. O documento tem como principal objetivo, alcançar níveis de qualidade do ar que não resultem em impactes inaceitáveis para o futuro, nem riscos para a saúde humana e para o ambiente.

Esta estratégia, desenvolvida em 2005, no âmbito das sete estratégias temáticas previstas no sexto programa de ação em matéria de ambiente, define objetivos específicos a longo prazo, considerando o período temporal do ano 2000 ao ano 2020. Os objetivos são os seguintes:

- Redução de 47% na perda da esperança de vida como um resultado da exposição ao material particulado;
- Redução de 10% em mortalidade aguda de exposição ao ozono;
- Redução de 74% na deposição de excesso de ácido em áreas de floresta e uma redução de 39% em áreas de água doce;
- Redução de 43% de áreas ou ecossistemas expostos a fenómenos de eutrofização (EEA, 2011).

2.5. Inventário de emissões de tráfego

Segundo o Decreto-Lei nº 193/2003 de 22 de Agosto, para a elaboração de inventários e de projeções de emissões, deve-se recorrer ao guia conjunto EMEP/CORINAIR – Inventário de Emissões Atmosféricas da Agência Europeia do Ambiente.

O CORINAIR é um programa que visa estabelecer um inventário das emissões de poluentes atmosféricos na Europa. Foi iniciado pela Agência Europeia do Ambiente (EEA) e fazia parte do CORINE (Coordenação de informações sobre o ambiente), sendo este um programa de trabalho estabelecido pelo Conselho Europeu de Ministros em 1985. Em 1995, o Centro de Agência Temático Europeu sobre Emissões Atmosféricas (ETC / AEM) foi contratado para continuar o programa de CORINAIR (EEA, 2012).

No âmbito do CORINAIR, a Agência Europeia do Ambiente (EEA) e o *European Topic Centre on Air and Climate Change* (ETC-ACC) desenvolveram um conjunto de ferramentas de *software* para apoiar os países europeus na compilação anual de inventários de emissões atmosféricas. Estas ferramentas permitem um processo transparente e padronizado, permitindo recolher dados consistentes e comparáveis e emitir relatórios cujos procedimentos se encontram de acordo com os requisitos da legislação europeia e das convenções internacionais (SPIRIT, 2011).

2.6. Normas Euro

Como forma de estimular a indústria automóvel a reduzir as emissões e a contribuir para um ambiente mais limpo, os novos modelos de automóveis são sujeitos a vários ensaios técnicos obrigatórios. Estes ensaios têm-se tornado cada vez mais rigorosos e incluem normas para emissões de escapes (Toyota, 2012).

A União Europeia (UE) tem vindo a desenvolver nos últimos 20 anos políticas destinadas a tornar a frota de veículos europeus cada vez mais limpa. Na década de 1970 e 1980, a Comissão Económica Europeia (CEE) desenvolveu um conjunto de normas de forma a reduzir as emissões de poluentes da indústria automóvel, estando estas direcionadas para veículos ligeiros de passageiros movidos a gasolina, não sendo englobados os veículos a gasóleo.

Posteriormente, a Comissão Europeia desenvolveu novos requisitos, sendo então criadas as normas Euro, para as quais ficaram definidos novos padrões de emissões de escape para os novos veículos vendidos na UE. Veículos que não cumpram estes requisitos não podem circular na União Europeia, exceto aqueles que já se encontravam em circulação antes de serem estabelecidas estas normas (EEA, 2010 b).

As normas de emissões são definidas em Diretivas da União Europeia e ao longo dos anos têm sido introduzidas normas cada vez mais rigorosas. Estas asseguram que a cada 4 a 5 anos, os novos veículos produzidos são considerados mais limpos (EU, 2012).

Na Tabela 2.6, encontram-se as datas de introdução das normas de emissão. Estas permitem que novos veículos sejam produzidos já dentro de determinada norma, possibilitando assim um melhor ajustamento da indústria automóvel.

Tabela 2.6 - Datas de introdução das normas Euro para veículos rodoviários (EEA, 2010 b).

Tipologia dos veículos	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Ligeiros de Passageiros	Julho 1992	Janeiro 1996	Janeiro 2000	Janeiro 2005	Setembro 2008	Setembro 2013
Ligeiros de Mercadorias (N1-I) *	Outubro 1993	Janeiro 1996 (gasolina, GLP), 1998 (gasóleo)	Janeiro 2000	Janeiro 2005	Setembro 2009	Setembro 2014 (só gasóleo)
Ligeiros de Mercadorias (N1-II & III) *	Outubro 1993	Janeiro 1996 (gasolina, GLP), 1998 (gasóleo)	Janeiro 2001	Janeiro 2006	Setembro 2009	Setembro 2015 (só gasóleo)
Pesados de Mercadorias e Pesados de Passageiros	1992	1995	1999	2005	2007	-
Motociclos	2000	2004	2007	-	-	-
Ciclomotores	2000	2004	2007	-	-	-

*N1-I: <1305 kg; N1-II: 1305-1760 kg; N1-III: >1760kg

Na Tabela 2.7, encontram-se indicados os níveis de poluentes permitidos de acordo com as diretivas comunitárias em vigor.

Tabela 2.7 - Normas de Emissões para Veículos Ligeiros, g/km. Adaptado de (DieselNet, 2012)

Norma	Ano/Mês	CO (g/km)	HC (g/km)	HC+NOx (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)
Gasóleo						
Euro 1	1992/07	2.72	-	0.97	-	0.14
Euro 2	1996/01	1.0	-	0.70	-	0.08
Euro 3	2000/01	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Euro 4	2005/01	0,50	-	0,30	0,25	0,0025
Euro 5	2009/09	0.50	-	0.23	0.18	0.005
Euro 6	2014/09	0.50	-	0.17	0.08	0.005
Gasolina						
Euro 1	1992/07	2.72	-	0.97	-	-
Euro 2	1996/01	2.2	-	0.50	-	-
Euro 3	2000/01	2,3	0,20	-	0,15	-
Euro 4	2005/01	1.0	0,10	-	0,08	-
Euro 5	2009/09	1.0	0.10	-	0.06	0.005
Euro 6	2012/09	1.0	0.10	-	0.06	0.005

Apesar do aumento de tráfego automóvel registado, as medidas e tecnologias implementadas, bem como as normas Euro comunitárias relativas às emissões dos veículos rodoviários, resultaram numa redução acentuada das emissões poluentes na União Europeia, entre 24 e 35 % durante o período temporal 1990- 2001. Todavia, apesar desta tendência, existem ainda graves problemas associados à qualidade do ar nas zonas urbanas (EEA, 2004).

2.7. Zona de Emissões Reduzidas – ZER

As Zonas de Emissões Reduzidas (ZER) são áreas ou estradas onde se restringe a entrada e a circulação de veículos mais poluentes, tendo sido já aplicadas em outros países europeus, com a designação na língua própria de cada local de: *Environment Zones*, *Umweltzonen*, *Milieuzones*, *Lavutslippssone*, *Miljozone*, *Miljözon*.

A maioria das ZER atuais funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano e afetam veículos pesados de mercadorias (com peso bruto superior a 3.5 toneladas), a maioria dos autocarros, carros, carrinhas e motociclos.

Estas zonas têm sido consideradas a medida mais eficaz para reduzir os problemas de qualidade do ar nas cidades, nomeadamente as referentes aos elevados teores de matéria particulada, dióxido de azoto e ozono, que quando se apresentam em elevadas concentrações são considerados prejudiciais para a saúde humana.

Apesar de ser uma medida relativamente recente, já é possível avaliar o impacto real das ZER, pois já estão a ser aplicadas há mais de um ano em vários países, como Alemanha, Holanda, Inglaterra e Suécia.

O impacto das ZER pode ser medido através do cálculo das emissões dos veículos que entram nestas zonas e da estimativa das emissões caso as ZER não estejam em vigor (EU, 2012). É com base nestes critérios que foi realizada esta dissertação, na qual foi realizado este estudo para a implementação da Zonas de emissões reduzidas na cidade de Lisboa.

Na Tabela 2.8, encontram-se de uma forma sucinta, algumas informações relativas às ZER aplicadas em algumas cidades europeias.

Tabela 2.8 – Exemplos de algumas ZER e respetivas medidas aplicadas na Europa. Adaptado de (EU, 2012).

País	Cidade	Início	Medidas
Alemanha	Berlim	Fase 1: Janeiro 2008 Fase 2: Janeiro 210	Restrições: <ul style="list-style-type: none"> • Fase 1: Todos os veículos a gasóleo, gasolina e veículos sem conversor catalítico de circuito fechado (Euro 1 ou equivalente). • Fase 2: Gasóleo Euro 4, Gasolina Euro 1 / etiqueta verde. Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.
	Cologne	Fase 1: Janeiro 2008 Fase 2: Janeiro 2013 Fase 3: Julho 2014	Veículos afetados Para todas as fases: todos os veículos a gasóleo, gasolina e veículos sem conversor catalítico de circuito fechado, exceto motociclos. Restrições: <ul style="list-style-type: none"> • Fase 1: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 2 • Fase 2: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 3 • Fase 3: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 4 Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.
Holanda	Amesterdão	Outubro 2008	Veículos afetados: Veículos pesados a gasóleo com peso superior a 3.5 toneladas. Restrições: <ul style="list-style-type: none"> • Até 1 de Julho de 2013: é permitida a circulação a Euro 3 adaptados com filtro de partículas, desde que não tenham mais de 8 anos e a Euro 4. • A partir de 1 de Julho de 2013: é permitida a circulação apenas a veículos com norma superior a Euro 4. Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.
Suécia	Estocolmo	Janeiro 2010	Veículos afetados Pesados de mercadorias e de passageiros Restrições: <ul style="list-style-type: none"> • Os veículos são autorizados a circular durante 6 anos a contar da data da primeira matrícula. • Os veículos Euro 2 e 3 podem circular até 8 anos a partir da data da primeira matrícula. • Interdito a Euro 2.

Avaliação dos benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa

			<ul style="list-style-type: none"> • Veículos Euro 3 podem circular até 2015 (se registados pela primeira vez em 2007). • Veículos Euro 4 podem circular até 2016. • Euro 5 e EEV podem circular até 2020, independentemente do ano de registo. <p>Exceções: nenhuma, no entanto existem algumas estradas nas quais os veículos podem circular.</p> <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.</p>
Inglaterra	Londres	Fevereiro 2008	<p>Veículos afetados Veículos a Gasóleo com mais de 3.5 toneladas (camiões, carrinhas grandes e autocarros)</p> <p>Restrições: A partir de 3 de Janeiro de 2012: é interdita a circulação a veículos pesados Euro 4 com mais de 3.5 toneladas e autocarros com mais de 5 toneladas.</p> <p>Exceções: Veículos ligeiros, motociclos e carrinhas pequenas (menos de 1,205 toneladas de peso em vazio) não estão incluídas na ZER Veículos históricos, veículos do ministério da defesa</p> <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.</p>

Tabela 2.9 – Resumo de alguns Impactes resultantes de algumas ZER Europeias. Adaptado de (EU, 2012)

País	Cidade	Impactes
Alemanha	Berlim	PM ₁₀ : Redução das emissões em 8% NO ₂ : Redução das emissões em 24% Excedências: Redução de 28 para 24 por ano de PM ₁₀
	Cologne	Resultados do primeiro ano de operação: PM ₁₀ : Redução de 4 µg/m ³ NO ₂ : Redução de 0.5 µg/m ³ Excedências: Redução de 7 excedências anuais de PM ₁₀
Holanda	Amesterdão	No verão de 2008, as melhorias de qualidade do ar foram ligeiramente inferiores ao previsto, com melhorias entre 0- 2 µg /m ³ (em relação ao ano anterior). Impacte limitado pela aplicação gradual e por muitas isenções para veículos, pois os filtros para veículos a gasóleo não estavam disponíveis.
Suécia	Estocolmo	Desde 2000, as concentrações de PM _{0.2} foram reduzidas entre 0.5 e 9%, no entanto, se a ZER tivesse sido cumprida por todos os veículos as concentrações iriam reduzir entre 0.5 e 12%.
Inglaterra	Londres	PM ₁₀ : De 2008 a 2010 houve uma redução de cerca de 5.8% Prevê-se a prevenção de cerca de 30 000 casos de sintomas respiratórios ligeiros.

No Anexo 8.4 encontram-se apresentados alguns mapas das ZER em vigor nas cidades mencionadas na Tabela 2.9.

3. CASO DE ESTUDO DE LISBOA

3.1. Estações fixas de monitorização de qualidade do ar

Portugal está dotado de estações e redes de medição fixas para a avaliação da qualidade do ar ambiente, sendo que estas são geridas maioritariamente pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional. Como forma de permitir uma maior coerência da informação recolhida, são estabelecidos objetivos e requisitos de qualidade dos dados. Através desta rede de medição, é possível verificar o nível de qualidade do ar ambiente, devendo sempre que os objetivos não sejam atingidos, ser tomadas medidas para dar cumprimento aos valores limite e, sempre que possível, para atingir os valores alvo e objetivos a longo prazo.

O Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de Setembro, estabelece o regime de avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, atribuindo particular importância ao combate das emissões de poluentes na origem e à aplicação de medidas mais eficazes de redução de emissões, a nível local e nacional, como formas de proteção da saúde humana e do ambiente.

A Decisão da Comissão de 17 de Outubro de 2001, relativa à revisão dos anexos da Decisão 97/101/CE do Conselho, estabelece um intercâmbio recíproco de informações e de dados provenientes das redes e estações individuais que medem a poluição atmosférica nos Estados-Membros.

Todas as estações de monitorização da Rede de Monitorização da Qualidade do Ar (RMQA) da CCDR-LVT estão equipadas com um conjunto de analisadores que permitem medir, de uma forma automática e em contínuo, as concentrações de diversos poluentes atmosféricos. Estas são determinadas pelos analisadores, com base nas características óticas ou nas propriedades físicas dos poluentes, tais como fluorescência de UV, quimiluminescência, entre outras.

Estes equipamentos, ao amostrarem continuamente o ar, permitem produzir dados em tempo real, emitindo continuamente um sinal elétrico proporcional à concentração do poluente medido, sendo os valores instantâneos obtidos integrados em médias de um quarto de hora e armazenados na memória dos próprios analisadores. Estes dados são periodicamente enviados, via telefone, para um servidor localizado na CCDR-LVT que centraliza, numa base de dados relacional, toda a informação da rede.

Os dados recolhidos pelas estações, são disponibilizados diariamente na base de dados nacional sobre qualidade do ar – QualAr - sob a forma de concentrações médias horárias e de um índice de qualidade do ar para as diversas zonas da Região de Lisboa e Vale do Tejo, sendo esta informação atualizada várias vezes ao dia (CCDR-LVT, 2010).

As estações de monitorização são classificadas tendo em conta as características da zona onde se localizam. Esta classificação é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classificação das estações de monitorização da qualidade do ar. Adaptado de (Comissão Europeia, 2001; Garber, et al., 2002)

Classificação da estação por tipo de zona onde se localiza	
Urbana	Zona construída contínua.
Suburbana	Zona em parte construída: implantação contínua de construções isoladas combinadas com zonas não urbanizadas (pequenos lagos, bosques, terrenos agrícolas).
Rural	Todas as zonas que não preenchem os critérios definidos para as zonas urbanas/suburbanas.
Rural próxima da cidade	Encontram-se afastadas até 10 km das principais fontes de emissão.
Rural regional	Encontram-se afastadas entre 10 a 50 km das principais fontes de emissão.
Rural remota	Encontram-se afastadas a mais de 50 km das principais fontes de emissão.
Classificação da estação por fonte de emissão dominante	
Tráfego	Estação cuja localização leva a que o seu nível de poluição seja influenciado principalmente pelas emissões provenientes de uma rua/estrada situada na proximidade.
Industrial	Estação cujo nível de poluição é influenciado principalmente por fontes industriais isoladas ou áreas industriais situadas na proximidade.
Fundo	Estação cujo nível de poluição não é influenciado diretamente pelo tráfego automóvel nem pela indústria, mas sim pela contribuição integrada de todas as fontes situadas na orientação do vento para a estação.

Para além das informações referentes à localização, classificação da estação e poluentes amostrados, devem estar associadas informações adicionais, mencionadas na Tabela 3.2, que permitem consolidar e compreender melhor os resultados obtidos nas estações.

Tabela 3.2 – Informações adicionais a fornecer sobre as estações. Adaptado de (Comissão Europeia, 2001)

Informações adicionais sobre as estações de tráfego
Volume de tráfego avaliado (média anual de tráfego diário); Distância da berma; Parte correspondente aos veículos pesados; Velocidade do tráfego; Distância entre as fachadas e altura dos edifícios.
Informações adicionais sobre as estações industriais
Tipo de indústria (nomenclatura selecionada para o código dos poluentes atmosféricos); Distância em relação à fonte/zona (em km).

Cada classe de estações de monitorização de qualidade do ar possui objetivos distintos, estando estes indicados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Tipos de estações, objetivos de monitorização e respetivos poluentes a analisar (ADEME, 2002).

Classes de estações		Objetivos
Fundo	Urbana	Monitorizar a exposição média da população para os fenómenos de poluição atmosférica denominados de fundo nos centros urbanos
	Suburbana	Monitorização da poluição fotoquímica, sobretudo o ozono e os seus precursores e possíveis poluentes primários. Monitorização dos níveis médios de exposição da população aos fenómenos de poluição atmosférica denominados de fundo na periferia dos centros urbanos.
	Rural	Monitorização da exposição dos ecossistemas e da população de fundo à poluição atmosférica, nomeadamente a fotoquímica à escala regional.
Tráfego		Fornecer dados sobre as concentrações medidas em áreas representativas do nível máximo de exposição, ao qual a população adjacente a infraestruturas rodoviárias é suscetível de estar exposta.
Industrial		Fornecer dados sobre as concentrações medidas em áreas representativas do nível máximo ao qual a população adjacente a uma fonte fixa está suscetível de estar exposta, pelos fenómenos de penacho ou acumulação.

A rede de monitorização de Lisboa e Vale do Tejo, gerida pela CCDR-LVT, é composta por 25 estações. No âmbito desta dissertação recorreu-se aos dados recolhidos por cinco estações de monitorização de qualidade do ar, estando estas descritas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Estações fixas de monitorização da qualidade do ar em análise (APA, 2012 b).

Estação	Classificação da Estação	Poluentes
Avenida da Liberdade	Urbana de Tráfego	NO, NO ₂ , NO _x , PM ₁₀ e CO
Olivais	Urbana de Fundo	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} e CO
Restelo	Urbana de Fundo	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM ₁₀ e CO
Entrecampos	Urbana de Tráfego	NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , SO ₂ , PM ₁₀ , C ₆ H ₆ , PM _{2.5} e CO
Santa Cruz de Benfica	Urbana de Tráfego	NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ e CO

3.2. Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo – Plano de Execução

Nos últimos anos, a cidade de Lisboa tem apresentado concentrações de dióxido de azoto e de partículas inaláveis (PM₁₀) superiores aos valores limite estabelecidos pela legislação nacional e comunitária para a saúde humana, sobretudo nas zonas de maior tráfego.

Por esse motivo foi elaborado o Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo, pois segundo o Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto, para zonas onde os níveis de poluentes são superiores aos valores limite, devem ser elaborados planos de melhoria da qualidade do ar, e respetivos programas de execução, de forma a fazer cumprir esses mesmos valores.

Segundo CCDR-LVT & DCEA-FCT/UNL (2009), *“Dando cumprimento ao disposto no referido decreto-lei, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo elaborou o Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo (PMQALVT), aplicável às aglomerações da Área Metropolitana de Lisboa Norte (AMLNorte), Área Metropolitana de Lisboa Sul (AMLSul) e Setúbal, áreas onde se registaram níveis dos poluentes partículas PM₁₀ e dióxido de azoto (este apenas na primeira das aglomerações referidas) superiores aos valores limite, acrescidos da respetiva margem de tolerância. Este plano foi formalmente aprovado pela Portaria n.º 715/2008, a 6 de Agosto de 2008, tendo sido objeto deste documento o diagnóstico e caracterização detalhada da qualidade do ar ambiente na Região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT), bem como a identificação e avaliação de um conjunto alargado de Políticas e Medidas (P&M) ”.*

A avaliação da qualidade do ar ambiente e o desenvolvimento dos Planos de Melhoria e Qualidade do Ar são feitos de acordo com os requisitos presentes na legislação sobre qualidade do ar.

Este programa implica a adoção de P&M que terão uma aplicação temporal, que deverá ser entre 2005-2012. Algumas das medidas a aplicar são supra-municipais, uma vez que englobam vários municípios, outras são de responsabilidade de apenas um município.

Algumas das medidas a aplicar são:

P&M S1 – Criação de vias de alta ocupação (VAO), conjugadas com corredores BUS e circulação de veículos elétricos (E) nos principais corredores de acesso a Lisboa – VAO+BUS+E;

P&M S2 – Criação de uma zona de emissões reduzidas (ZER) na cidade de Lisboa;

P&M S3 – Incentivo à instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias.

Cada uma destas medidas é executada por grupos de trabalho constituídos pelas entidades envolvidas neste plano.

A maioria das medidas deste plano, estão direcionadas para o sector dos transportes, pois esta é a principal fonte de emissões de partículas e de óxidos de azoto.

Planos e Medidas de âmbito Municipal

Dada a natureza local de problemas de qualidade do ar, são implementadas medidas de âmbito local, tais como:

M1 - Gestão e acalmia do tráfego;

M2 - Otimização e melhoria do desempenho ambiental de veículos e frotas;

- M3 - Promoção e sensibilização ambiental;
- M4 - Promoção da utilização dos transportes coletivos;
- M5 - Promoção de “modos suaves” de mobilidade;
- M6 - Gestão da oferta e procura de estacionamento;
- M7 - Outros tipos de P&M, como por exemplo, lavagem de ruas, supressão da utilização de sopradores de folhas e alteração de instalações de combustão com impacte local.

De todas as medidas enunciadas, apenas a terceira e a quarta é que não têm aplicação no concelho de Lisboa.

A caracterização de todas estas medidas foi executada tendo em conta os seguintes aspetos:

- Identificação do Plano e Medida;
- Descrição do Plano e Medida;
- Aglomerações abrangidas;
- Entidades responsáveis pela sua implementação;
- Calendário de implementação;
- Outros benefícios associados;
- Indicadores de monitorização.

