



**Catarina Moitoso de  
Sousa**

**Avaliação de Estratégias de Controlo da Poluição  
Atmosférica**





**Catarina Moitoso de  
Sousa**

## **Avaliação de Estratégias de Controlo da Poluição Atmosférica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Isabel Miranda, Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e sob a coorientação da Doutora Joana Ferreira, Estagiária de Pós Doutoramento do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Apoio Financeiro do FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade (COMPETE) e por Fundos Nacionais através da FCT do PTDC no âmbito dos Projetos MAPLIA (PTDC/AAG-MAA/4077/2012) e CLICURB (EXCL/AAG-MAA/0383/2012).



## **o júri**

presidente

**Doutora Filomena Maria Cardoso Pedrosa Ferreira Martins**  
Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

vogais

**Doutora Oxana Anatclievna Tchepel**  
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

**Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**  
Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

As primeiras palavras de agradecimento são dirigidas à Professora Doutora Ana Isabel Miranda e à Doutora Joana Ferreira, pela sua orientação e apoio ao longo destes meses...

Ao Hélder Relvas e à Laura Duque, por toda a disponibilidade em partilhar os seus conhecimentos e experiência! E ainda ao Carlos Silveira e Carla Gama, pela ajuda prestada...

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos e afilhada que mesmo longe, no meio do Atlântico, sempre foram uma fonte de força e inspiração! Por todos os telefonemas e mensagens de apoio, porque mesmo longe mostraram-se presentes...

Aos meus amigos, Raquel, Rodrigo e Tiago por estes cinco anos de companheirismos, por todas as batalhas e todas as horas em que nos apoiamos, sem eles esta etapa não teria sido a mesma coisa...

A todos os que contribuíram para a concretização e conclusão deste trabalho, especialmente à Vera, à Diana e à Lívia...

Ao André, por tudo! Pelo apoio, ajuda, força e por sempre ter acreditado...

*... Obrigada!*





## palavras-chave

Planos de Qualidade do Ar; Medidas de Melhoria; Aglomeração Porto Litoral, Partículas; Dióxido de Azoto; Modelo TAPM.

## resumo

A Qualidade do Ar na União Europeia (UE) tem vindo a melhorar nos últimos anos, no entanto esta melhoria não é suficiente para que todas as zonas e aglomerações cumpram os requisitos da Diretiva Quadro da Qualidade do Ar. Esta Diretiva define a obrigatoriedade de serem elaborados Planos de Qualidade do Ar (PQA) para as zonas e aglomerações onde os valores limite e alvo excedam os definidos na legislação, visando a melhoria da qualidade do ar.

Verificou-se que as partículas (PM<sub>10</sub>) e o dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) são os poluentes que mais frequentemente excedem os valores limite, levando à elaboração da maioria dos PQA na UE. Estes planos focam as medidas de melhoria da qualidade do ar nos setores dos transportes, indústria e combustão residencial.

É no contexto dos PQA que surge a presente dissertação, que tem como objetivo a avaliação de medidas de melhoria da qualidade do ar, estabelecidas no âmbito de PQA da região do Porto. Pretende-se avaliar o impacto de medidas selecionadas nas emissões e na qualidade do ar na aglomeração do Porto Litoral, recorrendo à aplicação do modelo de qualidade do ar TAPM (*The Air Pollution Model*).

A aglomeração do Porto Litoral segue a tendência verificada na UE, pois apesar das melhorias nos últimos anos, ainda são verificadas excedências. Os poluentes mais críticos nesta aglomeração são as PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>, com origem nos setores dos transportes, indústria e, combustão comercial e residencial. O modelo TAPM foi aplicado ao cenário de referência e a dois cenários de redução: introdução de veículos híbridos e substituição de depoeiradores nas fontes industriais. Os resultados obtidos para os cenários, em comparação com a situação de referência, permitiram avaliar a eficiência das medidas para a melhoria da qualidade do ar da área de estudo.

Concluiu-se que as medidas testadas não permitem resolver os problemas de qualidade do ar identificados no cenário de referência, pelo que seriam necessárias medidas adicionais ou mais exigentes.



**keywords**

Air Quality Plans; Improvement measures; Porto Litoral Agglomeration; Particulate Matter; Nitrogen Dioxide; Model TAPM.

**abstract**

The Air Quality in the European Union (EU) has improved in the last years; however this improvement is not sufficient so that all areas and agglomerations fulfill the norms of the Air Quality Framework Directive. This Directive defines the obligation to elaborate Air Quality Plans (AQP) for the areas and agglomerations where limit or target values exceed the values established by law, seeking to set measures to improve air quality.

It was found that the particles (PM<sub>10</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) are the pollutants that most frequently exceed the limit value, originating the development of the AQP in the EU. These plans focus on measures to improve air quality in the transport, industry and residential combustion sectors.

This dissertation emerges in the context of the AQP and intends to evaluate the air quality improvement measures established in the AQP for the Porto Region. It is intended to assess the impact of selected measures on emissions and air quality in the agglomeration of Porto Litoral, by applying the air quality model TAPM (The Air Pollution Model).

The Porto Litoral agglomeration follows the European trend line, where despite the improvements verified in the last years, there are still some exceedances. The most critical pollutants in this agglomeration are PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub>, emitted by the transport, industry and, commercial and residential combustion sectors. The TAPM model was applied to the reference and to two reduction scenarios: introduction of hybrid vehicles and replacement of dust extractors in industrial sources. The results obtained from the scenarios, compared to the reference one, allowed us to evaluate the effectiveness of measures to improve air quality in the study area.

We can conclude that the two tested measures will not solve the air quality problems identified in the reference scenario, therefore it would be necessary to implement additional or more stringent measures.



# ÍNDICE

<b>1.</b>	Introdução.....	1
<b>2.</b>	Planos de Melhoria da Qualidade do Ar.....	5
2.1	Planos de Qualidade do Ar na União Europeia.....	5
2.2	Planos de Qualidade do Ar em Portugal.....	9
2.2.1	Plano de Qualidade do Ar da Região Norte.....	10
2.2.2	Plano de Qualidade do Ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo.....	11
2.2.3	Plano de Qualidade do Ar na Região Centro.....	12
2.3	Lista de medidas de melhoria da qualidade do ar.....	13
<b>3.</b>	Caso de Estudo – Aglomeração Porto Litoral.....	17
3.1	O Porto Litoral.....	17
3.2	Emissões atmosféricas.....	19
3.3	Avaliação da qualidade do ar.....	22
3.4	Medidas de melhoria da qualidade do ar.....	28
3.4.1	Introdução de veículos híbridos.....	28
3.4.2	Substituição de despoeiradores nas fontes industriais.....	30
<b>4.</b>	Avaliação do Impacto das Medidas na Qualidade do Ar.....	33
4.1	O Modelo TAPM.....	33
4.2	Condições de aplicação.....	35
4.3	Resultados.....	40
4.3.1	Cenário de referência.....	40
4.3.2	Cenários de redução.....	51
<b>5.</b>	Síntese Conclusiva.....	57
	Referências Bibliográficas.....	59