Planos e Medidas de âmbito Supra-Municipal

Estes P&M incluem medidas desenvolvidas pela administração central (âmbito nacional), nomeadamente medidas que constam no PNAC, tais como o incentivo fiscal ao abate de automóveis ligeiros em fim de vida, e medidas que irão ser desenvolvidas por entidades como empresas de transportes coletivos que abrangem vários municípios.

Os P&M de âmbito supra-municipal são os seguintes:

- S1 – Criação de corredores VAO+BUS+E nos principais corredores de acesso a Lisboa;
- S2 – Criação de uma Zona de Emissões Reduzidas (ZER) na cidade de Lisboa;
- S3 – Incentivo à instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias;
- S4 – Otimização e melhoria do desempenho ambiental da frota da Carris;
- S5 – Introdução de critérios ambientais na reformulação do modelo de gestão e regime jurídico do parque de veículos do Estado;
- S6 – Incentivo ao abate de veículos pesados de mercadorias;
- S7 – Simplificação do procedimento de concessão do incentivo fiscal ao abate de automóveis ligeiros em fim de vida;
- S8 – Formação em eco condução;
- S9 – Incentivos à renovação da frota de veículos pesados de passageiros;
- S10 – Renovação das centrais de gestão de serviço de Táxi;
- S11 – Ações de formação para operadores de transporte público (Carris, Transtejo);
- S12 – Passe 4_18@Escola.pt e Sub23@Superior.pt;
- S13 – Renovação da Frota da Transtejo e CP;
- S14 – Implementação do Sistema Energético a bordo dos Catamarãs da Transtejo;
- S15 – Fixação de novos valores limite de emissão de aplicação geral para fontes fixas e para instalações de combustão;
- S16 – Certificação de equipamentos de combustão residencial.

Acompanhamento e avaliação

O acompanhamento e a avaliação deste plano de execução será feito através da publicação anual de um conjunto de indicadores de monitorização, associados a cada P&M e através da reavaliação das P&M em curso por parte da CCDR-LVT.

3.3. ZER em Lisboa

No âmbito dos P&M de âmbito supra-municipal do PMQA-LVT e ao abrigo da Portaria n.º 715/2008, de 6 de Agosto de 2008, foi proposta para a cidade de Lisboa uma Zona de Emissões Reduzidas.

A ZER em Lisboa abrange várias tipologias de veículos: pesados de passageiros, pesados de mercadorias e ligeiros de passageiros. A sua implementação é faseada quanto à sua abrangência geográfica e quanto à tipologia dos veículos, tendo em conta o seu desempenho ambiental (caracterizado através das normas Euro).

O cumprimento dos veículos será verificado por fiscalização policial com base na matrícula. No futuro, prevê-se a atribuição, durante a inspeção automóvel de um selo verde, amarelo ou vermelho, consoante o desempenho ambiental do veículo, sendo os dois últimos interditos de entrar na ZER.

Fase 1:

A 4 de Julho de 2011, foi implementada a primeira fase da Zona de Emissões Reduzidas, que abrange veículos pesados de passageiros e veículos ligeiros, iniciando-se no corredor Marquês de Pombal/Terreiro do Paço.



Figura 3.1 - Área correspondente à primeira fase da ZER em Lisboa

Fase 2:

Foi aprovado no dia 29 de Fevereiro de 2012, o alargamento da área afeta à ZER, bem como o aumento da exigência ambiental e a redução das exceções, que serão implementadas a partir do dia 1 de Abril de 2012. (Anexo 8.3)

Esta fase caracteriza-se pelo alargamento da área afeta à ZER, passando a existir duas zonas com restrições à circulação (nos dias úteis das 7h00 às 21h00):

- Zona 1 (Eixo Av. Liberdade/Baixa) – restrição à circulação de veículos que não respeitem as normas de emissão Euro 2 (veículos ligeiros fabricados antes de Jan.1996 e pesados antes de Outubro de 1996).
- Zona 2 - restrição à circulação de veículos que não respeitem as normas de emissão Euro 1 (veículos fabricados antes de Janeiro de 1992).

As exceções admitidas são: veículos de emergência, especiais e de pessoas com mobilidade reduzida; veículos históricos; Zona 2 – residentes em Lisboa; Zona 1 – residentes no interior da Zona 1 (CML, 2012).

Em baixo, encontra-se indicada a área abrangida pela segunda fase da ZER, sendo que a área a azul corresponde à zona 2 e a vermelha à zona 1.

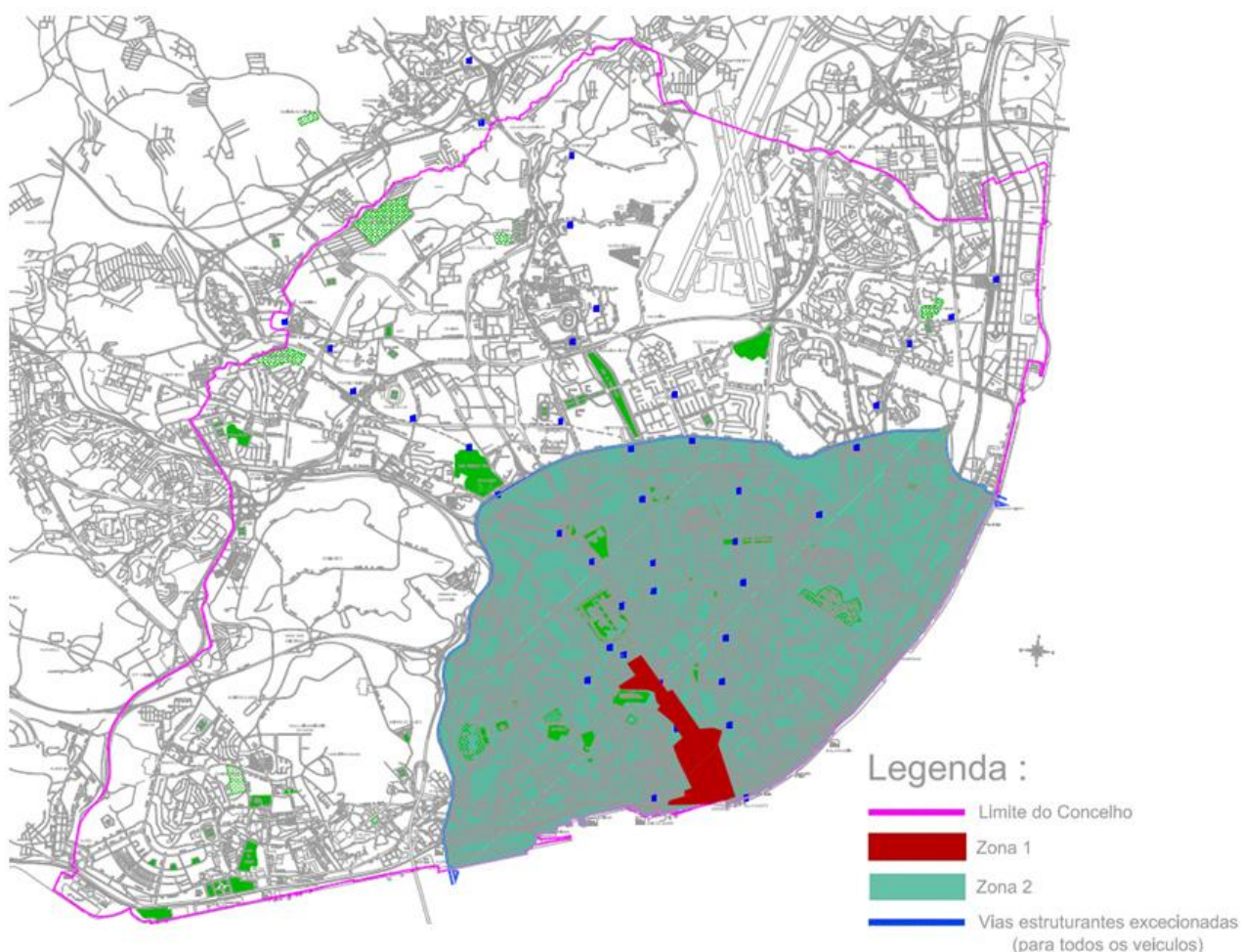


Figura 3.2 - Área correspondente à segunda fase da ZER em Lisboa

4. METODOLOGIA

Ao longo dos anos, qualidade do ar em zonas urbanas tem vindo a decrescer, sendo que a cidade de Lisboa não é exceção. Tal facto motivou que fossem adotadas medidas que invertessem essa tendência, tornando as cidades mais saudáveis em termos de qualidade do ar.

A implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa, é uma das medidas com a qual se prevê diminuir os teores de poluentes emitidos pelos veículos de transporte rodoviário.

Aquando a realização desta dissertação, estava implementada a primeira fase da ZER em Lisboa, e previa-se a sua expansão. Assim sendo, definiu-se uma nova área a ser abrangida pela segunda fase da ZER, que incluía toda a região a sul da 2ª circular do concelho de Lisboa.

Todos os cálculos realizados tiveram em conta dados recolhidos nesta nova área definida, sendo importante salientar que esta proposta foi bastante ambiciosa, pois abrangia uma área superior à que foi posteriormente aprovada.

Posto isto, este trabalho dividiu-se em várias etapas:

- Caracterização da qualidade do ar na cidade de Lisboa, com recurso aos dados recolhidos pelas estações fixas de monitorização de qualidade do ar;
- Caracterização do tráfego da cidade tendo em conta a tipologia dos veículos, norma Euro e tipo de combustível;
- Estabelecimento de relações entre a intensidade de tráfego e as concentrações dos poluentes atmosféricos na cidade;
- Definição de vários cenários da implementação da ZER, estimando-se as emissões de PM_{10} e de NO_2 reduzidas em cada um deles, avaliando-se assim os benefícios da implementação de zonas de emissões reduzidas em Lisboa.

De seguida, vão ser apresentados diagramas que explicam de uma forma sucinta as diversas etapas de recolha e tratamento de dados realizadas ao longo desta dissertação.

4.1. Enquadramento

4.1.1. Estações fixas de monitorização de qualidade do ar

A Figura 4.1 esquematiza a metodologia geral que foi utilizada na recolha, tratamento e análise dos dados provenientes das estações fixas de monitorização de qualidade do ar.

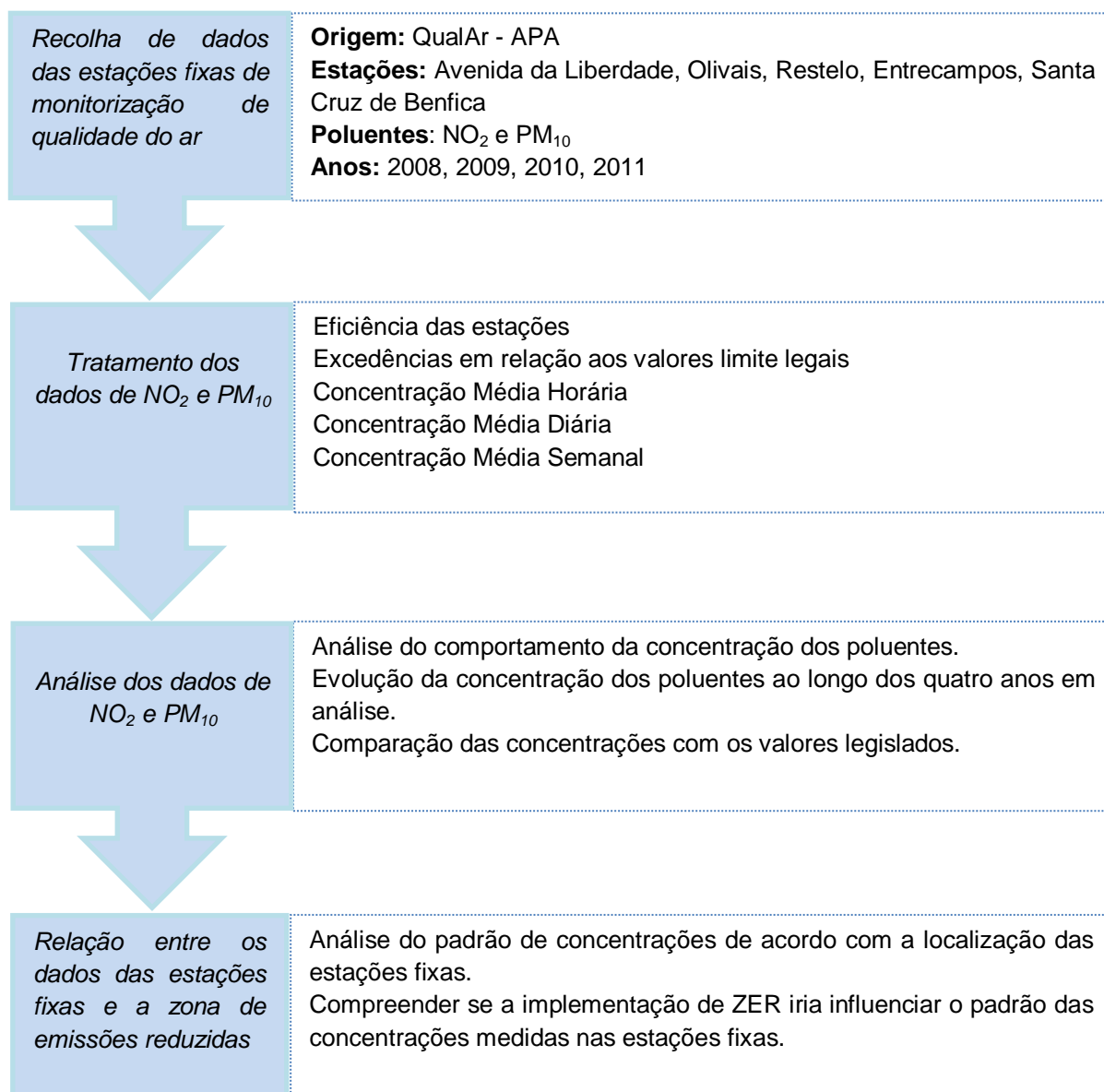


Figura 4.1 - Diagrama explicativo da metodologia de recolha, tratamento e análise dos dados das estações fixas de monitorização de qualidade do ar

4.1.2. Dados de tráfego

As Figuras 4.2 e 4.3 representam a estrutura metodológica abordada nos dados de tráfego. Esta divide-se em duas etapas, sendo a primeira destinada à metodologia de amostragem e recolha de dados e a segunda à metodologia de cálculo.

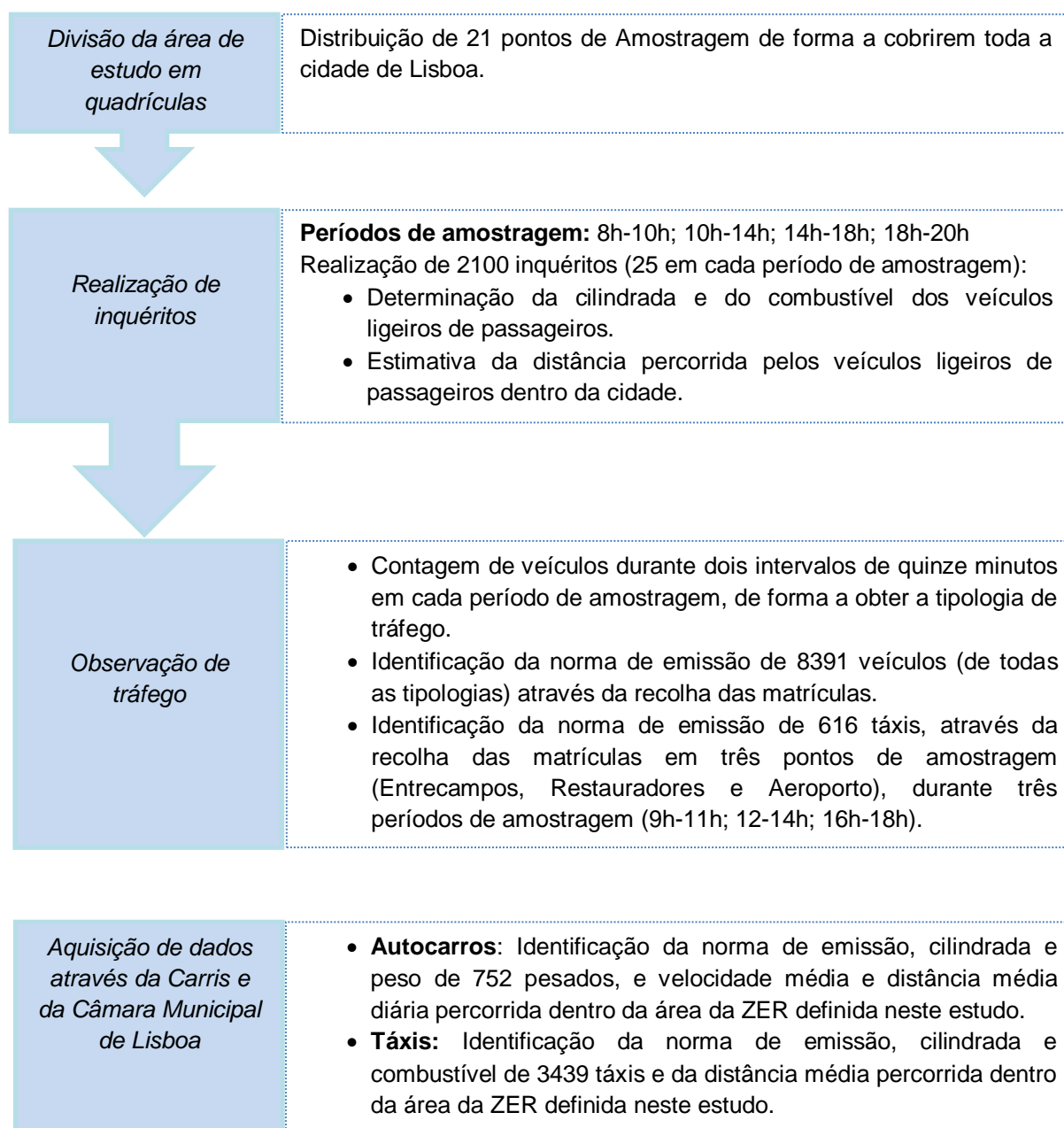
Metodologia de amostragem e de recolha de dados

Figura 4.2 – Diagrama explicativo da metodologia de amostragem e de recolha dos dados de tráfego

Metodologia de cálculo

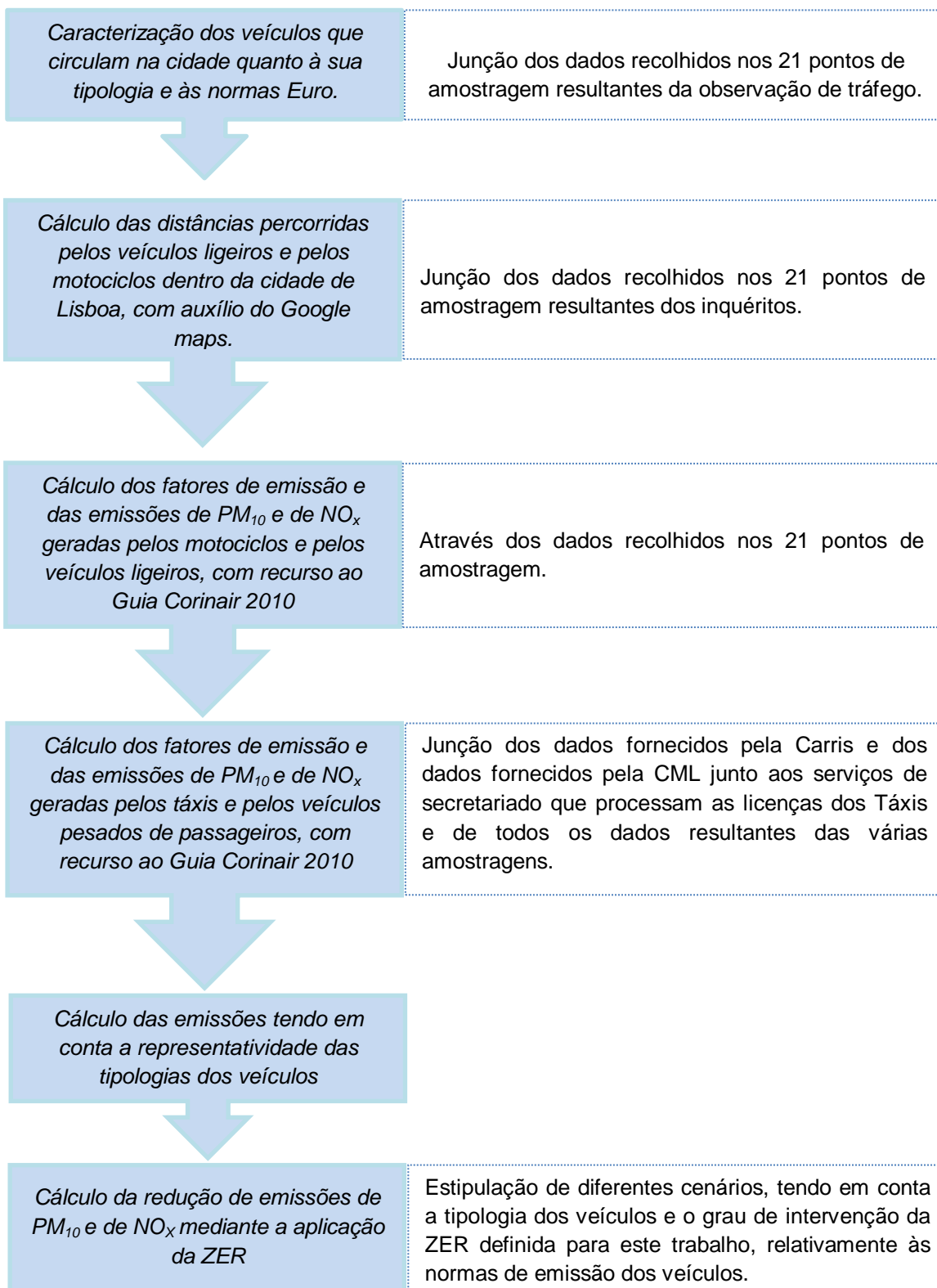


Figura 4.3 - Diagrama explicativo da metodologia de cálculo dos dados de tráfego

4.2. Caracterização da área em estudo e seleção dos pontos de amostragem

A avaliação da tipologia de tráfego abrangeu toda a região a sul da 2ª circular do concelho de Lisboa, tendo sido escolhidos 21 pontos de amostragem. Estes foram escolhidos, tendo como base a divisão do mapa da cidade de Lisboa em quadrículas (Figura 4.4). Cada ponto de amostragem esteve localizado em locais cujo tráfego é frequente e movimentado. Os dados foram recolhidos entre o dia 29 de Setembro e 15 de Outubro de 2011 de uma forma tripartida em contagem de veículos, recolha de anos de matrículas e realização de inquéritos. Este processo foi repetido para quatro períodos diferentes durante o dia, em dias úteis, sendo estes os seguintes: 8h00-10h00, 10h00-14h00, 14h00-18h00 e 18h00-20h00.