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Percentagem da população urbana da UE exposta a concentrações de poluentes em níveis superiores aos padrões de qualidade do ar (EEA, 2013).....	1
Figura 2 – Distribuição das concentrações anuais de PM10 (a) e NO <sub>2</sub> (b) em µg/m <sup>3</sup> , na UE para o ano 2012 (Adaptado de URL 1). .....	6
Figura 3 – Número de PQA elaborados por poluente nas 20 regiões / aglomerações consideradas no artigo de Miranda et al. (2015). .....	8
Figura 4 – Contribuição percentual dos diferentes setores de atividade para as emissões atmosféricas de PM10 (a) e NO <sub>2</sub> (b), no ano de 2012, em Portugal. Adaptado: (APA, 2011, 2015). .....	10
Figura 5 – Zonas e aglomerações da Região Norte e localização das estações de qualidade do ar (CCDR-N, 2012). .....	18
Figura 6 – Contribuição percentual dos diferentes setores de atividade para as emissões atmosféricas de PM10 (a) e NO <sub>x</sub> (b), no ano 2012, na aglomeração Porto Litoral. Adaptado: (APA, 2011, 2015). .....	20
Figura 7 – Distribuição das emissões atmosféricas (t) de PM10 (a) e NO <sub>x</sub> (b), provenientes da combustão industrial, processos de produção e transportes, pelos concelhos do Porto Litoral, para o ano 2012 Adaptado (APA, 2011, 2015). .....	21
Figura 8 – Variação das concentrações anuais de PM10 (µg/m <sup>3</sup> ) nas estações urbanas de fundo, suburbanas de fundo, urbanas de tráfego e suburbana industrial. ....	24
Figura 9 – Variação das concentrações anuais de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) nas estações urbanas de fundo, suburbanas de fundo, urbanas de tráfego e suburbana industrial. ....	25
Figura 10 – Número de ultrapassagens ao valor limite diário de PM10, entre 2004 a 2013 (a linha a vermelho representa o número máximo de ultrapassagens por ano permitidas pela legislação - 35). .....	27
Figura 11 – Número de ultrapassagens ao valor limite horário de NO <sub>2</sub> , entre 2004 a 2013 (a linha a vermelho representa o número máximo de ultrapassagens por ano permitidas pela legislação - 18). .....	27
Figura 12 – Imagem ilustrativa de um filtro de mangas (Fonte: URL 3). .....	31
Figura 13 – Representação esquemática do modelo TAPM (Coutinho et al., 2007). .....	34
Figura 14 – Domínio de simulação 80 km x 80 km. ....	36
Figura 15 – Localização das fontes em área / volume no domínio de simulação 80 km x 80 km. ....	36

Figura 16 – Representação das oito fontes pontuais no domínio de simulação 80 km x 80 km. ....	37
Figura 17 – Emissões (em t/km) de PM10 (a) e NOx (b), para o cenário de referência. ...	38
Figura 18 – Emissões de PM10 (t), provenientes do SNAP 3 (a), SNAP 4 (c) e SNAP 7 (e) e emissões de NOx (t) provenientes do SNAP 3 (b), SNAP 4 (d) e SNAP 7 (f), para o cenário de referência.....	40
Figura 19 – Evolução temporal das concentrações médias diárias de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medidas e simuladas com o TAPM para as estações FSC (a), AVI (b), PER (c). ....	42
Figura 20 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medidas e simuladas com o TAPM para as estações FSC (a), AVI (b) e VER (c). ..	43
Figura 21 – Parâmetros estatísticos calculados para médias diárias de PM10 (a linha verde representa o valor mínimo (V. Min) e a linha azul o valor máximo (V. Máx), apresentados na Tabela 7).....	46
Figura 22 – Parâmetros estatísticos calculados para médias horárias NO <sub>2</sub> (a linha verde representa o valor mínimo (V. Min) e a linha azul o valor máximo (V. Máx), apresentados na Tabela 7).....	47
Figura 23 – Concentrações médias anuais medidas e simuladas de PM10 (a) em base diária ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e NO <sub>2</sub> (b) em base horária ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (a linha vermelha representa valor limite anual de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	49
Figura 24 – Concentrações anuais ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simuladas de PM10 (a) e NO <sub>2</sub> (b), para o cenário de referência e concentrações médias medidas nas estações de monitorização da qualidade do ar, para o ano 2012. ....	50
Figura 25 – Concentrações anuais de PM10 (a) e NO <sub>2</sub> (c) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e respetiva percentagem de redução (b) e (d) resultante da diferença entre o cenário de referência e cenário de redução relativo à introdução de veículos híbridos. ....	52
Figura 26 – Concentrações anuais de PM10 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e respetiva percentagem de redução resultante da diferença entre o cenário de referência e cenário de redução relativo à substituição de depoeiradores nas fontes indústrias. ....	53
Figura 27 – Concentrações anuais de PM10 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e respetiva percentagem de redução resultante da aplicação da medida dos híbridos e da indústria. ....	54



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores limite para a proteção da saúde humana definidos no Anexo XI e valor alvo relativo à proteção da saúde humana para o O <sub>3</sub> definido no Anexo VII, da Diretiva 2008/50/CE.....	3
<i>Tabela 2 – PQA das regiões / aglomerações com excedências aos valores limite verificadas em determinados poluentes nos EM. Adaptado: (A. Miranda et al., 2015)</i> .....	7
Tabela 3 – Lista de medidas de melhoria da qualidade do ar, classificadas em técnicas e não técnicas. ....	14
Tabela 4 – Características das estações da qualidade do ar da Aglomeração Porto Litoral (CCDR-N, 2011). ....	23
Tabela 5 – Datas de introdução das normas Euro para veículos, adaptado de EEA (2010). ....	28
Tabela 6 – Níveis de emissão de poluentes permitidos para veículos ligeiros (gkm <sup>-1</sup> ). Adaptado de (DieselNet, 2015).....	29
Tabela 7 – Gama de desempenho para os parâmetros estatísticos (Correia, 2012).....	45



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### Abreviaturas:

ACAP	Associação Automóvel de Portugal
AEA / EEA	Agência Europeia do Ambiente / European Environment Agency
AML	Área Metropolitana de Lisboa
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BIAS	Erro Sistemático Médio
BTX	Benzeno, Tolueno, Xilenos
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CLRTAP	Convenção sobre a Poluição Atmosférica transfronteiriça a Longas Distâncias
EM	Estados Membros
E-PRTR	The European Pollutant Release and Transfer Register
IEA	International Energy Agency
IMT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes
INE	Instituto Nacional de Estatística
INERPA	Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
MAPLIA	Moving from Air Pollution to Local Integrated Assessment
O	Valores medidos
OMS / WHO	Organização Mundial de Saúde / World Health Organization
P	Valores estimados
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
PM10	Partículas de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm
PM2,5	Partículas de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 µm
PNAC	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
PQA	Planos de Qualidade do Ar
PTEN	Programa de Tetos de Emissão Nacionais
r	Coeficiente de correlação
RMQA	Rede de Monitorização da Qualidade do Ar
RMSE	Erro Quadrático Médio
SNAP	Selected Nomenclature for Air Pollution
TAPM	The Air Pollution Model

EU / UE	União Europeia / European Union
VL	Valor limite

**Símbolos:**

$\sigma_0$	Desvio padrão dos valores observados
$\sigma_P$	Desvio padrão dos valores simulados
$\bar{O}$	Média dos valores medidos
$\bar{P}$	Média dos valores estimados

**Símbolos Químicos:**

C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benzeno
CO	Monóxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Azoto
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Azoto
O <sub>3</sub>	Ozono
Pb	Chumbo
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre

# 1. INTRODUÇÃO

*“A poluição atmosférica tem efeitos nefastos para a saúde. Reduz, em média, a nossa esperança de vida em mais de oito meses, ou mesmo em mais de dois anos nas cidades e regiões mais poluídas. É indispensável que os Estados-Membros cumpram rapidamente as normas da União Europeia em matéria de qualidade do ar e reduzam as respetivas emissões de poluentes atmosféricos.”*

Janez Potočnik (2013), Comissário Europeu do Ambiente

Apesar das consideráveis melhorias nas últimas décadas, a Europa ainda está longe de atingir níveis de qualidade do ar que não apresentem riscos para os seres humanos e para o ambiente (EEA, 2014). A Agência Europeia do Ambiente (AEA), no relatório sobre a qualidade do ar na Europa (EEA, 2014) afirma que 64% da população urbana da União Europeia (UE), em 2012, esteve exposta a níveis elevados de PM<sub>10</sub> (partículas de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm). A Figura 1 apresenta a percentagem de população urbana na UE exposta a concentrações de poluentes superiores aos definidos na legislação, para o período temporal de 2002 a 2011 (EEA, 2013).