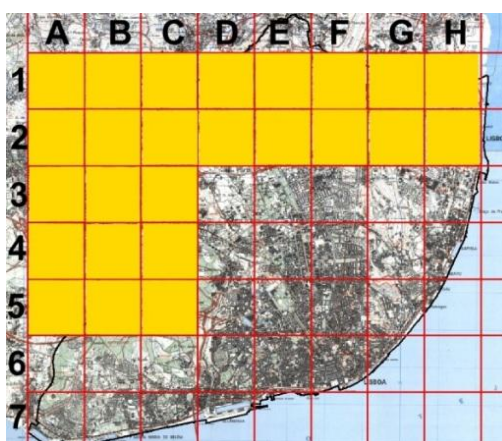


Figura 4.4 - Área de estudo dividida em quadrículas

Esta amostragem foi realizada por 21 grupos de dois alunos, no âmbito da disciplina de Monitorização de Sistemas Ambientais, lecionada no Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, na expectativa de ser implementada uma nova Zona de Emissões Reduzidas na cidade de Lisboa. Esta iria abranger toda a área a sul da 2ª circular do concelho de Lisboa, sendo mais ambiciosa do que a que foi aprovada, pois abrangia uma maior área da cidade. A ZER que viria a ser aprovada e que está atualmente em vigor foi a consignada Proposta n.º 105/2012 a 24 de Fevereiro de 2012 (Anexo 8.3) e abrange a zona da cidade de Lisboa compreendida pelos seguintes limites: zona a sul da Av. De Ceuta, Eixo Norte/Sul, Av. Das Forças Armadas, Av. Dos Estados Unidos da América, Av. Marechal António Spínola, Av. Santo condestável e Av. Infante D. Henrique.

A Figura 4.5 representa a localização geográfica de todos os pontos de amostragem e de todas as estações fixas consideradas para este estudo, assim como os limites da ZER que se encontra atualmente em vigor.



Figura 4.5 - Localização geográfica dos pontos de amostragem, das estações de monitorização de qualidade do ar e da ZER atualmente em vigor

Na Tabela 4.1, está apresentada a localização mais detalhada dos 21 pontos de amostragem, assim como as quadriculas (Figura 4.4) atribuídas a cada ponto.

Tabela 4.1 - Indicação da localização de todos os pontos de amostragem

Ponto de amostragem	Quadrícula/ Localização	Ponto de amostragem	Quadrícula/ Localização
1	D7 – Alcântara-Mar	12	E5 – Av. Da Liberdade
2	D4 – Sete Rios	13	F5 – Av. Almirante Reis
3	C6+C7 - Av. Da Índia	14	H5 - Rua das Xabregas
4	F4 – Alameda D. Afonso Henriques	15	D5 – Av. Eng.º Duarte Pacheco
5	A6 + A7 – Praça D. Manuel Primeiro/Av. Índia	16	G3 – Av. Dr. Augusto Castro
6	F6 – Rossio	17	E3 – Jardim do Campo Grande/Cidade Universitária
7	E6 + E7 – Av. D. Carlos I	18	F3 – Av. Estados Unidos da América
8	E4 – Praça de Espanha	19	G4+H4 - Av. Infante D. Henrique
9	B6 + B7 – Av. Da Índia	20	H3 - Vasco da Gama
10	D6 – Av. De Ceuta	21	H2 - Alameda dos Oceanos
11	G6 - Sta. Apolónia		

4.2.1. Estações fixas de monitorização da qualidade do ar

Os dados recolhidos nas estações fixas centram-se nas concentrações de PM₁₀ e de NO₂, sendo considerada a série de dados desde o ano de 2008 a 2011.

Todos os dados, à exceção dos referentes ao ano 2011, são validados pela CCDR-LVT e foram obtidos através da base de Dados Online sobre Qualidade do Ar da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2012 a).

As estações estudadas foram: Avenida da Liberdade, Entrecampos, Olivais, Santa Cruz de Benfica e Restelo. Todos os dados fornecidos pelas estações são horários e dada a sua extensão e complexidade foram tratados de forma dedicada recorrendo ao *software Microsoft Office Excel*[®].

Para cada ano e para cada estação, foi analisado o comportamento dos poluentes em questão, através a evolução da concentração média horária, diária, semanal e mensal. Foi também calculado o número de excedências em relação aos valores limite legais.

Realizou-se uma análise comparativa entre a evolução da concentração dos dois poluentes, PM₁₀ e NO₂, com o objetivo de compreender se os perfis de concentrações manifestam o mesmo padrão.

Foi avaliada também a eficiência de todas as estações, pois esta avalia a disponibilidade dos dados e a representatividade da série temporal. Esta análise é relevante, porque para que uma estação possa ser utilizada para a avaliação da conformidade legal, é necessário o cumprimento de níveis mínimos de eficiência (Decreto-Lei nº102/2010 de 23 de Setembro, 2010).

4.2.2. Dados de tráfego

Metodologia de amostragem e de recolha de dados

A campanha de amostragem dos dados de tráfego foi realizada nos 21 pontos de amostragem definidos anteriormente e durante quatro períodos de amostragem em dias úteis, sendo estes aproximadamente entre as 8h-10h, as 10h-14h, as 14h-18h e as 18h-20h.

Durante cada período e em cada ponto de amostragem, foram realizados 25 inquéritos, cujo objetivo foi a determinação da cilindrada e do combustível dos veículos ligeiros de passageiros, assim como estimar a distância que estes percorrem dentro da cidade de Lisboa.

Durante os mesmos períodos, realizou-se a contagem de veículos durante dois intervalos de quinze minutos, com o objetivo de determinar a tipologia do tráfego (ligeiros, táxis, pesados de passageiros e motociclos) que circula na cidade. Foi também identificada a norma Euro de todos estes veículos através do registo do ano e das respetivas matrículas.

Apesar de ter sido feita uma recolha exaustiva e completa de dados, revelou-se importante obter informações mais detalhadas relativamente aos táxis e aos veículos pesados de passageiros.

Através da Carris, obteve-se a informação relativa a toda a sua frota de autocarros, tendo sido dada especial atenção à norma Euro, cilindrada e peso dos veículos (Carris, 2010 b), assim como à sua velocidade média e distância percorrida dentro da cidade de Lisboa (Carris, 2010 a). Em relação aos táxis, através da Câmara Municipal de Lisboa, foi fornecido o registo das licenças dos táxis que circulam na cidade, e com este foi possível identificar a norma Euro, cilindrada e

combustível de 3494 táxis. A mesma fonte disponibilizou informação relativa à distância que os táxis percorrem em média, por dia, dentro da cidade.

Metodologia de cálculo

Os dados de tráfego foram processados e tratados de formas distintas, consoante a sua origem e a tipologia dos veículos em questão.

- **Determinação da tipologia e da norma Euro dos veículos**
Para o cálculo da tipologia dos veículos, juntaram-se todos os dados inventariados nos 21 pontos de amostragem (8391 veículos) e calculou-se a percentagem correspondente a cada tipologia e à idade veículos. De seguida agruparam-se os dados tendo em conta a idade e calculou-se a percentagem de veículos que correspondia a cada norma Euro.
- **Determinação das Emissões de NO_x e PM₁₀**

Veículos Ligeiros

Com os dados inventariados nos 21 pontos de amostragem correspondentes aos veículos ligeiros de passageiros e aos veículos ligeiros de mercadorias, gerou-se uma tabela com a percentagem correspondente à idade dos veículos.

De seguida, com os dados recolhidos nos inquéritos, referentes ao combustível e à cilindrada dos veículos ligeiros de passageiros, criou-se uma tabela em que os veículos estavam agrupados tendo em conta a sua norma Euro, tipologia e combustível. Neste passo, assumiu-se que os veículos ligeiros de mercadorias eram a gasóleo e possuíam uma cilindrada > 2.0 l.

Este tratamento dos dados foi realizado com o objetivo de calcular as emissões de NO_x e de PM₁₀, em g/km, que são provenientes destes veículos. Para tal, recorreu-se ao Guia *Corinair 2010* e calcularam-se os fatores de emissão destes poluentes, com recurso às tabelas 3-35, 3-39, 3-43 e 3-45 (Anexo 8.1) (EEA, 2010 a). Aqui assumiu-se que os veículos Pré-Euro a gasolina estavam dentro da norma ECE 15-04 e que as emissões de partículas eram idênticas às de um veículo Euro 1. Considerou-se também que a velocidade média dos veículos era de 26km/h (Torres, 2012).

A distância média diária percorrida pelos veículos ligeiros foi calculada através dos inquéritos realizados, nos quais se perguntou qual era a origem e o destino da viagem. Com esta informação, através do *GoogleMaps*[®], fez-se passar o percurso da viagem pelo respetivo ponto de amostragem e estimou-se assim a distância média percorrida dentro da cidade de Lisboa (7,98 km).

Motociclos

A percentagem de motociclos existentes foi retirada dos dados resultantes do inventário feito nos 21 pontos de amostragem. Tal como foi feito para os veículos ligeiros de passageiros, gerou-se uma tabela com a percentagem correspondente à idade dos motociclos.

Para o cálculo das emissões de NO_x e PM₁₀, considerou-se que todos os motociclos possuíam uma cilindrada <250cm³ a quatro tempos e que a sua velocidade média era também de 26 km/h.

Os fatores de emissão foram calculados com recurso às tabelas 3-63 e 3-64 do Guia *Corinair 2010* (Anexo 8.1) (EEA, 2010 a).

Para o cálculo das emissões, utilizou-se a mesma distância média diária percorrida pelos veículos ligeiros.

Táxis

Os dados referentes aos táxis são provenientes de três fontes distintas, sendo alguns recolhidos nos 21 pontos de amostragem mencionados acima, outros recolhidos em 3 pontos de amostragem (aeroporto, entrecampos e restauradores) e outros disponibilizados pela câmara municipal de Lisboa.

Para efeitos de cálculo apenas foram utilizados estes últimos, uma vez que possuem informações mais detalhadas acerca dos táxis. No entanto, os dados recolhidos nos diversos pontos de amostragem serviram para apurar se a distribuição das idades dos táxis em circulação eram as mesmas dos dados da CML, uma vez que não se tinha a certeza se todos estes dados eram referentes a táxis ainda em circulação.

Assim sendo, os dados disponibilizados pela Câmara Municipal de Lisboa, permitiram obter informação relativa à idade, cilindrada, combustível dos veículos e distância média diária percorrida dentro da cidade, sendo esta última de 150 km.

Esta informação foi tratada de forma a conseguir agrupar os veículos pela sua norma Euro, cilindrada e combustível, permitindo assim, com recurso às tabelas 3-35, 3-39, 3-43 e 3-45 do *Corinair 2010* calcular os fatores de emissão e posteriormente as emissões de NO_x e de PM₁₀ resultantes desta tipologia (EEA, 2010 a).

Veículos Pesados de Passageiros

Sendo a Carris a entidade responsável pela maioria dos veículos pesados de passageiros que circulam dentro da cidade de Lisboa, foi-lhes solicitada a informação necessária para calcular as emissões de NO_x e de PM₁₀ destes veículos.

Esta informação referia-se à composição da frota, dando-se especial atenção ao peso, combustível, cilindrada e norma Euro dos veículos. Foi também disponibilizada informação relativa à velocidade média e à distância média diária percorrida por estes veículos dentro da cidade, sendo estas de 14,65 km/h e 150,65 km, respetivamente.

O cálculo dos fatores de emissão foi feito com recurso à Tabela 3-59 do *Guia Corinair 2010* e ao documento *EFs_G00%_L050%* do Anexo 3 deste mesmo guia (Anexo 8.1), tendo-se pressuposto que o declive da estrada era de 0% e que possuía um fator de carga de 50% (EEA, 2010 a).

Para o cálculo total das emissões, independentemente da tipologia dos veículos, aplicou-se a seguinte equação:

$$E_{NO_x/PM_{10}} = FE_{NO_x/PM_{10}} \times \text{distância percorrida.}$$

- **Cálculo das emissões tendo em conta a representatividade das tipologias dos veículos**

Considerando que as percentagens das tipologias de veículos que circulam na cidade são distintas, calcularam-se as percentagens de emissões de NO_x e de PM₁₀ correspondentes cada tipologia.

- **Cálculo da redução de emissões de NO_x e de PM₁₀ mediante a aplicação da ZER**

Sendo o objetivo principal desta dissertação, estudar a eficiência da implementação de uma ZER na cidade de Lisboa, realizou-se uma previsão da redução de emissões de NO_x e de PM₁₀, em termos percentuais e em gramas. Para tal, foram estipulados diferentes cenários que tiveram em conta determinadas tipologias de veículos (ligeiros, táxis, pesados de passageiros e motocicletas) e o grau de intervenção da ZER, relativamente às normas Euro.

Tabela 4.2 - Indicação dos diferentes cenários (A1,A2,A3; B1,B2,B3; C1,C2,C3; D1,D2,D3; E1,E2,E3) definidos neste trabalho.

Cenários	Variante de cada cenário
A. Aplicação da ZER para todas as tipologias	1. Pré-Euro 1 2. Pré-Euro 2 3. Pré-Euro 3
B. Aplicação da ZER para veículos ligeiros e táxis	
C. Aplicação da ZER para veículos ligeiros e veículos pesados de passageiros	
D. Aplicação da ZER para táxis e veículos pesados de passageiros	
E. Aplicação da ZER para veículos ligeiros	

Na Tabela 4.2, estão indicados todos os cenários estipulados, sendo que quando se indica a variante **1. Pré-Euro 1**, significa que a ZER será aplicada aos veículos anteriores à norma Euro 1, quando se faz referência a **2. Pré-Euro 2**, significa que a ZER será aplicada a veículos anteriores à norma Euro 2, e em **3. Pré-Euro 3** a ZER será aplicada aos veículos anteriores à norma Euro 3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Estações Fixas de Monitorização da Qualidade do Ar

A avaliação dos dados referentes às concentrações de NO₂ e de PM₁₀ detetadas pelas estações fixas de monitorização da qualidade do ar, tem com objetivo compreender qual o padrão de evolução das concentrações ao longo da série de dados, assim como determinar quais as estações de monitorização que possuem mais excedências em relação aos valores limite.

5.1.1. Avaliação da eficiência das estações fixas de monitorização de qualidade do ar

Segundo o Decreto-Lei nº102/2010 de 23 de Setembro, para que os dados das estações fixas de monitorização de qualidade do ar possam ser considerados, é necessário que pelo menos 75% dos dados recolhidos sejam válidos.

Na Tabela 5.1, está indicada a percentagem de validação diária para os poluentes e para as estações consideradas.

Tabela 5.1 – Percentagens de validação diária dos resultados de cada estação em análise.

Estação	Ano	% dados disponíveis	
		NO ₂	PM ₁₀
Avenida da Liberdade	2008	99,2	98,9
	2009	98,1	98,9
	2010	98,6	97,0
	2011*	97,5	97,0
Entrecampos	2008	94,0	93,4
	2009	94,2	98,4
	2010	100,0	98,1
	2011*	98,9	96,2
Olivais	2008	97,3	97,8
	2009	99,2	97,8
	2010	91,0	52,1
	2011*	94,5	97,5
Restelo	2008	98,6	90,7
	2009	95,1	94,0
	2010	92,9	86,0
	2011*	97,3	92,1
St. Cruz de Benfica	2008	98,9	0,00
	2009	98,1	91,0
	2010	94,2	98,9
	2011*	98,1	94,5

*Os dados referentes ao ano 2011 não são validados pela CCDR-LVT

Verifica-se que, a eficiência dos dados referentes às concentrações de NO₂ são válidas para todas as estações e para toda a série de dados em análise. No entanto, quanto às PM₁₀, no ano 2008, a estação de Santa Cruz de Benfica obteve uma eficiência nula e para o ano 2010 na estação dos Olivais, obteve-se apenas uma eficiência de aproximadamente 52%.

5.1.2. Excedências relativas aos valores limite de NO₂ e de PM₁₀

Segundo o Decreto-lei nº 111/2002 de 23 de Setembro, a concentração horária de NO₂, apenas pode exceder 18 vezes o valor limite de base horária, que para o caso do NO₂ é de 200 µg/m³. Nas figuras seguintes (Figura 5.1 e 5.2), encontram-se indicadas as situações de incumprimento ao valor limite de NO₂ de base horária e ao valor limite de PM₁₀ de base diária.

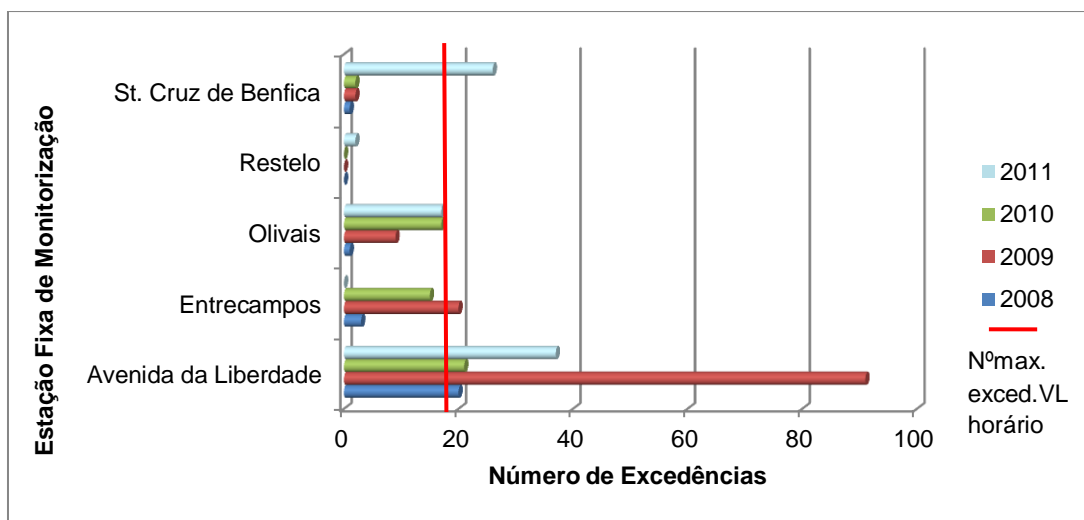


Figura 5.1 – Representação do número de dias com excedências ao valor limite horário de NO₂

Verifica-se através da Figura 5.1, que no ano de 2011, as estações da Avenida da Liberdade e de Santa Cruz de Benfica estavam em incumprimento legal. Observa-se também que a estação da Avenida da Liberdade é a que possui mais excedências, sendo o ano 2009 o mais problemático.

Quanto à estação de Entrecampos, nota-se que o número de excedências tem oscilado ao longo dos anos, salientando-se no entanto, que para o ano 2011, não existiu uma única ultrapassagem em relação ao valor limite.

Outra observação a retirar, é que o número de excedências na estação de Santa Cruz de Benfica têm vindo a aumentar ao longo dos anos, significando que a qualidade do ar desta zona tem vindo a decrescer.

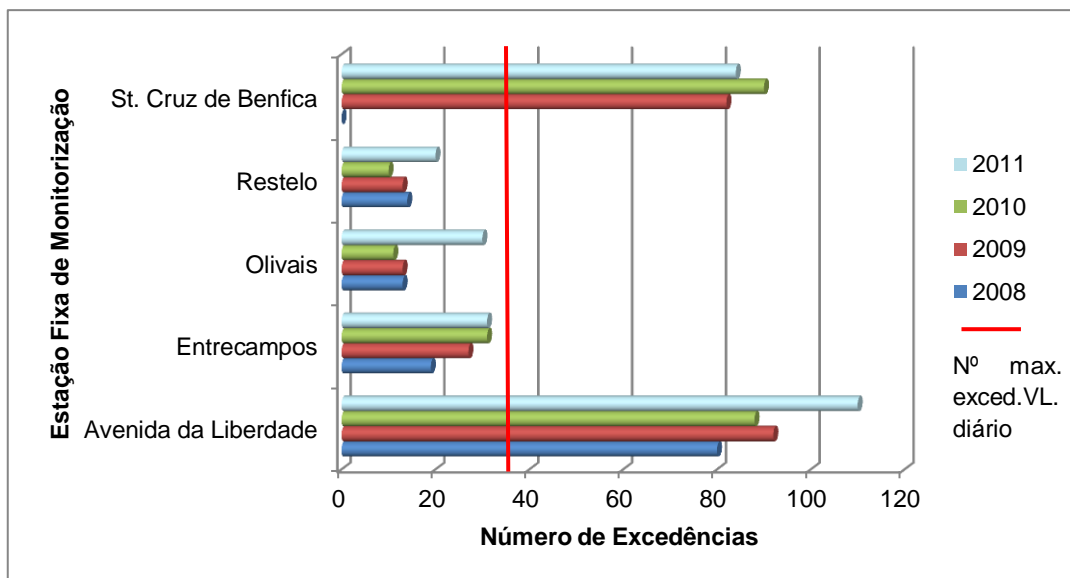


Figura 5.2 - Representação do número de dias com excedências ao valor limite diário de PM_{10}

Em relação às excedências de PM_{10} , segundo o Decreto-lei nº 111/2002 de 23 de Setembro, a concentração diária, apenas pode exceder 35 vezes o valor limite de base diária, que para o caso das PM_{10} é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Segundo a Figura 5.2, na estação de Santa Cruz de Benfica, apesar de não existirem dados referentes à concentração de PM_{10} , durante o ano 2008, em todos os outros anos analisados, as concentrações encontram-se claramente em incumprimento legal. A estação da Avenida da Liberdade também apresenta, para toda a série de dados, mais excedências do que as permitidas por lei.