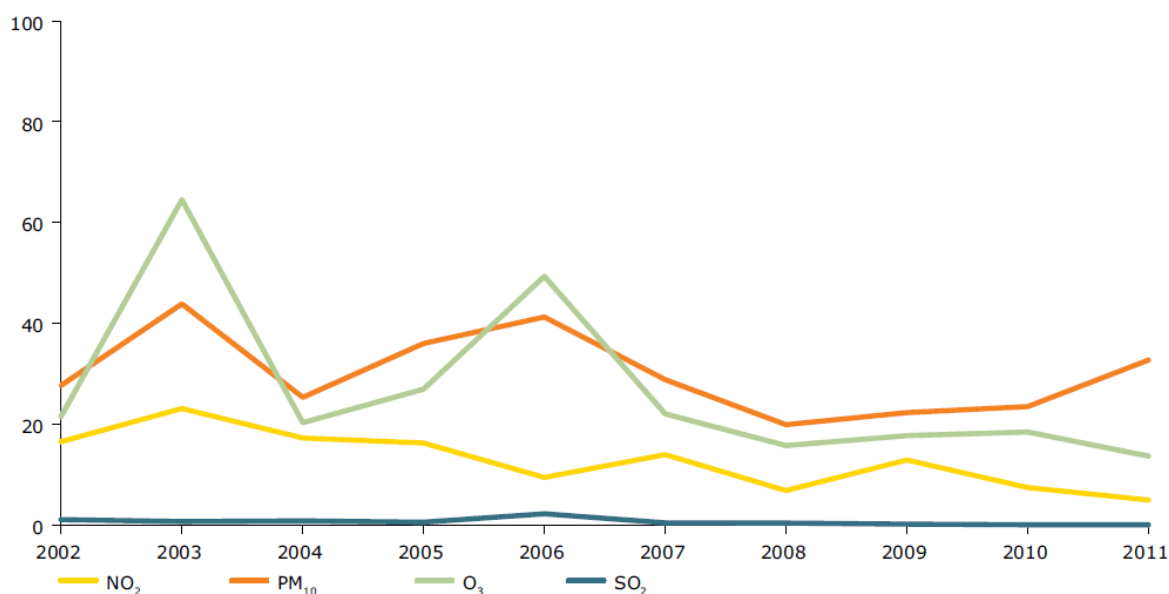


Figura 1 – Percentagem da população urbana da UE exposta a concentrações de poluentes em níveis superiores aos padrões de qualidade do ar (EEA, 2013).

A evolução ao longo do tempo indica que a exposição ao dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ) manteve-se mais ou menos estável, não ultrapassando os 22% de população urbana exposta. Registaram-se variações mais acentuadas para partículas ( $\text{PM}_{10}$ ) e ozono ( $\text{O}_3$ ), variando a população exposta a níveis de  $\text{PM}_{10}$  elevados entre os 22% e os 44% e para o  $\text{O}_3$  entre os 20% e os 62%, atingindo máximos em 2003 e 2006.

A exposição a níveis de poluição muito elevados provoca o aumento do risco de doenças cardiopulmonares e a diminuição da esperança média de vida, em um ou mais anos para a população urbana europeia (WHO, 2004). No ano de 2010, a má qualidade do ar provocou a morte prematura a 400 000 europeus (EC, 2013).

A UE tem a preocupação de estabelecer obrigações legais, com o objetivo de melhorar a qualidade do ar no seu território. A Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio, relativa a qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, define padrões de qualidade do ar ambiente, estabelecendo valores limite (nível fixado com base em conhecimentos científicos com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e no ambiente na sua globalidade, a atingir num prazo determinado e que, quando atingido, não deve ser excedido) e alvo (nível fixado com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e no ambiente na sua globalidade, a atingir, na medida do possível, num prazo determinado) para os seguintes poluentes: dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ), óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), partículas em suspensão ( $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2,5}$ ), benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), chumbo ( $\text{Pb}$ ) e ozono ( $\text{O}_3$ ). Na Tabela 1 apresentam-se os valores estabelecidos pela Diretiva.

Tabela 1 – Valores limite para a proteção da saúde humana definidos no Anexo XI e valor alvo relativo à proteção da saúde humana para o O<sub>3</sub> definido no Anexo VII, da Diretiva 2008/50/CE.

Poluente	Valor limite	Valor alvo	Média temporal	Frequência anual permitida de valores excedentes
SO <sub>2</sub>	125 µg/m <sup>3</sup> 350 µg/m <sup>3</sup>	-	Um dia Uma hora	3 24
NO <sub>2</sub>	40 µg/m <sup>3</sup> 200 µg/m <sup>3</sup>	-	Ano civil Uma hora	- 18
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5 µg/m <sup>3</sup>	-	Ano civil	-
CO	10 mg/m <sup>3</sup>	-	Máximo diário das médias de oito horas	-
Pb	0,5 µg/m <sup>3</sup>	-	Ano civil	-
PM10	40 µg/m <sup>3</sup> 50 µg/m <sup>3</sup>	-	Ano civil Um dia	- 35
O <sub>3</sub>	-	120 µg/m <sup>3</sup>	Valor máximo das médias octo-horárias, calculadas por períodos consecutivos de oito horas	25 dias, em média, por ano civil, num período de três anos

A Diretiva Quadro da Qualidade do Ar estabelece a obrigatoriedade dos Estados Membros (EM) assegurarem a elaboração de Planos de Qualidade do Ar (PQA) para as zonas e aglomerações populacionais em que o valor limite e alvo são excedidos. Esta Diretiva define zona como, “uma parte do território de um EM delimitada por esse EM para fins de avaliação e gestão da qualidade do ar”. Por sua vez, aglomeração é “uma zona que constitui uma conurbação com uma população superior a 250 000 habitantes ou, caso a população seja igual ou inferior a 250 000 habitantes, com uma densidade populacional por quilómetro quadrado a estabelecer pelos EM”. Nos anos anteriores à entrada em vigor da atual Diretiva Quadro os PQA designavam-se por Planos e Programas.

O Decreto-Lei n.º 102/2010, 23 de Setembro, transpôs para a ordem jurídica interna a Diretiva, fixando os objetivos para a qualidade do ar ambiente. O Decreto-Lei atribui determinadas competências às CCDR (Comissões de Coordenação de Desenvolvimento Regional), nomeadamente:

- Elaborar listas das zonas e aglomerações onde as concentrações de um ou mais poluentes sejam superiores aos valores limite ou ao valor limite acrescido de uma

margem de tolerância (reduzida ao longo dos anos até ao ano de cumprimento final do valor limite, em que a margem de tolerância se torna nula) (Artigo 5º do Decreto-Lei n.º 102/2010);

- Elaborar PQA para as zonas e aglomerações da sua área de abrangência que excedam os valores limite ou alvo. Estes planos devem ser integrados, abrangendo todos os poluentes em questão, incluindo medidas adequadas que promovam a melhoria da qualidade do ar (Artigo 5º do Decreto-Lei n.º 102/2010).

Para cada PQA é elaborada a respetiva proposta de programa de execução (Artigo 25º do Decreto-Lei n.º 102/2010), da qual consta uma seleção e caracterização das medidas do PQA que devem ser adotadas, a definição das ações a realizar para a sua concretização, a calendarização das mesmas, a identificação das entidades responsáveis pela sua execução e os indicadores de avaliação da respetiva eficácia. Após a aprovação do programa de execução, as medidas que dele constem são de execução obrigatória por parte das entidades identificadas como responsáveis.

O objetivo desta dissertação consiste na avaliação de medidas de melhoria da qualidade do ar estabelecidas no âmbito de PQA da região do Porto, para selecionar e testar, do ponto de vista de eficiência, as medidas que contribuam para a melhoria da qualidade do ar na aglomeração do Porto Litoral. Esta está integrada no projeto de investigação MAPLIA – *Moving from Air Pollution to Local Integrated Assessment*, que visa implementar e testar um modelo de avaliação integrada, que permita a avaliação custo-eficaz de cenários, compostos por conjuntos de medidas de melhoria da qualidade do ar. O projeto tem como área de estudo a aglomeração do Porto Litoral.

Este documento está organizado em cinco capítulos, iniciando-se com a introdução ao tema e o objetivo da dissertação. No capítulo 2 são apresentados PQA, descrevendo os poluentes que frequentemente excedem os valores limite, principais setores que levam à sua emissão e medidas normalmente definidas nos planos para redução de emissões de poluentes. O capítulo 3 é dedicado à caracterização da aglomeração do Porto Litoral, em termos de emissões e de qualidade do ar nos últimos anos. Devido às excedências aos valores limite e à necessidade de melhorar a qualidade do ar, neste capítulo são apresentadas medidas de melhoria da qualidade do ar. O capítulo 4 apresenta avaliação dos impactes na qualidade do ar, resultantes da simulação das medidas recorrendo a um modelo de qualidade do ar. Finalmente, no capítulo 5 é feita uma síntese do trabalho desenvolvido.