Quanto à estação de Entrecampos, ao contrário do que acontece em relação às excedências de NO_2 , as excedências de PM_{10} têm vindo a aumentar nos últimos anos, aproximando-se cada vez mais do número máximo permitido.

As estações do Restelo e dos Olivais, tanto para as excedências de NO_2 , como para as de PM_{10} , encontram-se em cumprimento legal.

5.1.3. Evolução da série de dados

Nas figuras seguintes (Figuras 5.3 e 5.4), encontram-se apresentadas as concentrações médias anuais de NO₂ e de PM₁₀ entre os anos 2008 e 2011.

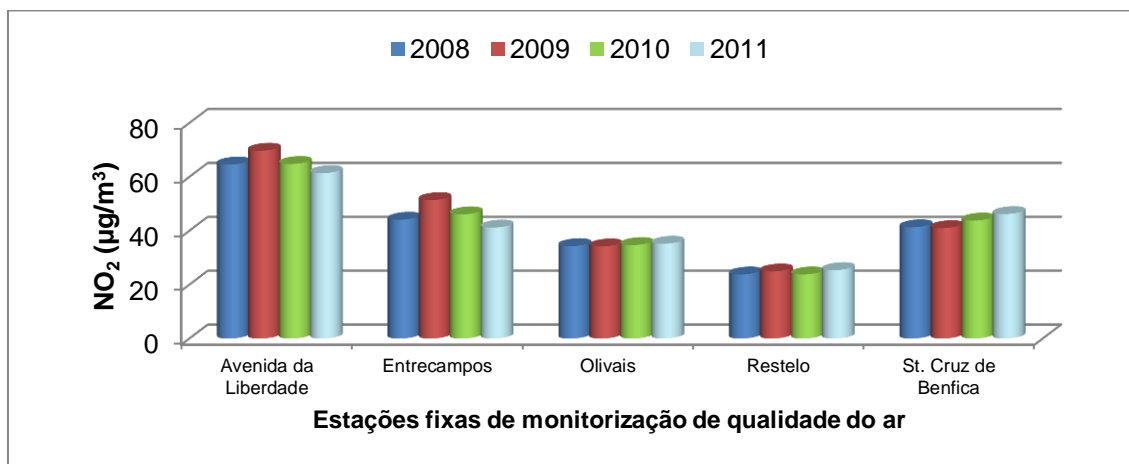


Figura 5.3 - Evolução da Média Anual de NO₂ (2008-2011)

Verifica-se pela Figura 5.3, que é a Estação da Avenida da Liberdade a que apresenta concentrações de NO₂ mais elevadas, seguindo-se a estação de Entrecampos. A tendência geral das concentrações, em todas as estações e ao longo da série de dados é crescente, destacando-se que a estação de Santa Cruz de Benfica é a que apresenta essa tendência mais acentuada.

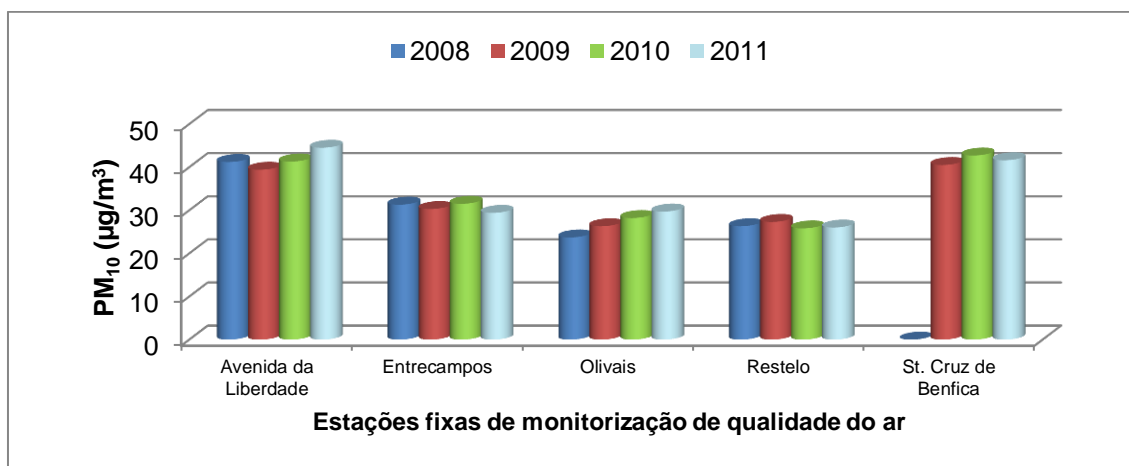


Figura 5.4 - Evolução da Média Anual de PM₁₀ (2008-2011)

Quanto à evolução da Média Anual de PM₁₀, pela Figura 5.4, é possível verificar que as estações mais problemáticas são a da Avenida da Liberdade, seguindo-se a estação de Santa Cruz de Benfica. Ao longo da série de dados, a tendência das concentrações, têm sido de uma forma geral, crescente.

5.1.4. Avaliação do ano completo mais recente - 2011

Nas figuras seguintes (Figura 5.5 a 5.19), está apresentado o padrão das emissões de NO₂ e de PM₁₀ para todas as estações e para o ano 2011. Sendo que estes são os dados mais recentes, são os que refletem melhor o estado atual da qualidade do ar na região em estudo.

Avenida da Liberdade

Pela Figura 5.5, é visível que o padrão das emissões ao longo de um dia médio não é constante.

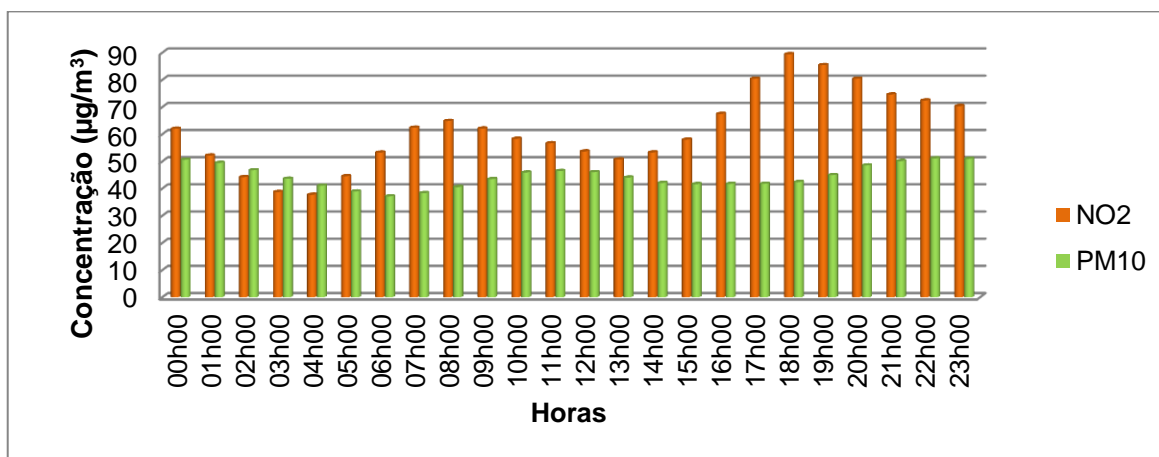


Figura 5.5 - Concentração Média Horária de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação da Avenida da Liberdade

Tanto para o NO₂ como para as PM₁₀, verifica-se que existem sempre dois picos de concentrações por dia.

Em relação ao dióxido de azoto, durante a noite é possível observar um decréscimo constante das emissões até perto das 5 horas da manhã, notando-se que a partir dessa hora o teor de NO₂ cresce até que, por volta das 10 horas, começa a diminuir só voltando a aumentar na hora de ponta seguinte, por volta das 16 horas.

As partículas têm um comportamento semelhante, existindo apenas uma variação em relação ao pico das concentrações, sendo estes pelas 11 horas e pelas 21 horas. Esta diferença entre os dois poluentes poderá ocorrer, pois a concentração das partículas tem um efeito retardado e o seu transporte pelo vento leva a que este demore algum tempo até ser registado na estação.

É notável a diferença dos teores de partículas e de dióxido de azoto registados durante o dia e durante a noite, sendo que durante a noite existe menor atividade de tráfego.

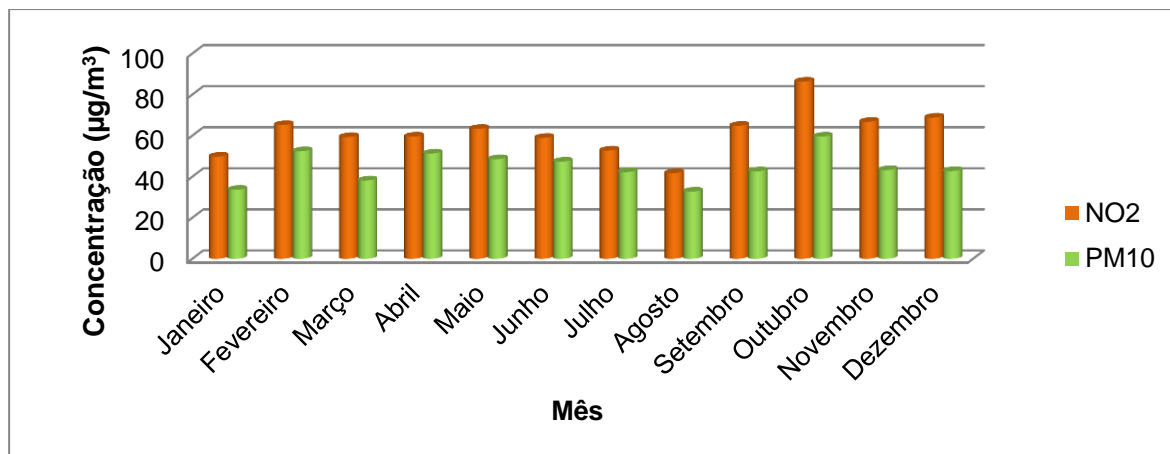


Figura 5.6 - Concentração Média Mensal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011

A Figura 5.6 indica a evolução da concentração dos poluentes ao longo do ano. Os meses mais problemáticos são durante o Inverno, sendo que as concentrações mais elevadas foram detetadas no mês de Outubro.

Este padrão demonstra que as condições meteorológicas têm influência nas concentrações dos poluentes, uma vez que estas são fundamentais para a dispersão dos poluentes atmosféricos (APA, 2012 c)

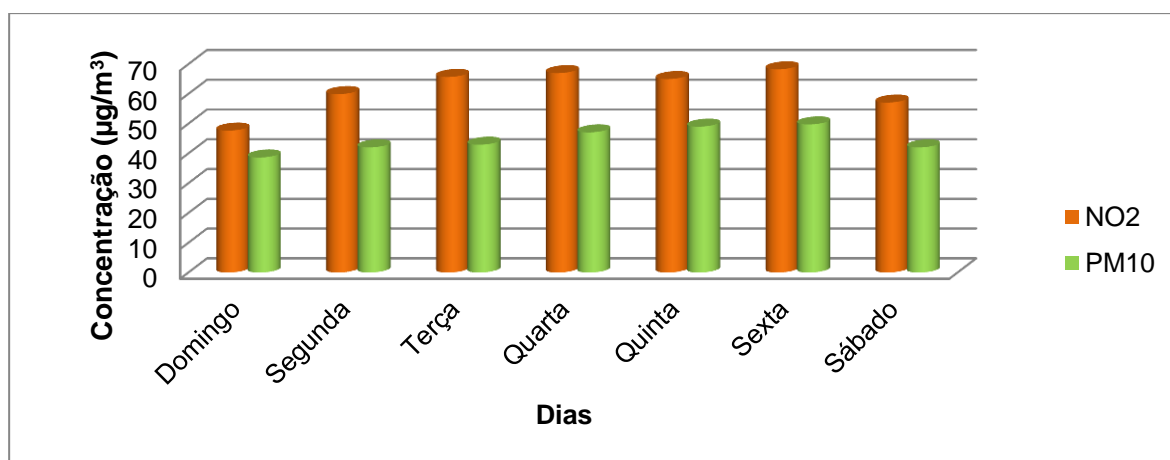


Figura 5.7 - Concentração Média Semanal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011

Quanto à concentração média semanal, na Figura 5.7 nota-se mais uma vez que o tráfego influencia diretamente a concentração dos poluentes. Durante o fim de semana, verifica-se que as concentrações de NO₂ e de PM₁₀ são inferiores às detetadas durante os dias úteis.

Nas figuras seguintes (Figura 5.8 a 5.19), estão apresentados os padrões de concentrações para as outras estações em análise.

O comportamento é semelhante para todas as estações, sendo que as maiores diferenças ocorrem apenas ao nível das concentrações e não no padrão de distribuição.

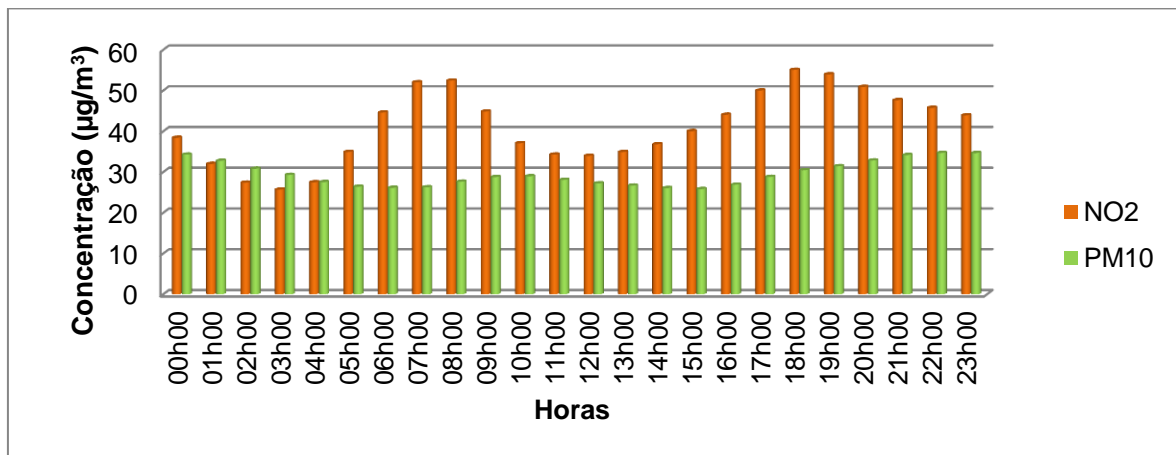
Entrecampos

Figura 5.8 - Concentração Média Horária de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação de Entrecampos

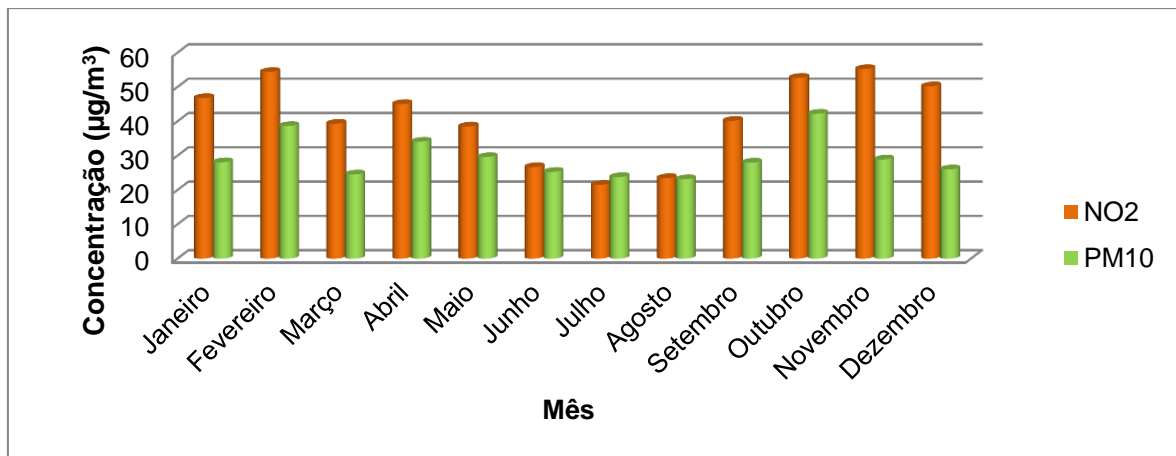


Figura 5.9 - Concentração Média Mensal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação de Entrecampos

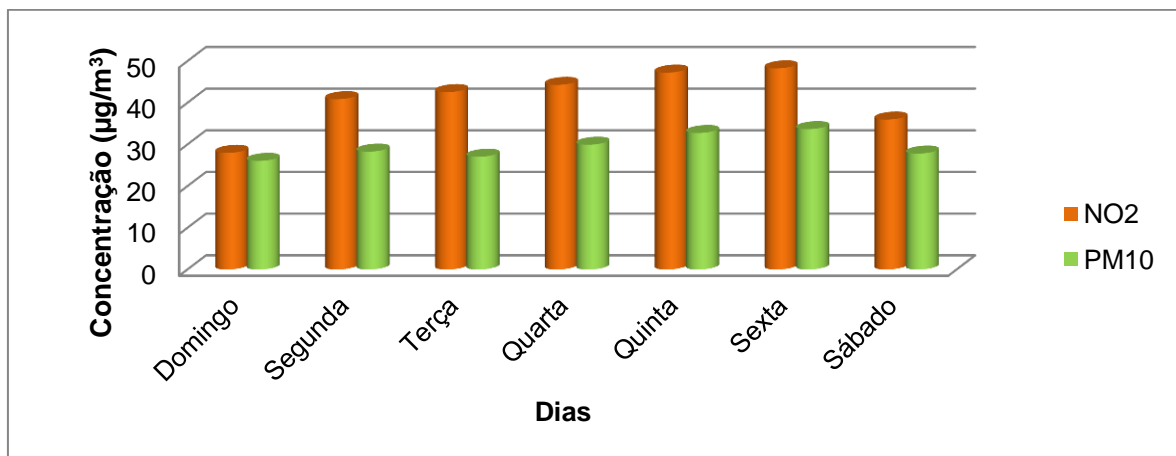


Figura 5.10 - Concentração Média Semanal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação de Entrecampos

Olivais

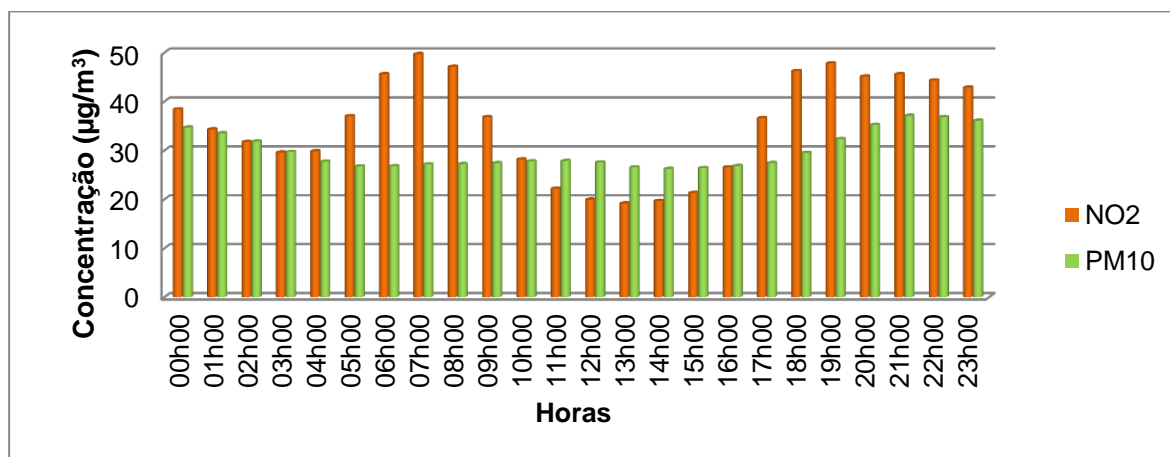


Figura 5.11 - Concentração Média Horária de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação dos Olivais

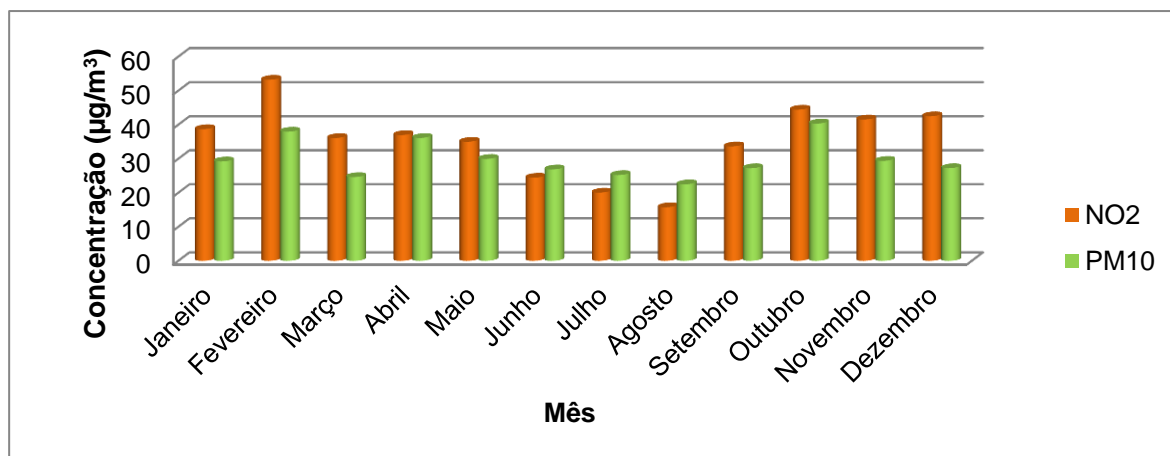


Figura 5.12 - Concentração Média Mensal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação dos Olivais