## 2. PLANOS DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR

Devido às excedências aos valores limite de determinados poluentes, os EM são obrigados a elaborar PQA em determinadas zonas e aglomerações. Destes planos constam medidas de melhoria da qualidade do ar, que visão a redução das concentrações de poluentes no ar ambiente. Portugal não sendo exceção tem elaborado PQA para algumas zonas e aglomerações que apresentam excedências para poluentes como PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

Neste capítulo são apresentados genericamente os PQA existentes na UE, especificando os que existem em Portugal; e ainda a lista de medidas elaborada no âmbito da presente dissertação, que conta com medidas analisadas a partir de quatro planos e direcionadas para os problemas de qualidade do ar da aglomeração do Porto Litoral.

### 2.1 PLANOS DE QUALIDADE DO AR NA UNIÃO EUROPEIA

Diversas zonas e aglomerações na UE registam elevadas concentrações de poluentes atmosféricos que levam a elaboração PQA. A Figura 2 apresenta a distribuição das concentrações anuais de PM<sub>10</sub> e de NO<sub>2</sub> em µg/m<sup>3</sup> no ano 2012. As PM<sub>10</sub> são partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm, designadas como partículas “grosseiras”, por sua vez as partículas “finas” são aquelas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>) (Seinfeld & Pandis, 1998). O NO<sub>2</sub> pertence a uma família de gases muito reativos designados por óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), composta por NO<sub>2</sub> e óxido de azoto (NO) (Seinfeld & Pandis, 1998). Ambos os poluentes tem efeitos na saúde humana (Ferreira, 2007; WHO, 2004).

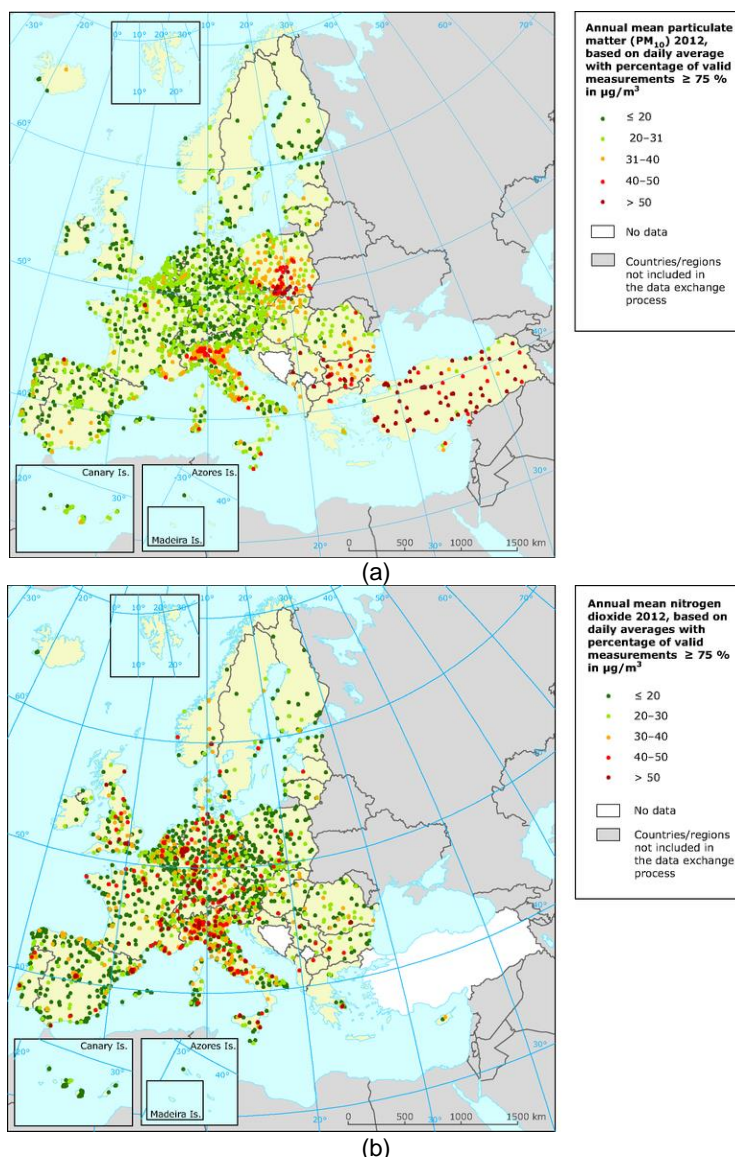


Figura 2 – Distribuição das concentrações anuais de PM<sub>10</sub> (a) e NO<sub>2</sub> (b) em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , na UE para o ano 2012 (Adaptado de URL 1).