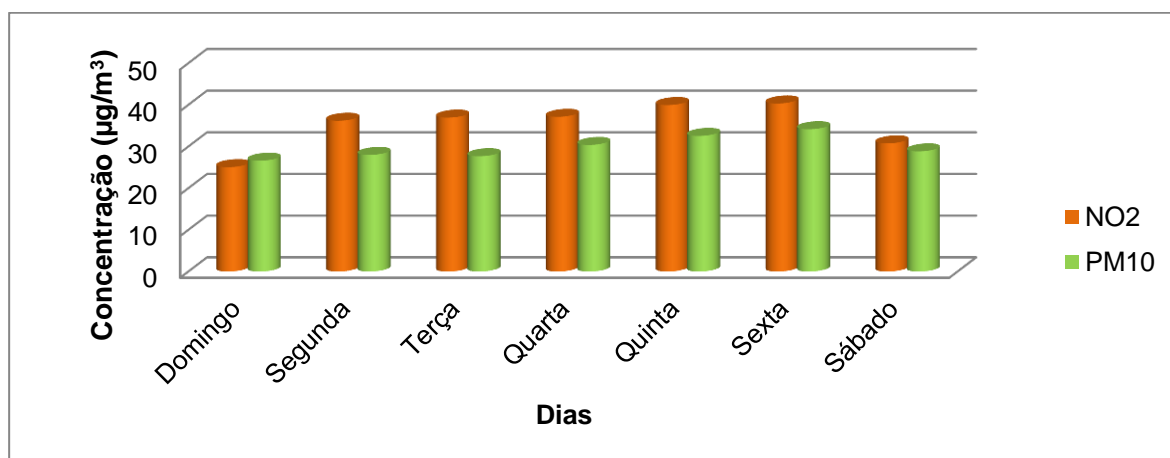


Figura 5.13 - Concentração Média Semanal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação dos Olivais

Restelo

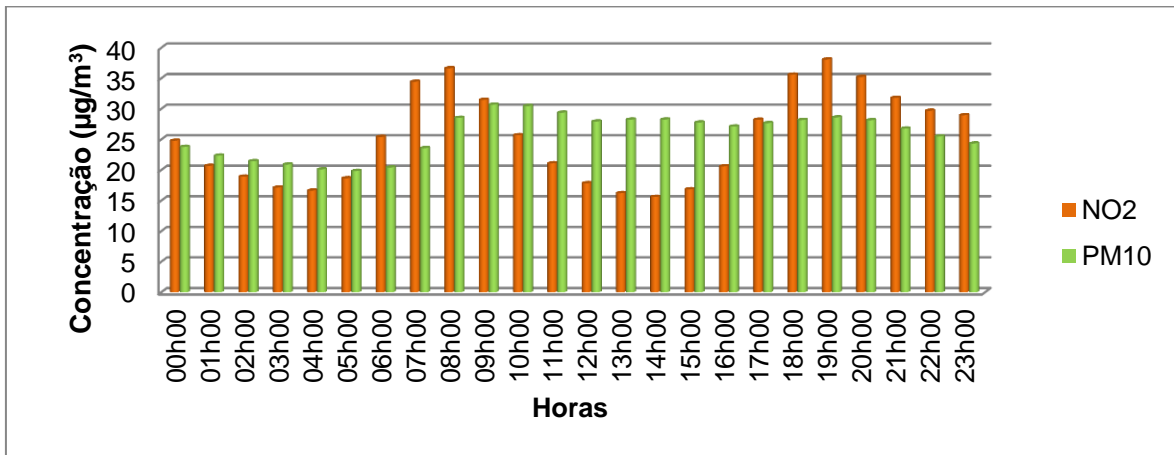


Figura 5.14 - Concentração Média Horária de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação do Restelo

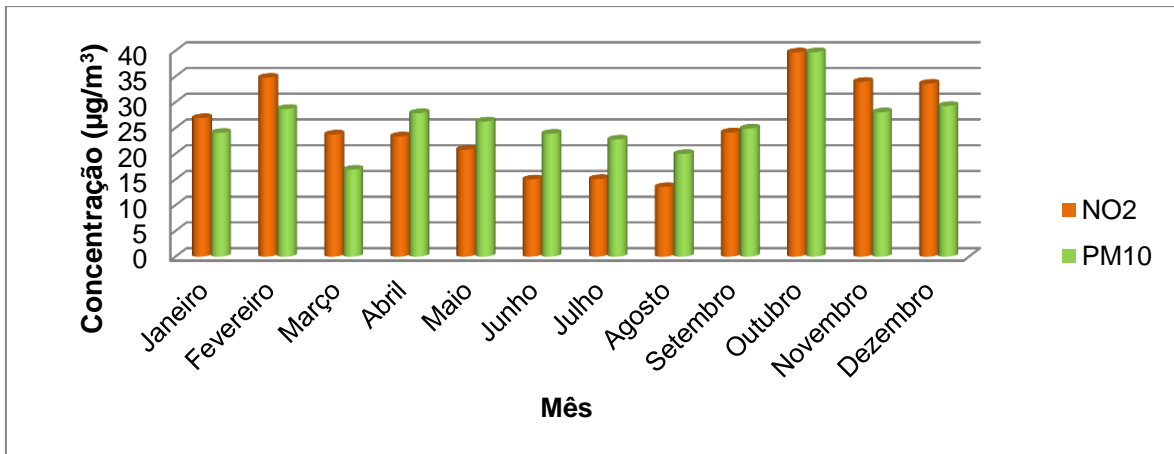


Figura 5.15 - Concentração Média Mensal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação do Restelo

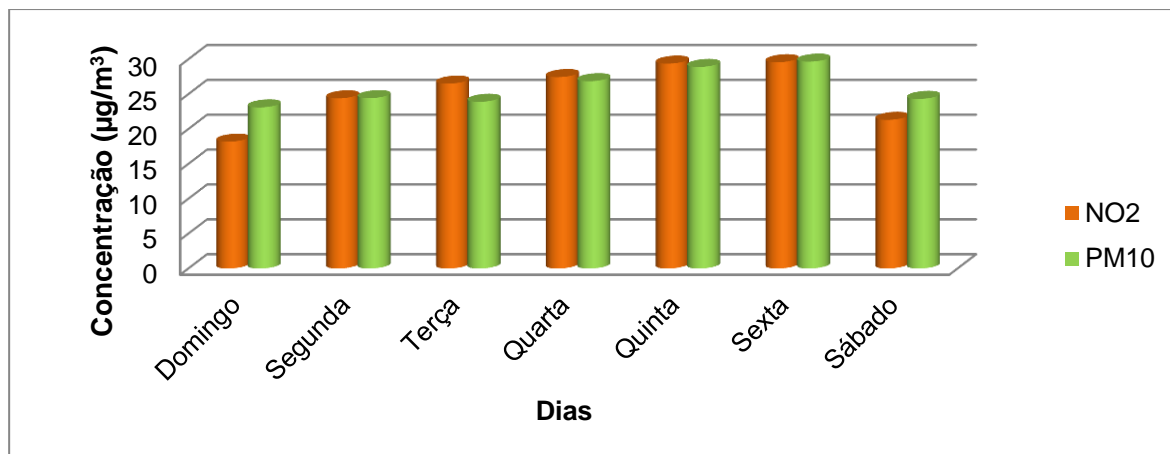


Figura 5.16 - Concentração Média Semanal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação do Restelo

Santa Cruz de Benfica

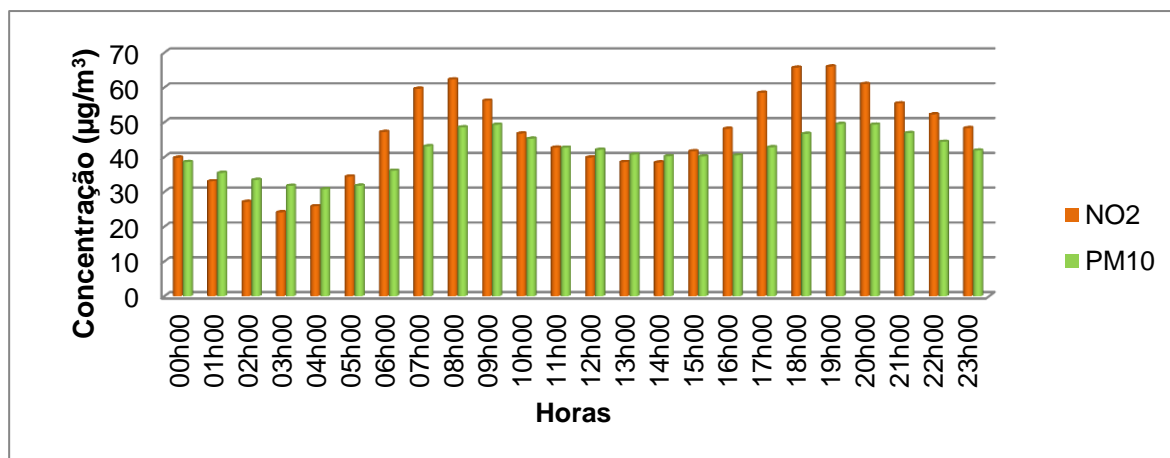


Figura 5.17 - Concentração Média Horária de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação de Santa Cruz de Benfica

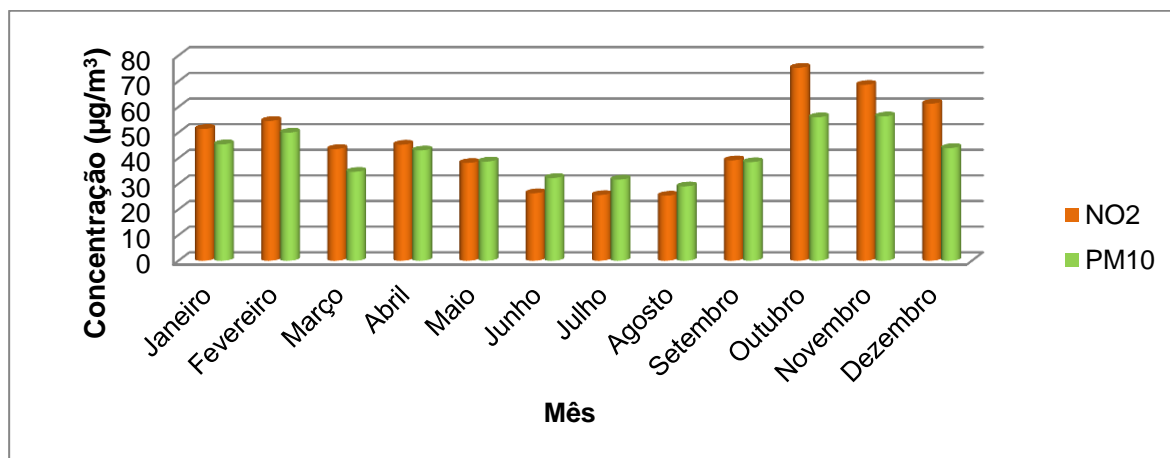


Figura 5.18 - Concentração Média Mensal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação de Santa Cruz de Benfica

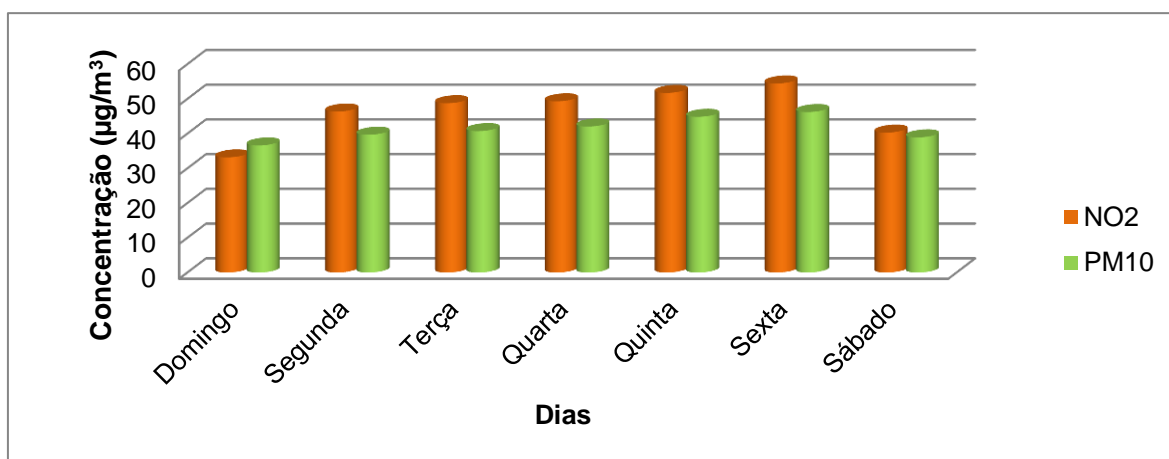


Figura 5.19 - Concentração Média Semanal de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na Estação de Santa Cruz de Benfica

5.2. Dados de Tráfego

5.2.1. Determinação da tipologia e da norma dos veículos

No âmbito da recolha de informação acerca do tráfego que circula na cidade de Lisboa, foi possível caracterizar os veículos tendo em conta a sua tipologia, através da contabilização de 8391 veículos.

Na Figura 5.20, estão representadas percentualmente as tipologias dos veículos que circulam na cidade, verificando-se que a mais representativa é a dos ligeiros de passageiros, cerca de 70%, seguindo-se os táxis que representam 11% do tráfego. Os veículos com menos representatividade são os pesados de mercadorias.

Através do registo da matrícula e do ano dos veículos, foi possível realizar um levantamento das percentagens das normas Euro que circulam na cidade. Os resultados são apresentados na Figura 5.21, verificando-se que cerca de 55% dos veículos são de norma Euro 4 ou 5, sendo estes veículos posteriores ao ano 2003. É possível constatar também, que a representatividade das normas dos veículos é proporcional à idade, sendo os veículos com norma Pré-Euro (com idade anterior a 1992), os que representam a percentagem menor, cerca de 2%.

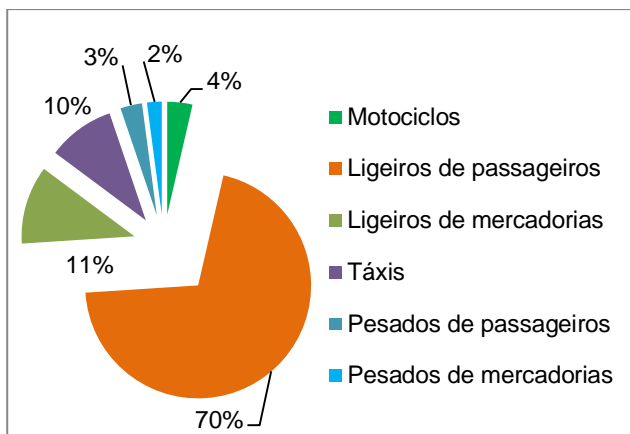


Figura 5.20 - Percentagens das diferentes tipologias de veículos que circulam na cidade de Lisboa

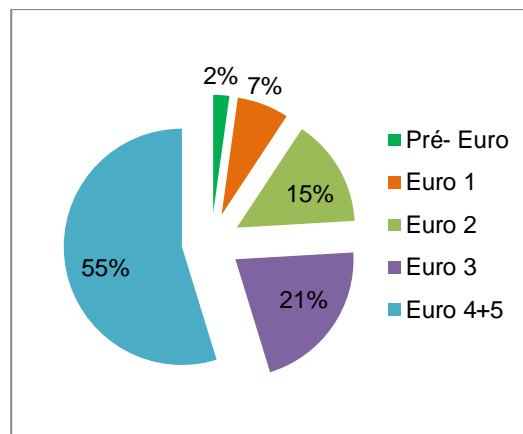


Figura 5.21 - Percentagem dos veículos tendo em conta as Normas Euro

5.2.2. Determinação do tipo de combustível e da cilindrada

Sendo o tipo de combustível e a cilindrada dos veículos, dados essenciais para calcular as emissões de NO_x e PM_{10} dos veículos ligeiros e dos táxis, nas Figuras 5.22 e 5.23, está apresentada essa informação.

Verifica-se que tanto para os veículos ligeiros, como para os táxis, a maioria dos veículos são a gasóleo e com cilindrada superior a 2.0 l (48% e 57% respetivamente). Nota-se também, que nos veículos ligeiros, a percentagem de veículos a gasolina com cilindrada inferior a 2.0 l é de apenas 1%, sendo que nos táxis não foram detetados veículos com estas características, existindo apenas cerca de 1% dos veículos movidos a gasolina e com cilindrada entre 1.4 l e 2.0 l.

Estas características vão evidenciar as diferenças de emissões de NO_x e de PM_{10} , uma vez que os veículos a gasóleo emitem mais PM_{10} e NO_x do que os veículos a gasolina.

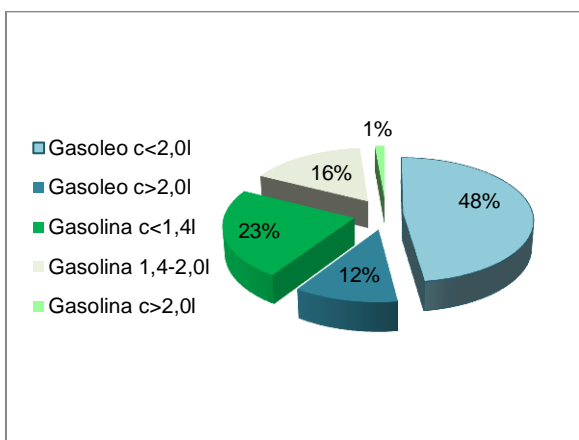


Figura 5.22 - Cilindrada e combustível dos veículos ligeiros amostrados

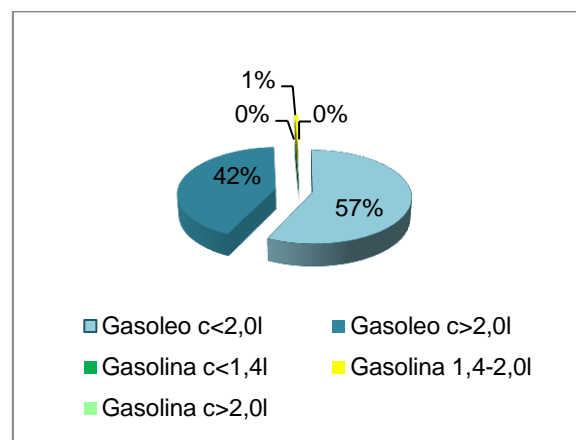


Figura 5.23 - Cilindrada e combustível dos táxis amostrados

No Anexo 8.2, encontram-se indicadas de uma forma mais detalhada, informações que foram relevantes para a realização deste estudo, tais como normas Euro, cilindrada, peso e combustível dos veículos de todas as tipologias consideradas.

Foram realizados aproximadamente 2100 inquéritos de forma a estimar qual a distância média diária percorrida pelos veículos ligeiros, na cidade de Lisboa. Na Tabela 5.2, são apresentados os dados estatísticos referentes aos inquéritos.

Tabela 5.2 – Dados estatísticos referentes aos inquéritos

Parâmetro estatístico	Distância (km)
Média	7,98
Desvio Padrão	2,03
Máximo	11,85
Mínimo	4,81

5.2.3. Determinação das emissões de NO_x e PM₁₀

A determinação das emissões realizou-se em duas etapas, sendo a primeira referente às emissões em g/km de todas as tipologias, sem considerar o peso que cada uma delas representa no tráfego geral da cidade.

Analisando a Tabela 5.3, verifica-se que são os pesados de passageiros, seguindo-se dos ligeiros, os que apresentam mais emissões, tanto de NO_x, como de PM₁₀, sendo os motociclos aqueles que emitem menos.

Tabela 5.3 - Emissões em g/km de NO_x e PM₁₀ correspondentes a cada norma e tipologia de tráfego.

	Emissões em g/km							
	Ligeiros		Táxis		Motociclos		Pesados de Passageiros	
	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀
Pré Euro	32,0	4,2	2,0	0,7	0,7	0,1	-	-
Euro 1	49,4	3,6	6,6	0,6	2,7	0,2	-	-
Euro 2	129,6	8,0	16,6	1,2	4,3	0,1	453,3	9,1
Euro 3	229,7	9,4	18,3	0,8	3,5	0,1	752,1	14,7
Euro 4+5	435,1	24,1	28,8	1,5	-	-	92,9	1,2
Total	875,8	49,4	72,3	4,7	11,3	0,4	1298,3	25,0

Na segunda etapa, Tabela 5.4, foram efetuados os cálculos das emissões tendo em conta a representatividade das tipologias dos veículos, tendo-se multiplicado as emissões mencionadas na Tabela 5.3, pela percentagem de cada tipologia de veículos que circula na cidade.

Verifica-se então, que continuam a ser os veículos ligeiros e os pesados de passageiros os que emitem mais NO_x e PM₁₀, notando-se também que as emissões provenientes dos motociclos são pouco significativas.

Comparando os dois poluentes, verifica-se em todos os casos, que as emissões em g/km de NO_x são sempre superiores às de PM₁₀.

Tabela-5.4 – Emissões em g/km de NO₂ e PM₁₀ emitidas por cada tipologia na cidade de Lisboa

	Emissões em g/km							
	Ligeiros		Táxis		Motociclos		Pesados de Passageiros	
	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀
Pré Euro	26,1	3,5	0,2	0,1	0,0	0,0	-	-
Euro 1	40,2	2,9	0,6	0,1	0,1	0,0	-	-
Euro 2	105,7	6,5	1,6	0,1	0,2	0,0	14,1	0,3
Euro 3	187,2	7,7	1,8	0,1	0,1	0,0	23,3	0,5
Euro 4+5	354,6	19,7	2,8	0,1	-	-	2,9	0,0
Total	713,8	40,3	6,9	0,5	0,4	0,0	40,2	0,8

De forma a visualizar-se mais facilmente qual a tipologia e quais as normas Euro que mais contribuem para as emissões destes poluentes, apresentam-se as Figura 5.24 e 5.25.

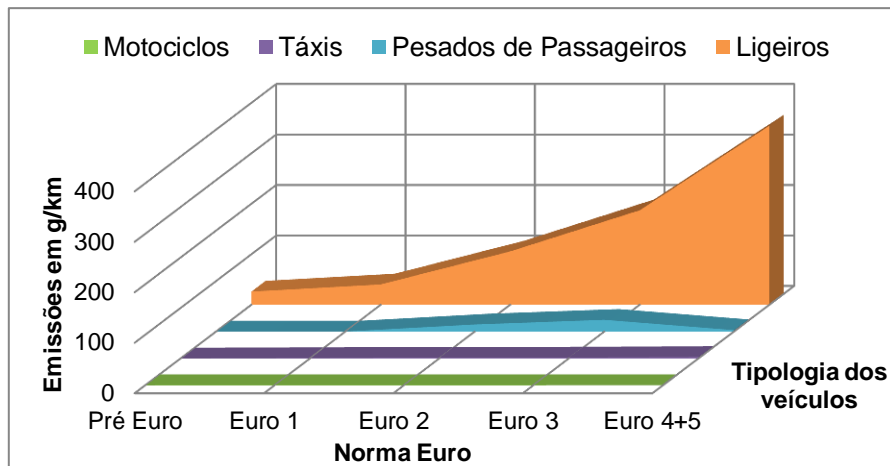


Figura 5.24 - Emissões de NO_x tendo em conta a % das tipologias e a norma Euro dos veículos

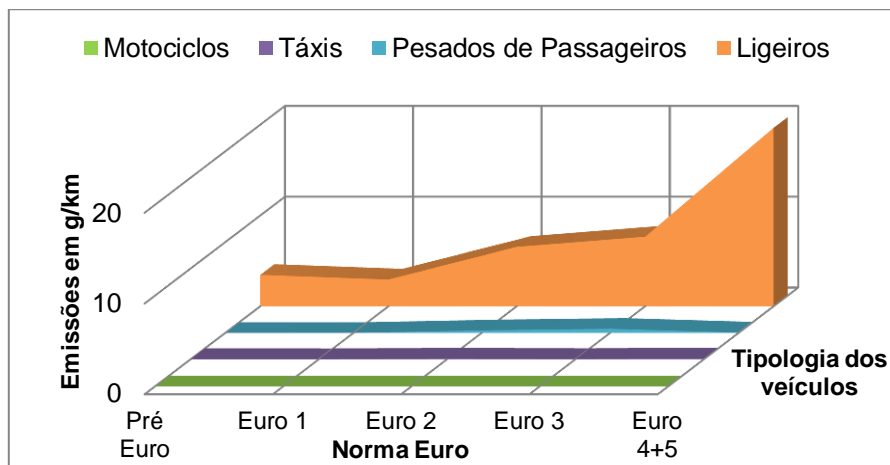


Figura 5.25 - Emissões de PM₁₀ tendo em conta a % das tipologias e a norma Euro dos veículos

É bastante claro, que as maiorias das emissões, tanto de NO_x como de PM₁₀, são provenientes de veículos ligeiros de passageiros com norma superior a Euro 3. Estes resultados devem-se ao facto dos ligeiros de passageiros representarem cerca de 70% dos veículos que circulam na cidade e de cerca de 55% da totalidade dos veículos serem de norma Euro 4 e 5 (Figuras 5.20 e 5.21). Se os veículos em circulação apresentassem normas Euro inferiores, as emissões destes poluentes seriam muito superiores ao apresentado.

5.2.4. Cálculo da redução de emissões de NO_x e de PM₁₀ mediante a aplicação da ZER

Sendo o objetivo principal deste trabalho determinar qual a influência da implementação de uma Zona de Emissões Reduzidas em Lisboa, foi calculada a redução das emissões de NO_x e de PM₁₀, quando aplicados diferentes cenários.

Foram definidos cinco cenários:

- A) ZER aplicada a todas as tipologias de veículos
- B) ZER aplicada apenas aos Veículos Ligeiros e Táxis
- C) ZER aplicada aos Veículos Ligeiros e Veículos Pesados de Passageiros
- D) ZER aplicada aos Táxis e Veículos Pesados de Passageiros
- E) ZER aplicada apenas aos Veículos Ligeiros

Todos estes cenários possuem três variantes, sendo que na primeira há a limitação da circulação de veículos anteriores à norma Euro 1 (anteriores a 1992), na segunda os veículos Pré-Euro 2 (anteriores a 1996) são os afetados e na terceira, todos os veículos Pré Euro, Euro 1 e Euro 2 (anteriores a 2003) têm a sua circulação limitada.

Na Tabela 5.5, estão representadas as emissões que serão reduzidas, em termos percentuais e absolutos, caso seja aplicada a ZER. Para obter os valores de redução absolutos, por mil veículos, multiplicaram-se as percentagens de emissões reduzidas por 10 e pela distância média percorrida (7,98 km), obtendo-se assim os valores em grama.

Tabela 5.5 – Redução das emissões de PM₁₀ e NO_x caso sejam aplicados vários cenários de implementação da Zona de Emissões Reduzidas

	Percentagem de Redução		Redução por cada 1000 veículos, considerando a distância média percorrida (g)	
	NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀
A - ZER Para todas as Tipologias				
A1) ZER: Pré Euro 1	3,5	8,9	653	2722
A2) ZER: Pré Euro 2	9,8	17,8	2411	5187
A3) ZER: Pré Euro 3	26,5	35,3	8416	11505
B - ZER para Ligeiros e Táxis				
B1) ZER: Pré Euro 1	3,2	8,4	634	2684
B2) ZER: Pré Euro 2	8,7	15,6	2323	5015
B3) ZER: Pré Euro 3	23,0	31,2	6596	9576
C - ZER para Ligeiros e Pesados de Passageiros				
C1) ZER: Pré Euro 1	3,0	7,0	238	559
C2) ZER: Pré Euro 2	7,6	13,0	604	1034
C3) ZER: Pré Euro 3	20,7	27,3	3190	3786
D - ZER para Táxis e Pesados de Passageiros				
D1) ZER: Pré Euro 1	0,3	1,4	396	2125
D2) ZER: Pré Euro 2	1,1	2,7	1719	3980
D3) ZER: Pré Euro 3	4,4	6,1	6651	9179
E - ZER para Ligeiros				
E1) ZER: Pré Euro 1	3,0	7,0	238	559
E2) ZER: Pré Euro 2	7,6	13,0	604	1034
E3) ZER: Pré Euro 3	19,6	26,2	1567	2092

Observa-se que, para todos os cenários, quanto maiores forem as restrições à circulação, em relação às normas Euro, maiores serão as reduções das emissões. Denota-se também que é o Cenário D o que causa menos impacto, sendo que o Cenário A é o que trará resultados mais significativos.

Em relação aos dois poluentes analisados, denota-se que para todos os cenários definidos, a redução das emissões de PM_{10} , em termos percentuais e em grama, é sempre superior à redução das emissões de NO_x .

Nas figuras seguintes (Figura 5.26 a 5.35), estão apresentados graficamente os resultados, sendo possível comparar a influência da ZER na redução das emissões de NO_x e de PM_{10} em cada cenário considerado.

Cenário A – ZER aplicada a todas as tipologias

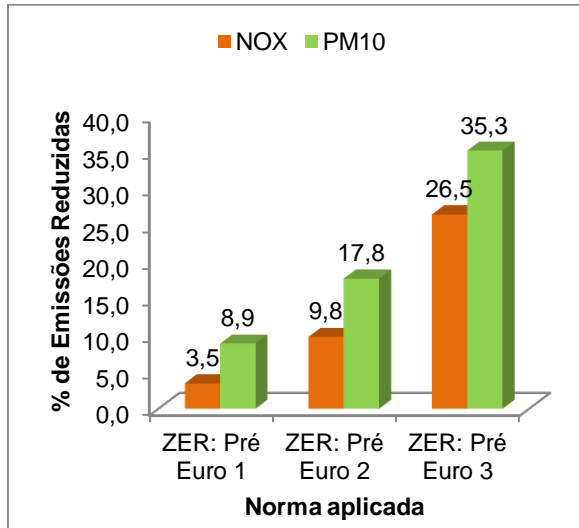


Figura 5.26 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação a todas as tipologias de veículos

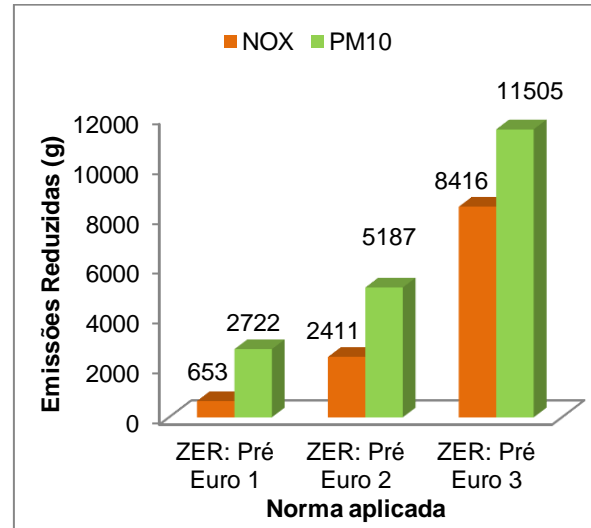


Figura 5.27 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação a todas as tipologias de veículos

Cenário B – ZER aplicada a Veículos Ligeiros e Táxis

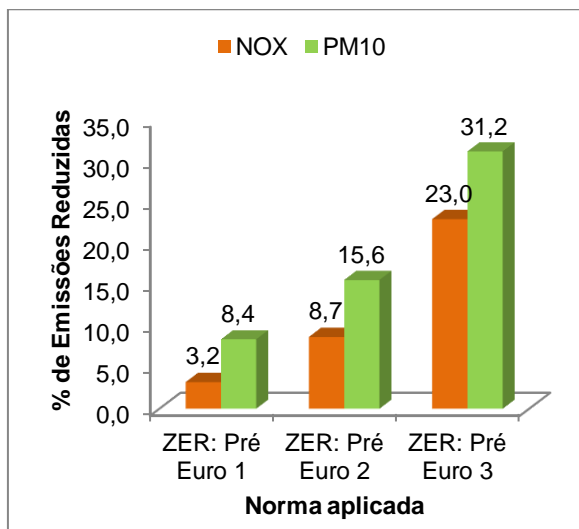


Figura 5.28 - Redução percentual de emissões quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e táxis

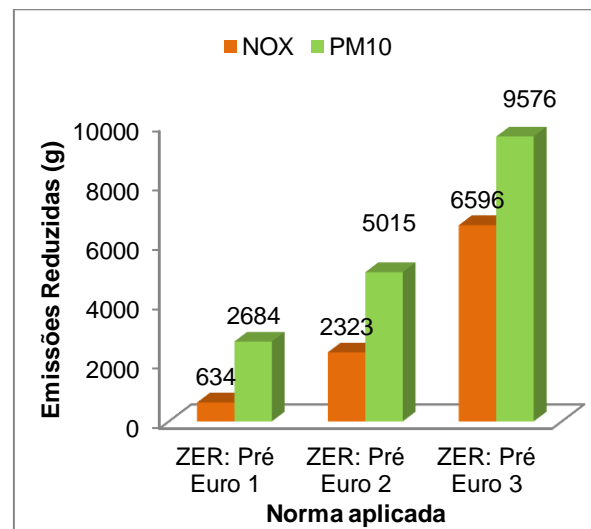


Figura 5.29 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e táxis

Cenário C – ZER aplicada a Veículos Ligeiros e Pesados de Passageiros

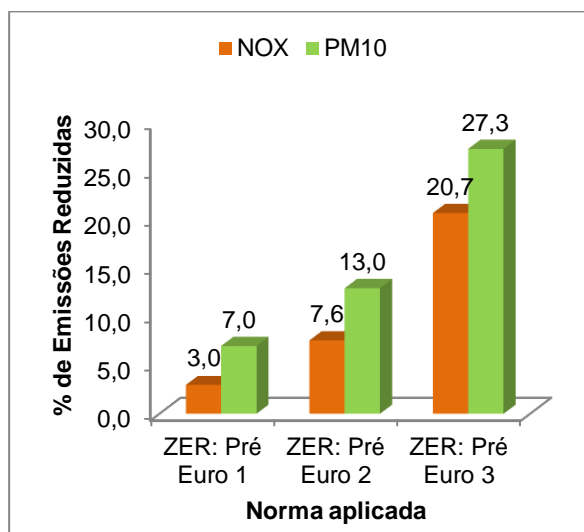


Figura 5.30 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e pesados de passageiros

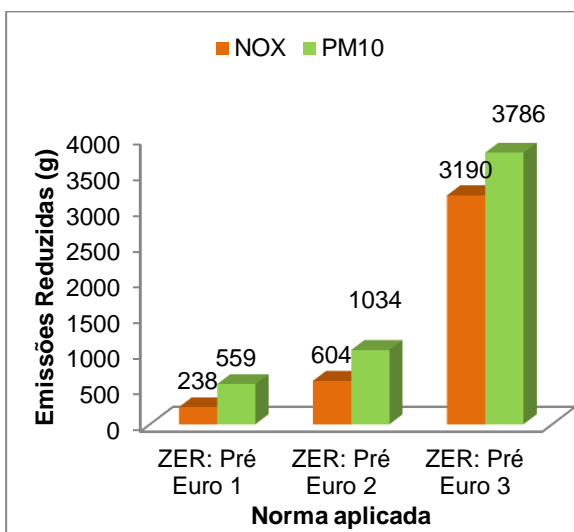


Figura 5.31 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros e pesados de passageiros

Cenário D – ZER aplicada a Táxis e Pesados de Passageiros

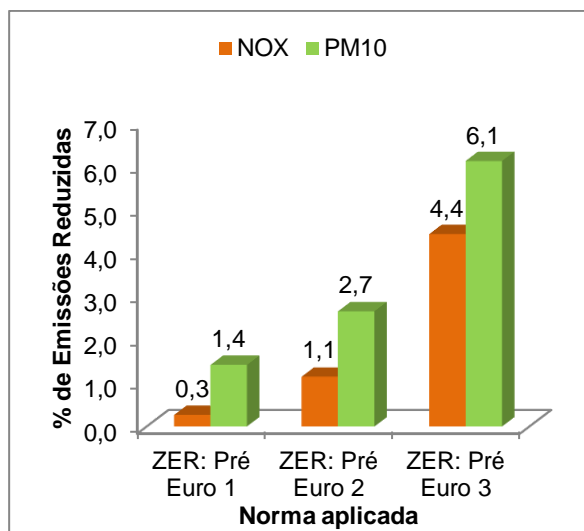


Figura 5.32 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação de táxis e pesados de passageiros

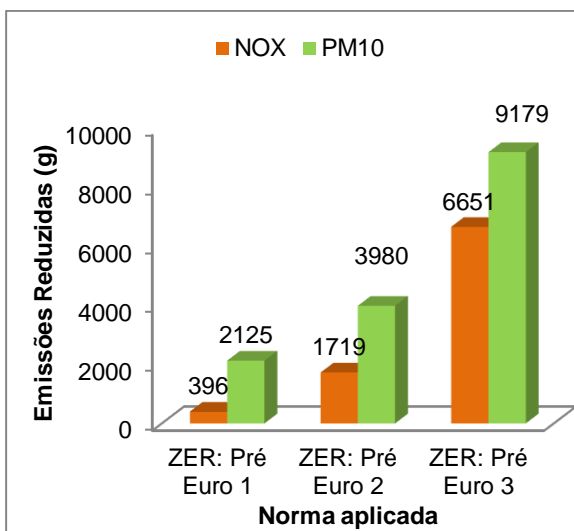


Figura 5.33 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de táxis e pesados de passageiros

Cenário E – ZER aplicada a Veículos Ligeiros

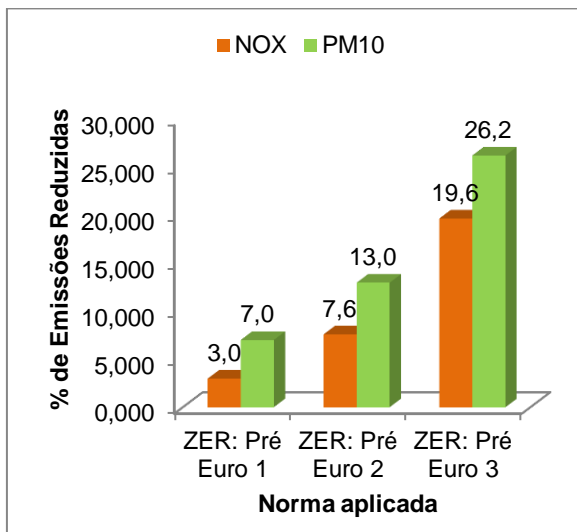


Figura 5.34 - Redução percentual de emissões, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros

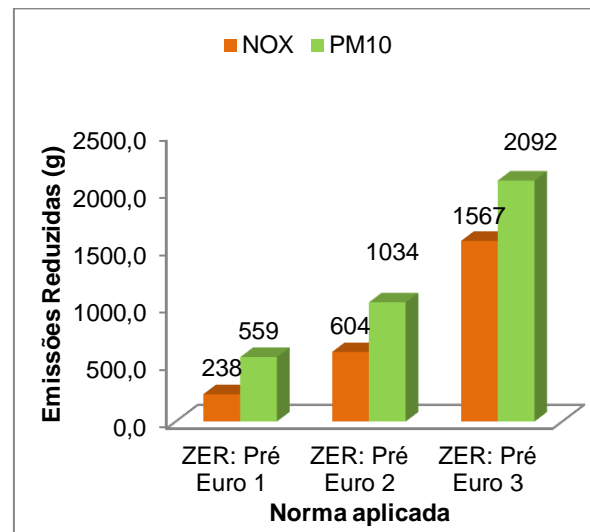


Figura 5.35 - Redução de emissões em grama, quando aplicadas restrições à circulação de ligeiros

Após a realização da parte prática desta dissertação, teve-se conhecimento de que a idade dos táxis que foi disponibilizada pela CML, não tinha em conta a idade original dos veículos importados, mas sim a data da matrícula aquando o seu registo em Portugal.

Estes novos dados indicam que de todos os táxis registados a circular na cidade de Lisboa, cerca de 8% são norma Pré-Euro 1 e 23% são norma Euro 1, sendo estes valores superiores em relação aos que foram considerados neste trabalho, que são 2.9% Pré-Euro 1 e 9% Euro 1.

Apesar destas informações serem relevantes, como foram adquiridas fora de tempo, não foram utilizadas para efeito de cálculo. No entanto é importante referir que se os cálculos tivessem sido realizados com estas informações, as emissões de NO_x e PM₁₀ provenientes dos táxis seriam ainda mais elevadas.

6. CONCLUSÕES

6.1. Principais conclusões

O objetivo principal desta dissertação foi avaliar os benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa. Para tal, realizou-se uma análise detalhada e dedicada da área urbana em questão.

Através dos dados recolhidos nas estações de monitorização de qualidade do ar, torna-se claro que a cidade de Lisboa possui graves problemas ao nível da qualidade do ar. Verifica-se que existem estações em incumprimento legal, nomeadamente a estação da Avenida da Liberdade e a estação de Santa Cruz de Benfica.

Existe também uma tendência geral para um aumento crescente do número de excedências aos valores limite legais, significando que a qualidade do ar nas áreas adjacentes às estações de monitorização tem vindo a piorar, sobretudo nas zonas da Avenida da Liberdade, Entrecampos e Santa Cruz de Benfica.

Apesar de, para as PM_{10} , algumas das estações se encontrarem em cumprimento legal, o crescimento destas excedências indica que devem ser implementadas medidas que se reflitam na redução das emissões, por forma a contrariar esta tendência.

Para além da estação da Avenida da Liberdade, a estação de Santa Cruz de Benfica é a que apresenta uma evolução crescente e mais preocupante das concentrações de PM_{10} e NO_2 . No entanto, a ZER que se encontra atualmente em vigor, não abrange a área adjacente a esta estação, prevendo-se assim um decréscimo da qualidade do ar nesta área.

Através da análise do padrão das concentrações média diária de PM_{10} e NO_2 , é possível estabelecer uma relação entre o tráfego rodoviário e as concentrações detetadas., pois os picos de concentração ocorrem sempre durante ou após as horas de ponta, períodos estes caracterizados por um tráfego rodoviário mais intenso.

Outro padrão que confirma este facto, é a evolução da concentração média semanal, onde se verifica claramente que nos dias úteis, as concentrações de ambos os poluentes são mais elevadas do que as registadas durante o fim de semana.

Perante estas conclusões, torna-se claro que é necessária a implementação de medidas que visem melhorar a qualidade do ar na região. Assim sendo, após um extenso levantamento de informações referentes ao tráfego na cidade de Lisboa, foi possível simular os benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas na cidade.

Em todos os cenários definidos, que tiveram em conta a tipologia dos veículos (ligeiros, táxis, pesados de passageiros e motociclos) e o grau de intervenção da ZER, relativamente às normas Euro, verificou-se que, quanto maiores as restrições à circulação, maiores serão as reduções das emissões. Ao ser aplicada uma ZER que imponha restrições sobre todas as tipologias de veículos consideradas, verifica-se uma redução percentual da concentração dos poluentes, de 8,9% de PM_{10} , 3,5% de NO_x , caso sejam aplicadas restrições a veículos anteriores a 1992 (Pré- Euro 1), uma redução de 17,8% de PM_{10} e 8,9% de NO_x , quando aplicadas restrições a veículos anteriores a 1996 (Euro 1) e uma redução de 35,3% de PM_{10} e 26,5% de NO_x , quando aplicadas restrições a veículos anteriores a 2003 (Euro 2).

Estas reduções nas concentrações iriam traduzir-se numa melhoria da qualidade do ar, que muito provavelmente se iria refletir numa redução do número de excedências detetadas nas estações fixas de monitorização que se encontram na área abrangida pela ZER.

São os veículos ligeiros, os que possuem uma maior influência nas emissões dos poluentes em análise, pois são a tipologia mais representativa do tráfego na cidade de Lisboa, constituindo 81% do tráfego total.

Apesar de representarem apenas 2% do tráfego, os veículos pesados de passageiros são a segunda tipologia em estudo que mais emite NO₂ e PM₁₀. Este facto está relacionado com as características dos veículos e com a distância percorrida diariamente na cidade.

Quanto às emissões provenientes dos táxis, é importante salientar que se os cálculos das emissões tivessem tido em conta os novos dados referentes à idade dos táxis que se encontram efetivamente em circulação, as emissões de NO₂ e PM₁₀ provenientes desta tipologia seriam ainda mais elevadas.

Assim sendo, é possível afirmar que a implementação de Zonas de Emissões Reduzidas na cidade de Lisboa trará benefícios notáveis ao nível da qualidade do ar, salientando-se que quanto mais restritivas forem as medidas, melhor a eficiência na redução de emissões.

6.2. Limitações do estudo

Apesar de todo o cuidado e rigor investido neste trabalho, é possível que existam alguns erros que possam limitar algumas das conclusões deste estudo, nomeadamente o facto de se terem assumido alguns pressupostos ao longo dos cálculos das emissões de PM₁₀ e NO₂.

Podem também surgir algumas imprecisões relacionadas com as amostragens realizadas, nomeadamente na identificação da idade dos veículos e na estimativa da distância média percorrida dentro da cidade de Lisboa. No entanto, ao ter sido realizada uma extensa amostragem julga-se que qualquer erro existente possa ter sido minimizado.

6.3. Desenvolvimentos futuros

Como forma de complementar e dar continuidade ao estudo desenvolvido nesta dissertação, são apresentadas algumas sugestões de desenvolvimentos futuros, nomeadamente:

- Acompanhamento e monitorização da evolução das diversas fases de implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa;
- Avaliação dos benefícios da implementação de ZER noutras cidades do país;
- Estimar qual o número de excedências aos valores limite que são reduzidas aquando a implementação da ZER;
- Realizar uma monitorização no terreno, de forma a compreender se existem vias às quais podem ser levantadas exceções ao tráfego ou mesmo serem aumentadas as restrições.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEME. (2002). *Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air*. Paris: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie/ Direction de l'Air et des Transports/ Département - Air Éditions.
- Almeida, C. S. (2010). *Planos de mobilidade no contexto da melhoria da qualidade do ar em Lisboa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- AML. (2007). *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*. Área Metropolitana de Lisboa.
- APA. (2008). *Alocação Espacial de Emissões em 2005*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2012 a). *Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr - Base de Dados Online sobre Qualidade do Ar*. Obtido em Fevereiro de 2012, de Download: <http://www.qualar.org/?page=6>
- APA. (2012 b). *Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr - Base de Dados Online sobre Qualidade do Ar*. Obtido em Janeiro de 2012, de Estações: <http://www.qualar.org/?page=4&subpage=1>
- APA. (2012 c). *Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr - Base de Dados Online sobre Qualidade do Ar*. Obtido em Janeiro de 2012, de Informações: <http://www.qualar.org/?page=5>
- Araújo, R. P. (2008). *Monitorização da Qualidade do Ar na Envolvente de Indústrias Cimenteiras - Caso de Estudo da Fábrica SECIL-Outão*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Baptista, C. E. (2008). *Análise Comparativa da qualidade do ar em Portugal*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro.
- Carris. (2010 a). *Relatório de Contas 2010*. Obtido em Fevereiro de 2012, de <http://www.carris.pt/>
- Carris. (2010 b). *Relatório de Sustentabilidade 2010*. Obtido em Fevereiro de 2012, de <http://www.carris.pt/>
- CCDR-LVT. (2009). *A Região de Lisboa e Vale do Tejo em Números*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CCDR-LVT. (2010). *Sistema de monitorização e de divulgação da informação*. Obtido em Março de 2012, de Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo: <http://www.ccdr-lvt.pt/pt/sistema-de-monitorizacao-e-de-divulgacao-da-informacao/1672.htm>
- CCDR-LVT, & DCEA-FCT/UNL. (2009). *Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Lisboa: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CML. (2012). *Câmara Municipal de Lisboa*. Obtido em Abril de 2012, de Áreas de Actividade - Zonas de Emissões Reduzidas na Cidade de Lisboa: <http://www.cm-lisboa.pt/?idc=669&idi=57484>

- Comissão Europeia. (2001). Decisão da Comissão, de 17 de Outubro. *Relativa à revisão dos anexos da Decisão 91/101/CE do Conselho que estabelece um intercâmbio recíproco de informações e de dados provenientes das redes e estações individuais que medem a poluição atmosférica nos Estados-Membros*, L 282, 69-75. Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- DCEA-FCT-UNL, CCDR-LVT, CRSP-LVT. (2005). *Diagnóstico e Metodologia para o estudo dos efeitos das partículas finas na cidade de Lisboa - Relatório Final*.
- Decreto-Lei n.º 279/2007 de 6 de Agosto. (2007). *Diário da República, 1.ª série*, 5040-5042. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril. (2002). *Diário da República, 1.ª Série A*, 3711- 3722. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 193/2008 de 22 de Agosto. (2008). *Diário da República, 1.ª Série, n.º193*, 5424 - 5427. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º102/2010 de 23 de Setembro. (2010). *Diário da República, 1.ª Série, n.º 186*. 4177-4205. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- DieselNet. (2012). *Emission Standards, European Union, Cars and Light Trucks*. Obtido em Março de 2012, de <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- EEA. (2004). *EEA Signals 2004 - A European Environment Agency update on selected issues*. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA. (2010 a). *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2009*. Obtido em Janeiro de 2012, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>
- EEA. (2010 b). *Impact of selected policy measures on Europe's air quality*. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA. (2011). *Air quality in Europe — 2011 report*. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA. (2012). *Environmental Terminology and Discovery Service*. Obtido em Março de 2012, de European Environment Agency: http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=corinair
- EU. (2012). *Low emission zones in Europe*. Obtido em Janeiro de 2012, de European Union: <http://www.lowemissionzones.eu/>
- European Commission . (2005). *CAFE Reference Documents*. Obtido em Março de 2012, de European Commission - Environment: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cafegeneral/keydocs.htm#maps>
- Garber, W., Colosio, J., Grittner, S., Larssen, S., Rasse, D., Schneider, J., et al. (2002). *Guidance on the Annexes to Decision 97/101/EC on Exchange of Information as revised by Decision 2001/752/EC*. European Commission, DG Environment.
- Ghio, A. J., & Huang, Y. C. (2004). Exposure to concentrated ambient particles (CAPs): a review. 16,53. *Inhal Toxicol*,.

- Gomes, P. M. (2008). *Qualidade do ar em zonas industriais - Caso de estudo do Barreiro*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- INE. (2012). *Portal do Instituto Nacional de Estatística*. Obtido em Março de 2012, de www.ine.pt
- Martins, A. P. (2005). *Avaliação da Qualidade do Ar em Lisboa. Estações Urbanas de Tráfego*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro.
- Maurício, B. M. (2009). *Alterações Climáticas e Qualidade do Ar: integração das partículas PM_{2.5} e PM₁₀ no modelo TIMES_PT e análise de políticas comuns de redução*. Lisboa: FCT-UNL.
- McKinney, M., Schoch, R., & Yonavjak, L. (2007). *Environmental Science. Systems and Solutions - Fourth Edition*, 464-476. Jones and Barlett Learning.
- Monjardino, J. V. (2008). *Avaliação das concentrações de ozono em zonas rurais de fundo*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- NASA. (2011). *The Earth Observatory*. Obtido em Março de 2012, de Natural Hazards: <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=49987&src=nha>
- OCDE. (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. Organisation for economic co-operation and development.
- Portaria n.º 715/2008, de 6 de Agosto de 2008. (2008). *Diário da República, 2.ª série*, 34959-34968. Presidência do conselho de ministros em ministérios da administração interna, do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, da economia e da inovação e das obras públicas, transportes e comunicações, Lisboa.
- Reis, L. A. (2008). *Modelos estatísticos de previsão do ozono troposférico na região de Lisboa e Vale do Tejo*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Santos, N. C. (2008). *Efeito de Eventos Naturais na Qualidade do Ar - Avaliação dos Métodos de Identificação*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- SPIRIT. (2011). *information systems, Inc*. Obtido em Fevereiro de 2012, de CORINAIR - The New Family Of Software Tools: <http://www.air.sk/en/corinair.php>
- Tente, H. (2005). *Impacte das partículas em suspensão sobre a saúde humana: uma abordagem multidisciplinar para a cidade de Lisboa*. Departamento de Ambiente e de Ordenamento: Universidade de Aveiro.
- Torres, P. (2012). *Velocidade média de circulação de veículos ligeiros na cidade de Lisboa*. 28 de Fevereiro de 2012: Comunicação escrita.
- Toyota. (2012). *Glossary*. Obtido em Fevereiro de 2012, de Toyota: <http://www.toyota.pt/innovation/technology/glossary/>
- Uysal, N., & Schapira, R. M. (2003). Effects of ozone on lung function and lung diseases. 144-50. *Curr Opin Pulm Med* 9.
- Vallero, D. A. (2008). *Fundamentals of air pollution - Fourth edition* (quarta edição ed.). Durham, North Carolina: Elsevier.

WHO. (2004). Health Aspects of Air Pollution. *Results from the WHO project "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe"*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.

WHO. (2006 a). Air Quality Guidelines Global Update 2005. *Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. World Health Organization.

WHO. (2006 b). *Health impact of pm10 and ozone in 13 Italian cities*. World Health Organization.

8. ANEXOS

8.1. Tabelas do *Guia Corinair 2010* utilizadas para o cálculo dos fatores de emissão de PM_{10} e NO_x

Tabela 8.1 - Equações utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO_x para veículos ligeiros e táxis Pré-Euro movidos a gasolina. (Tabela 3-35 do Guia Corinair)

Vehicle class	Engine capacity	Speed range (km/h)	NO_x emission factor (g/km)	R^2
PRE ECE	cc < 1.4 l	10–130	$1.173 + 0.0225V - 0.00014V^2$	0.916
ECE 15-00/01	1.4 l < cc < 2.0 l	10–130	$1.360 + 0.0217V - 0.00004V^2$	0.960
	cc > 2.0 l	10–130	$1.5 + 0.03V + 0.0001V^2$	0.972
ECE 15-02	cc < 1.4 l	10–130	$1.479 - 0.0037V + 0.00018V^2$	0.711
	1.4 l < cc < 2.0 l	10–130	$1.663 - 0.0038V + 0.00020V^2$	0.839
	cc > 2.0 l	10–130	$1.87 - 0.0039V + 0.00022V^2$	-
ECE 15-03	cc < 1.4 l	10–130	$1.616 - 0.0084V + 0.00025V^2$	0.844
	1.4 l < cc < 2.0 l	10–130	$1.29e^{0.0099V}$	0.798
	cc > 2.0 l	10–130	$2.784 - 0.0112V + 0.000294V^2$	0.577
ECE 15-04	cc < 1.4 l	10–130	$1.432 + 0.003V + 0.000097V^2$	0.669
	1.4 l < cc < 2.0 l	10–130	$1.484 + 0.013 \cdot V + 0.000074V^2$	0.722
	cc > 2.0 l	10–130	$2.427 - 0.014V + 0.000266V^2$	0.803
Improved Conventional	cc < 1.4 l	10–130	$-0.926 + 0.719\ln(V)$	0.883
	1.4 l < cc < 2.0 l	10–130	$1.387 + 0.0014V + 0.000247V^2$	0.876
Open loop	cc < 1.4 l	10–130	$-0.921 + 0.616\ln(V)$	0.791
	1.4 l < cc < 2.0 l	10–130	$-0.761 + 0.515\ln(V)$	0.495

Tabela 8.2 - Constantes utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO_x para veículos ligeiros e táxis movidos a gasolina (Tabela 3-39 do Guia Corinair)

Pollutant	Emission Standard	Engine capacity	Speed Range (km/h)	R^2	a	b	c	d	e
CO	Euro 1	All capacities	10–130	0.87	1.12E+01	1.29E-01	-1.02E-01	-9.47E-04	6.77E-04
	Euro 2	All capacities	10–130	0.97	6.05E+01	3.50E+00	1.52E-01	-2.52E-02	-1.68E-04
	Euro 3	All capacities	10–130	0.97	7.17E+01	3.54E+01	1.14E+01	-2.48E-01	
	Euro 4	All capacities	10–130	0.93	1.36E-01	-1.41E-02	-8.91E-04	4.99E-05	
HC	Euro 1	All capacities	10–130	0.82	1.35E+00	1.78E-01	-6.77E-03	-1.27E-03	
	Euro 2	All capacities	10–130	0.95	4.11E+06	1.66E+06	-1.45E+04	-1.03E+04	
	Euro 3	All capacities	10–130	0.88	5.57E-02	3.65E-02	-1.10E-03	-1.88E-04	1.25E-05
	Euro 4	All capacities	10–130	0.10	1.18E-02		-3.47E-05		8.84E-07
NO_x	Euro 1	All capacities	10–130	0.86	5.25E-01		-1.00E-02		9.36E-05
	Euro 2	All capacities	10–130	0.52	2.84E-01	-2.34E-02	-8.69E-03	4.43E-04	1.14E-04
	Euro 3	All capacities	10–130	0.80	9.29E-02	-1.22E-02	-1.49E-03	3.97E-05	6.53E-06
	Euro 4	All capacities	10–130	0.71	1.06E-01		-1.58E-03		7.10E-06

$$EF = (a + c \times V + e \times V^2) / (1 + b \times V + d \times V^2)$$

Figura 8.1 - Equação utilizada para o cálculo do fator de emissão de NO_x para veículos ligeiros e táxis movidos a gasolina

Tabela 8.3 – Fatores de emissão de PM₁₀ para veículos ligeiros de passageiros e táxis movidos a gasolina (Tabela 3-40 do Guia Corinair)

Pollutant	Emission standard	Fuel specs (EN590)	Urban [g/km]	Rural [g/km]	Highway [g/km]
PM	Euro 1 and 2	2000–2009	3.22E-03	1.84E-03	1.90E-03
	Euro 3 and 4	2000–2009	1.28E-03	8.36E-04	1.19E-03
	Euro 3 GDI	2000–2009	6.60E-03	2.96E-03	6.95E-03

Tabela 8.4 – Equações utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO_x e PM₁₀ para veículos ligeiros e táxis Pré-Euro movidos a gasóleo (Tabela 3-43 do Guia Corinair)

Pollutant or FC	Engine capacity	Speed range [km/h]	Emission factor [g/km]	R ²
CO	All capacities	10–130	5.41301V ^{-0.574}	0.745
NO _x	cc < 2.0 l	10–130	0.918 – 0.014V + 0.000101V ²	0.949
	cc > 2.0 l	10–130	1.331 – 0.018V + 0.000133V ²	0.927
VOC	All capacities	10–130	4.61 V ^{-0.937}	0.794
PM	All capacities	10–130	0.45 – 0.0086V + 0.000058V ²	0.439
Fuel consumption	All capacities	10–130	118.489 – 2.084V + 0.014V ²	0.583

Tabela 8.5 – Constantes utilizadas para o cálculo do fator de emissão de PM₁₀ para veículos ligeiros e táxis movidos a gasóleo (Tabela 3-45 do Guia Corinair)

Pollutant or FC	Emission standard	Engine capacity	Speed range (km/h)	R ²	a	b	c	D	e	f
CO	Euro 1	All capacities	10–130	0.94	9.96E-01		-1.88E-02		1.09E-04	
	Euro 2	All capacities	10–130	0.91	9.00E-01		-1.74E-02		8.77E-05	
	Euro 3	All capacities	10–130	0.95	1.69E-01		-2.92E-03		1.25E-05	1.1
	Euro 4	All capacities	10–130		See table footnote					
HC	Euro 1	< 2.0	10–130	0.93	1.42E-01	1.38E-02	-2.01E-03	-1.90E-05	1.15E-05	
		> 2.0	10–130	0.98	1.59E-01		-2.46E-03		1.21E-05	
	Euro 2	< 2.0	10–130	0.99	1.61E-01	7.46E-02	-1.21E-03	-3.35E-04	3.63E-06	
		> 2.0	10–130	0.98	5.01E+04	3.80E+04	8.03E+03	1.15E+03	-2.66E+01	
	Euro 3	< 2.0	10–130	0.99	9.65E-02	1.03E-01	-2.38E-04	-7.24E-05	1.93E-06	
		> 2.0	10–130	0.54	9.12E-02		-1.68E-03		8.94E-06	
Euro 4	All capacities	10–130		3.47E-02	2.69E-02	-6.41E-04	1.59E-03	1.12E-05		
NO _x	Euro 1	All capacities	10–130	0.96	3.10E+00	1.41E-01	-6.18E-03	-5.03E-04	4.22E-04	
	Euro 2	All capacities	10–130	0.94	2.40E+00	7.67E-02	-1.16E-02	-5.00E-04	1.20E-04	
	Euro 3	All capacities	10–130	0.92	2.82E+00	1.98E-01	6.69E-02	-1.43E-03	-4.63E-04	

$$EF = (a + c \times V + e \times V^2)/(1 + b \times V + d \times V^2) + f/V$$

Figura 8.2 - Equação utilizada para o cálculo do fator de emissão de PM₁₀ para veículos ligeiros e táxis movidos a gasóleo

Tabela 8.6 – Fatores de emissão dos veículos pesados de passageiros movidos a Gás Natural (Tabela 3-59 do Guia Corinair)

Emission standard	CO (g/km)	THC (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)	Tailpipe CO ₂ (g/km)	Derived FC _{CH4} (g/km)
Euro I	8.4	7.0	16.5	0.02	1400	555
Euro II	2.7	4.7	15.0	0.01	1400	515
Euro III	1.0	1.33	10.0	0.01	1250	455
EEV	1.0	1.0	2.5	0.005	1250	455

Tabela 8.7 – Constantes utilizadas para o cálculo de emissões de NO_x de motocicletas a quatro tempos com cilindrada superior a 50 cm³ (Tabela 3-63 do Guia Corinair)

Pollutant or FC	Emission Standard	Speed Range [km/h]	Coefficients					
			a5	a4	a3	a2	a1	a0
4-Stroke >750 cm ³								
CO	Conventional	0 - 140	-9.989E-09	4.367E-06	-7.403E-04	6.304E-02	-2.679E+00	6.398E+01
	Euro 1		-1.217E-08	4.832E-06	-6.900E-04	4.577E-02	-1.486E+00	2.985E+01
	Euro 2		-2.022E-10	3.310E-07	-7.183E-05	7.733E-03	-4.020E-01	9.718E+00
	Euro 3		-1.189E-10	1.850E-07	-3.988E-05	4.275E-03	-2.217E-01	5.356E+00
NO _x	Conventional		1.348E-10	-5.133E-08	7.639E-06	-4.643E-04	1.142E-02	3.943E-02
	Euro 1		-3.488E-11	1.237E-08	-1.988E-06	2.357E-04	-1.104E-02	3.059E-01
	Euro 2		1.479E-11	-3.649E-09	2.877E-07	9.909E-05	-8.524E-03	2.754E-01
	Euro 3		2.880E-12	2.555E-10	-2.087E-07	7.753E-05	-5.274E-03	1.527E-01
HC	Conventional		-7.483E-10	3.297E-07	-5.680E-05	5.165E-03	-2.647E-01	7.687E+00
	Euro 1		-6.341E-10	2.944E-07	-5.145E-05	4.480E-03	-2.053E-01	4.737E+00
	Euro 2		-2.975E-10	1.460E-07	-2.592E-05	2.236E-03	-9.617E-02	1.969E+00
	Euro 3		-1.955E-10	9.428E-08	-1.652E-05	1.409E-03	-6.000E-02	1.221E+00
FC	Conventional	-1.819E-08	7.981E-06	-1.347E-03	1.139E-01	-4.820E+00	1.213E+02	
	Euro 1	-1.775E-08	7.805E-06	-1.326E-03	1.129E-01	-4.871E+00	1.230E+02	
	Euro 2	-1.833E-08	8.050E-06	-1.363E-03	1.157E-01	-4.939E+00	1.213E+02	
	Euro 3	-1.833E-08	8.050E-06	-1.363E-03	1.157E-01	-4.939E+00	1.213E+02	

$$EF = a_0 + a_1 \times V + a_2 \times V^2 + a_3 \times V^3 + a_4 \times V^4 + a_5 \times V^5$$

Figura 8.3 - Equação utilizada para o cálculo de emissões de NO_x de motocicletas a quatro tempos com cilindrada superior a 50 cm³

Tabela 8.8 - Fatores de emissão utilizados para o cálculo de emissões de PM₁₀ de motocicletas a quatro tempos com cilindrada superior a 50 cm³ (Tabela 3-64 do Guia Corinair)

Pollutant	Engine type/capacity	Emission standard	Speed range [km/h]	Emission factor [g/km]
PM	2-stroke	Conventional	10-110	2.0E-01
		Euro 1	10-110	8.0E-02
		Euro 2	10-110	4.0E-02
		Euro 3	10-110	1.2E-02
	< 250 cm ³	Conventional	10-110	2.0E-02
		Euro 1	10-110	2.0E-02
		Euro 2	10-110	5.0E-03
		Euro 3	10-110	5.0E-03
	250 < cc < 750 cm ³	Conventional	10-110	2.0E-02
		Euro 1	10-110	2.0E-02
		Euro 2	10-110	5.0E-03
		Euro 3	10-110	5.0E-03
	> 750 cm ³	Conventional	10-110	2.0E-02
		Euro 1	10-110	2.0E-02
		Euro 2	10-110	5.0E-03
		Euro 3	10-110	5.0E-03

Tabela 8.9 - Equações utilizadas para o cálculo do fator de emissão de NO_x e PM₁₀, para veículos pesados, presentes no documento EFs_G00%_L050% do Anexo 3 do Guia Corinair 2010

NO _x						
Subsegment	Formula (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e
Ubus Midi <=15t Euro-3	$y=(a+(b/(1+\exp((((1-c)^d \ln(x))+e^x))))))$	1,9833293	92,13713793	0,9197532	1,1600602	-0,0004869
Ubus Std >15-18t Euro-2	$y=(a+(b/(1+\exp((((1-c)^d \ln(x))+e^x))))))$	6,53723271	128,9182916	-0,749161	0,4523624	0,0470718
Ubus Std >15-18t Euro-3	$y=(a+(b/(1+\exp((((1-c)^d \ln(x))+e^x))))))$	3,97204459	93,40114752	1,1663709	1,1397499	0,0115236
Ubus Std >15-18t Euro-4	$y=((a+(b^x))+((c-b)^{(1-\exp((-1)^d x))/d}))$	24,2160305	-0,02711876	-2,224593	0,1143498	
Ubus Std >15-18t Euro-5	$y=((a+(b^x))+((c-b)^{(1-\exp((-1)^d x))/d}))$	17,9967407	-0,01990644	-1,861694	0,1242404	
Ubus Artic >18t Euro-2	$y=((a+(b^x))+((c-b)^{(1-\exp((-1)^d x))/d}))$	37,6584792	-0,03893937	-2,239391	0,0825137	
Ubus Artic >18t Euro-5	$y=((a+(b^x))+((c-b)^{(1-\exp((-1)^d x))/d}))$	19,3083066	-0,02534103	-1,790251	0,1154223	

PM ₁₀						
Subsegment	Formula (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e
Ubus Midi <=15t Euro-3	$y=(c+(a \exp(b^x)))$	0,36323377	-0,06656194	0,0824881		
Ubus Std >15-18t Euro-2	$y=(c+(a \exp(b^x)))$	0,51738529	-0,06333083	0,1140573		
Ubus Std >15-18t Euro-3	$y=((e+(a \exp(((1-b)^d x)))+(c \exp(((1-d)^d x))))$	0,45322567	0,055584253	1250,7352	1,7427794	0,0941401
Ubus Std >15-18t Euro-4	$y=((e+(a \exp(((1-b)^d x)))+(c \exp(((1-d)^d x))))$	0,13512991	0,060743756	0,405571	0,3043586	0,0163975
Ubus Std >15-18t Euro-5	$y=((e+(a \exp(((1-b)^d x)))+(c \exp(((1-d)^d x))))$	0,13770527	0,060788271	0,4185223	0,3066826	0,0166255
Ubus Artic >18t Euro-2	$y=(c+(a \exp(b^x)))$	0,61766131	-0,05492711	0,1386885		
Ubus Artic >18t Euro-5	$y=((e+(a \exp(((1-b)^d x)))+(c \exp(((1-d)^d x))))$	0,15478393	0,059100386	0,4228524	0,291551	0,0180922

8.2. Classificação dos veículos em estudo

Tabela 8.10 – Normas Euro dos veículos ligeiros de passageiros

Norma Euro	Ligeiros de Passageiros	Ligeiros Mercadorias
Pré-Euro	1,373	0,146
Euro 1	4,061	0,467
Euro 2	10,782	2,045
Euro 3	19,343	3,141
Euro 4 e 5	50,679	7,962

Tabela 8.11 – Tipo de combustível e cilindrada dos veículos ligeiros

Tipo de combustível	Nº veículos	Cilindrada	Nº veículos
Gasóleo	1243	Gasóleo c<2,0 l	1003
		Gasóleo c>2,0 l	240
Gasolina	854	Gasolina c<1,4 l	486
		Gasolina 1,4-2,0 l	339
		Gasolina c>2,0 l	29

Tabela 8.12 – Número de veículos da frota de veículos pesados de passageiros da Carris, tendo em conta a tipologia e a norma Euro (Carris, 2010 a).

Tipologia/Norma	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	EEV
Minis	-	36	-	-	-
Médios	-	-	20	-	-
Standard Gasóleo	161	348	-	40	-
Articulados	40	-	-	50	-
Standard Gás Natural	17	-	20	-	20

Tabela 8.13 – Classificação dos veículos da Carris por tipologia e por peso (Carris, 2010 b).

Tipologia	Peso (Toneladas)	nºveículos
Minis	6,0	36
Médios	14,0	20
Articulados	24,3	40
	29,0	50
Standard Gasóleo	18,9	101
	18,6	33
	17,8	40
	17,5	20
	18,2	127
	18,0	209
	18,5	67

Tabela 8.14 - Normas Euro dos motociclos

Norma Euro	% veículos
Pré Euro	3
Euro 1	10
Euro 2	19
Euro 3	16
Euro 4+5	51

Tabela 8.15 – Classificação dos táxis em relação às normas Euro

Dados CML	Nº veículos	%	Dados recolhidos nos 3 pontos de amostragem	Nº veículos	(%)	Dados recolhidos pelos alunos nos 21 pontos de amostragem	Nº veículos	(%)
Pré Euro	100	2,9	Pré Euro	18	2,9	Pré Euro	62	7,7
Euro 1	309	9,0	Euro 1	66	10,7	Euro 1	230	28,5
Euro 2	702	20,4	Euro 2	108	17,5	Euro 2	202	25,1
Euro 3	772	22,4	Euro 3	126	20,5	Euro 3	115	14,3
Euro 4+5	1556	45,2	Euro 4+5	298	48,4	Euro 4+5	197	24,4

8.3. Texto da decisão da CML sobre ZER



- Deliberação n.º 246/CM/2011 (Proposta n.º 246/2011) - Subscrita pelo Vereador Manuel Salgado:

Aprovar o montante referente à revisão de preços da «Empreitada n.º 38/DMPO/DCCE/GVMS/2009 - Reabilitação do edifício municipal do Cine-Teatro do Capitólio, no Parque Mayer (1.ª fase) - Trabalhos preliminares e demolições» - 12/CP/DEPSO/ND/2009

Pelouro: Planeamento e Política de Solos, Licenciamento Urbano, Reabilitação Urbana e Obras.
Serviço: DMPO/DEPSO.

Considerando que:

Por Deliberação da Câmara Municipal de Lisboa, datada de 13 de Janeiro de 2010, exarada na Proposta n.º 27/2010, foi autorizada a adjudicação da «Empreitada n.º 38/DMPO/DCCE/GVMS/2009 - Reabilitação do edifício municipal do Cine-Teatro do Capitólio, no Parque Mayer (1.ª fase) - Trabalhos preliminares e demolições», à empresa Britalar - Sociedade de Construções, S. A., pelo valor de 456 962,92 euros, acrescido de IVA à taxa legal;

Que o preço das empreitadas de obras públicas, por força do disposto no Regime Jurídico das Empreitadas de Obras Públicas (cf. artigo 199.º do Decreto-Lei n.º 59/99, de 2 de Março) deve ser obrigatoriamente objecto de revisão, nos termos das cláusulas inseridas nos contratos, os quais, todavia, deverão subordinar-se aos princípios fundamentais, previstos na lei especial aplicável;

Se encontra apurado o valor da revisão de preços definitiva relativa aos Autos n.ºs 1 a 5 da referida empreitada, representando o mesmo uma despesa de 14 755,99 euros, acrescido de IVA à taxa legal em vigor de 885,36 euros, totalizando 15 641,35 euros;

O parecer técnico da Divisão de Controlo de Empreitadas (cfr. Informação n.º 672/DEPSO/11, de 9 de Março), no qual se consubstanciam as operações materiais de cálculo do valor indicado e que teve por base os elementos constantes dos identificados autos;

Nos termos do n.º 1 do artigo 21.º do Decreto-Lei n.º 197/99, de 8 de Junho, a competência para a autorização da despesa pertence à Câmara Municipal de Lisboa, entidade que autorizou a despesa inicial;

Face a todo o exposto, tenho a honra de propor que a Câmara Municipal delibere:

- Aprovar a despesa resultante da revisão de preços definitiva dos Autos n.ºs 1 a 5, referente à «Empreitada n.º 38/DMPO/DCCE/GVMS/2009 - Reabilitação do edifício municipal do Cine-Teatro do Capitólio, no Parque Mayer (1.ª fase) - Trabalhos preliminares e demolições», no valor de 14 755,99 euros (catorze mil setecentos e cinquenta e cinco euros), acrescido de IVA à taxa de 6%, no valor de 885,36 euros (oitocentos e oitenta e cinco euros e trinta e seis centimos), perfazendo um total de 15 641,35 euros (quinze mil seiscentos e quarenta e um euros e trinta e cinco centimos), com cabimento

na Orgânica 14.02, Rubrica Económica 07.01.03.01.01 do Orçamento em vigor, no âmbito da Acção «Plano de Pormenor e Recuperação do Capitólio», Código C3.01.P003.01 do Plano de Actividades.

(Aprovada por maioria, com 10 votos a favor, 1 voto contra e 6 abstenções.)

- Deliberação n.º 247/CM/2011 (Proposta n.º 247/2011) - Subscrita pelo Vereador Nunes da Silva:

Aprovar a criação de uma Zona de Emissões Reduzidas na Cidade de Lisboa, mediante implementação da sua primeira fase em Julho de 2011 no Eixo Avenida Liberdade/Baixa, e desenvolver o estudo da segunda fase (Expansão da ZER a toda a cidade de Lisboa)

Pelouro: Mobilidade - Vereador Fernando Nunes da Silva.
Serviço: Departamento de Segurança Rodoviária e Tráfego (DSRT/DMP CST).

Considerando que:

- 1 - A Directiva-Quadro n.º 96/62/CE, do Conselho, de 27 de Setembro - relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente - procedeu à fixação dos objectivos relativos à qualidade do ar ambiente destinadas a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente na sua globalidade, definindo também no âmbito da gestão da qualidade do ar ambiente os valores-limite e limiares de alerta para a protecção da saúde humana;
- 2 - A definição das linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar e a transposição para o ordenamento jurídico nacional da Directiva n.º 96/62/CE foi efectuada pelo Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho (alterado pelo Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto);
- 3 - A competência de Gestão e Avaliação da Qualidade do Ar diz respeito às ex-Direcções Regionais do Ambiente (DRA) - actuais Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) - (artigos 3.º, 8.º e 9.º do Decreto-Lei n.º 276/99) e tal como se encontra referido no mesmo artigo 8.º devem estas entidades tomar as medidas necessárias para garantir a observância dos valores limite em todo o território nacional;
- 4 - Actualmente esta competência encontra-se definida nos termos do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 102/2010, de 16 de Setembro, que transpôs para o ordenamento jurídico nacional a Directiva n.º 2008/50/CE, de 21 de Maio, a qual revogou por sua vez a Directiva n.º 96/62/CE, de 27 de Setembro;
- 5 - O Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, alterado pelo Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto, determina, para as zonas onde os níveis de poluentes são superiores aos valores limite, a elaboração de planos de melhoria da qualidade do ar e respectivos programas de execução, destinados a fazer cumprir esses mesmos valores;
- 6 - Dando cumprimento ao disposto no referido decreto-lei, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo elaborou o Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo,

aprovado pela Portaria n.º 715/2008, de 6 Agosto, aplicável às aglomerações da Área Metropolitana de Lisboa Norte, Área Metropolitana de Lisboa Sul e Setúbal, áreas onde se registaram níveis dos poluentes partículas PM10 («PM10») as partículas em suspensão que passam através de um filtro selectivo, definido no método de referência para a amostragem e medição de PM10, norma EN12341, com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 10 µm) e dióxido de azoto (este apenas na primeira das aglomerações referidas) superiores aos valores limite, acrescidos da respectiva margem de tolerância;

7 - De acordo com o disposto no artigo 9.º-B do Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto, a CCDR-LVT procedeu à elaboração do Programa de Execução do PMQAr-RLVT, que foi aprovado pelo Despacho n.º 20 763/2009, de 16 de Setembro, e cuja execução é obrigatória para as entidades identificadas como responsáveis pela aplicação de cada medida, representando, portanto, um compromisso de adopção de todas as medidas nele vertidas (n.º 2 do artigo 9.º-C do mesmo Decreto-Lei);

8 - Nos últimos anos, a cidade de Lisboa tem apresentado concentrações partículas inaláveis (PM10) superiores aos valores limite estabelecidos pela legislação nacional e comunitária para protecção da saúde humana, sobretudo nas zonas de maior tráfego, situação que originou um processo de contencioso contra o Estado Português, tendo a Comissão Europeia intentado recentemente uma acção junto do Tribunal de Justiça Europeu por este incumprimento;

9 - O tráfego automóvel é, no momento presente, a principal causa da degradação da qualidade do ar na cidade de Lisboa, dado que é a principal origem de poluentes prejudiciais à saúde humana;

10 - Uma das medidas propostas no âmbito da gestão e acalmia de tráfego, no Plano e Programa de Melhoria da Qualidade do Ar para a RLVT, foi a introdução de uma Zona de Emissões Reduzidas (ZER) na cidade de Lisboa (medida: M10);

11 - Foi celebrado um Protocolo entre a CCDR-LVT e a Câmara Municipal de Lisboa, a 16 de Setembro de 2008, no sentido de formalizar o compromisso de adopção e implementação das acções propostas no Plano e Programa de Melhoria da Qualidade do Ar (Região LVT), cuja entidade responsável é o Município de Lisboa (autoridade local), e que mais tarde vieram a integrar o respectivo Programa de Execução;

12 - Tendo em vista a implementação desta medida foi criado um grupo de trabalho específico, coordenado pela CCDR-LVT, em que participaram o Gabinete do Secretário de Estado do Ambiente; a ANSR; o IMTT; a Câmara Municipal de Lisboa e Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, enquanto assessora técnica. Foram também consultadas as associações de representantes dos sectores afectados, nomeadamente ANTRAM, ANTROP, Carris, Federação Portuguesa do Táxi e ANTRAL;

13 - No referido Protocolo, entre outras medidas, o Município compromete-se a implementar uma ZER na cidade de Lisboa - área onde só podem circular veículos com determinadas características específicas no que diz respeito à emissão de poluentes de acordo com a norma europeia de emissões considerada [Normas EURO (Directiva Comunitária n.º 91/441/CEE, transposta para o ordenamento jurídico nacional pelas Portarias n.º 906/92, de 21/09; n.º 656/93, de 12/07; n.º 58/94, de 25/01 e n.º 517-A/96,

de 27/09 (<http://siddamb.apambiente.pt/publico/documentoPublico.asp?documento=418&versao=1>). Para cada tipo de veículo estão definidas as datas de fabrico dos mesmos e que permitem determinar que Norma Euro cumprem - Anexo II.a.] - que deverá abranger diversas tipologias de veículos (pesados de passageiros, pesados de mercadorias e veículos ligeiros) e ter uma implementação faseada, consoante a tipologia dos veículos, o seu desempenho ambiental e a abrangência geográfica da medida.

Considerando, ainda, que:

14 - Com a transferência da tutela do processo da ZER, do Pelouro do Ambiente e Espaços Verdes para o Pelouro da Mobilidade a 20 de Janeiro de 2011 (Anexo IV), foram encetadas novas diligências com o grupo de trabalho coordenado pela CCDR-LVT no sentido de operacionalizar a implementação da primeira fase da ZER [Eixo Avenida da Liberdade/Baixa (Protocolo CCDR-LVT/CML, 16 de Setembro - Ponto 5: «A situação mais crítica tem sido registada na estação de monitorização da qualidade do ar da Avenida da Liberdade, onde os valores limite, diário e anual, para as partículas inaláveis (PM10), têm sido sistematicamente excedidos desde 2001.»] e proceder ao estudo da 2.ª fase (que irá abranger toda a cidade de Lisboa);

15 - Após as diligências referidas no ponto anterior, acordou-se na implementação de uma 1.ª fase que, embora menos restritiva do que tinha sido anteriormente acordado, constituiria o arranque do processo de cumprimento da legislação nacional e comunitária neste domínio;

16 - Deste modo, a 1.ª fase de implementação da ZER compreenderia a restrição de circulação de veículos que não cumpram a norma de emissão «EURO I» [veículos construídos antes de Julho de 1993 e que não disponham de catalisador - Anexo II.a), das 8 às 20 horas dos dias úteis, na zona do eixo da Avenida da Liberdade/Baixa (de acordo com os limites definidos no Anexo I - Limite Norte: Rua Alexandre Herculano; Limite Sul: Praça do Comércio, compreendendo a zona entre o Cais do Sodré e o Campo das Cebolas. Admitindo-se no entanto os atravessamentos desta zona entre a Rua das Pretas e a Praça da Alegria, e na Rua da Conceição, como ligações entre colinas;

17 - A respectiva interdição proposta (1.ª fase) admitirá excepções, em função da natureza da actividade ou titularidade dos veículos, designadamente: veículos das empresas de transporte público; veículos de emergência, especiais e de pessoas com mobilidade reduzida; veículos históricos (certificados pelas entidades oficiais e de acordo com o Despacho n.º 10298/2001, de 26 Abril); veículos pertencentes a residentes nas Zonas de Estacionamento de Duração Limitada (ZEDL) n.ºs 5, 12 e 13 (posse de dístico de residente ou comerciante das ZEDL n.ºs 5, 12 e 13);

18 - A fiscalização será realizada pelas entidades policiais competentes, mediante verificação da matrícula e documento único automóvel; dístico de residente das zonas identificadas no ponto anterior e certificado oficial de «veículo de interesse histórico». Em função dos acordos a estabelecer com o IMTT, espera-se que, no futuro próximo, a fiscalização possa ser realizada através da observação directa da cor do «selo de inspecção» que terá diferentes tonalidades consoante a «Norma Euro» que o veículo cumpre.



Tenho a honra de propor que a Câmara Municipal de Lisboa delibere aprovar, nos termos e para os efeitos da alínea *h)* do n.º 2 do artigo 64.º da Lei n.º 169/99, de 18 de Setembro, atentos ao disposto na alínea *f)* do n.º 4, e na alínea *b)* do n.º 7, ambos da mesma disposição legal:

- a)* Proceder à implementação da primeira fase da Zona de Emissões Reduzidas (ZER) da cidade de Lisboa, no eixo da Avenida da Liberdade / Baixa, a partir de 4 de Julho de 2011, de acordo com os limites definidos no Anexo I;
- b)* Que a ZER em causa funcione das 8 às 20 horas nos dias úteis, período no qual se concentram as deslocações e emissões provenientes do tráfego rodoviário, traduzindo-se na restrição de circulação de veículos que não cumpram a norma de emissão «EURO I»;
- c)* Que nesta 1.ª fase da ZER fiquem excluídos das restrições à circulação propostas os seguintes tipos de veículos e utilizadores: veículos das empresas de transporte público;

veículos de emergência, especiais e de pessoas com mobilidade reduzida; veículos históricos (certificados pelas entidades oficiais e de acordo com o Despacho n.º 10 298/2001, 26 Abril); veículos pertencentes aos residentes nas Zonas de Estacionamento de Duração Limitado (ZEDL) n.ºs 5, 12 e 13 (posse de dístico de residente das ZEDL n.ºs 5, 12 e 13);

- d)* O desenvolvimento do estudo da segunda fase, que alargará a Zona de Emissões Reduzidas aos limites da cidade de Lisboa (com excepção de algumas vias estruturantes de acordo com a definição de Janeiro de 2012), e cujos termos específicos da sua implementação serão objecto de nova proposta submetida a votação do Executivo antes do fim do ano de 2011.

(Aprovada por maioria, com 15 votos a favor e 2 votos contra.)

8.4. Mapas de Zonas de Emissões reduzidas em países europeus

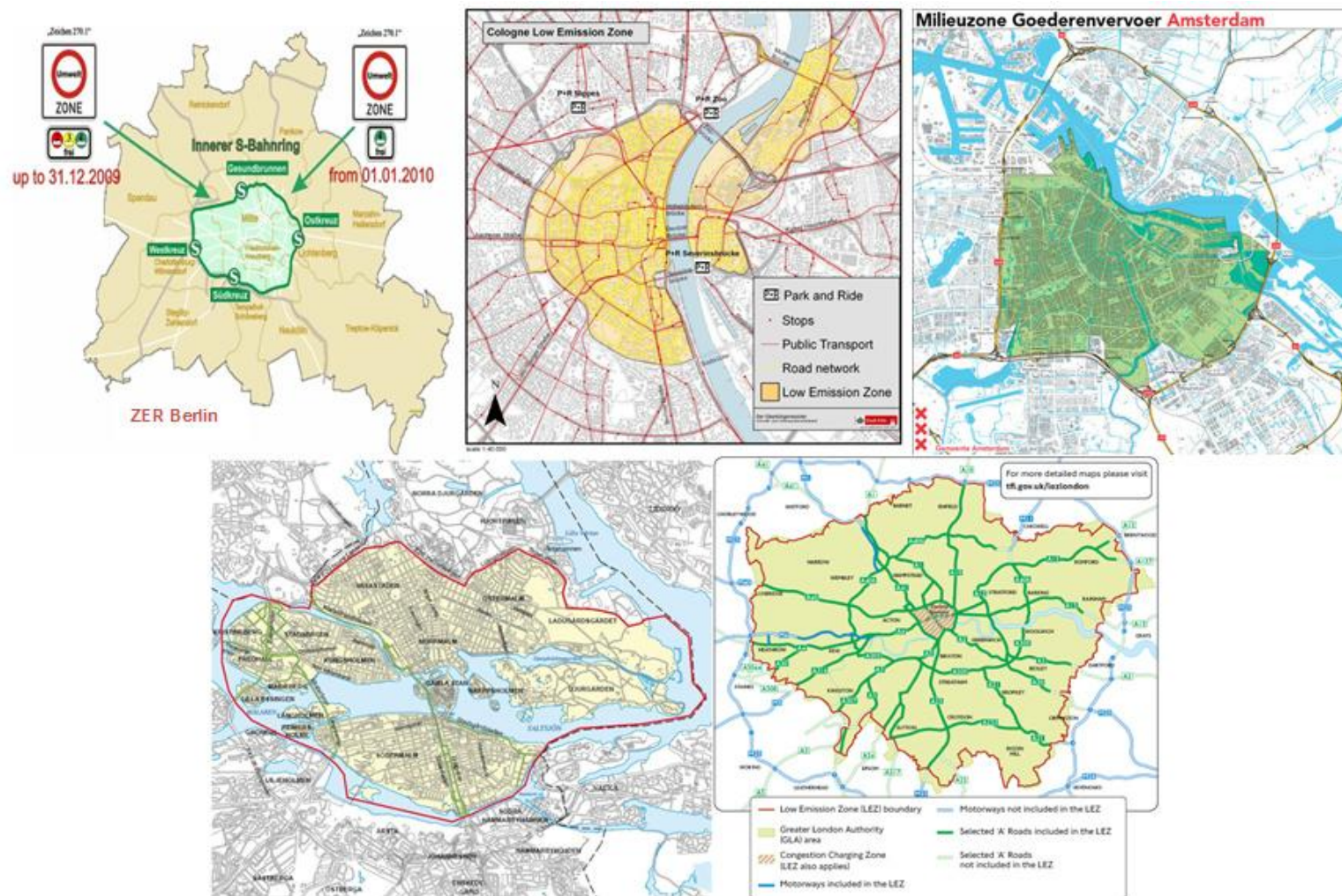


Figura 8.4 - Mapas de algumas ZER implementadas em cidades europeias (EU, 2012).