O valor limite anual para PM<sub>10</sub>, no ano 2012, foi cumprido na maioria dos EM, no entanto países como a Itália excederam o valor legislado, sendo de referir que para este poluente os valor limite diário é mais frequentemente ultrapassado. Relativamente ao NO<sub>2</sub>, no ano 2012, o valor limite foi ultrapassado na maioria dos EM, com exceção da Estónia e da Irlanda (EEA, 2014), tal como se pode observar na Figura 2 (b). Na sequência das excedências aos valores limite de poluentes, os EM têm elaborado PQA com o objetivo reduzir a concentração destes no ar ambiente.

Neste sentido é importante fazer uma análise ao trabalho desenvolvido pelos EM a nível de PQA, fazendo uma revisão dos planos existentes, nomeadamente dos

principais poluentes que excedem os valores limite e das medidas adotadas para reduzir as emissões de poluentes e melhorar a qualidade do ar.

Nagl et al. (2006) elaboraram uma revisão geral dos planos e programas submetidos à Comissão Europeia até Dezembro de 2005. No seguimento deste trabalho e no âmbito do projeto de investigação MAPLIA, Miranda et al. (2015) efetuaram uma análise a PQA, com o objetivo de rever o tipo de avaliação à qualidade do ar e as ferramentas de modelação utilizadas pelos EM. Com base nos PQA revistos por Nagl et al. (2006) e por Miranda et al. (2015) selecionaram-se 20 planos, cujas características principais se apresentam na Tabela 2.

*Tabela 2 – PQA das regiões / aglomerações com excedências aos valores limite verificadas em determinados poluentes nos EM. Adaptado: (A. Miranda et al., 2015)*

<b>EM</b>	<b>Região / Aglomeração</b>	<b>Poluentes</b>
<b>Alemanha</b>	Berlim	NO <sub>x</sub> , PM10
<b>Bélgica</b>	Antuérpia	NO <sub>2</sub> , PM10, PM2,5, SO <sub>2</sub> , CO
<b>Dinamarca</b>	Copenhaga, Aalborg, Aarhus e Odense	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, Outros
<b>Espanha</b>	Área metropolitana de Barcelona	NO <sub>2</sub> , PM10
	Madrid	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , Outros
<b>França</b>	Marselha e Arles	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM, SO <sub>2</sub> , CO
<b>Grécia</b>	Atenas	NO <sub>x</sub> , COVNM
<b>Holanda</b>	Várias regiões	NO <sub>x</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , Outros
<b>Irlanda</b>	Várias regiões	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, PM2,5, SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , COV, Outros
<b>Itália</b>	Várias regiões	NO <sub>x</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , Hidrocarbonetos, Metais pesados, Outros
<b>Letónia</b>	Riga	NO <sub>2</sub> , PM10, PM2,5
<b>Malta</b>	Ilha de Malta	PM10, NO <sub>2</sub>
<b>Polónia</b>	Várias regiões	PM, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO
<b>Portugal</b>	Região Norte	NO <sub>2</sub> , PM10
	Aglomeração de Braga	PM10
	Região de Lisboa e Vale do Tejo	NO <sub>2</sub> , PM10, SO <sub>2</sub>
<b>Reino Unido</b>	Londres	NO <sub>2</sub> , PM10
	Manchester	NO <sub>2</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , CO
<b>Roménia</b>	Bucareste	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , CO
<b>Suécia</b>	Estocolmo	NO <sub>x</sub> , PM10, CO <sub>2</sub>

Algumas das regiões / aglomerações alvo de PQA apenas registam excedências para um ou dois poluentes, como é o caso de Berlim, Atenas, Ilha de Malta, Região Norte de Portugal, Área metropolitana de Barcelona e Londres. Por outro lado, existem regiões / aglomerações que excedem os valores da legislação para mais poluentes, nomeadamente a Antuérpia, Marselha e Arles, Bucareste, Madrid e Manchester.

A Figura 3 apresenta o número de vezes que as excedências de um determinado poluente resultaram na elaboração de um PQA.

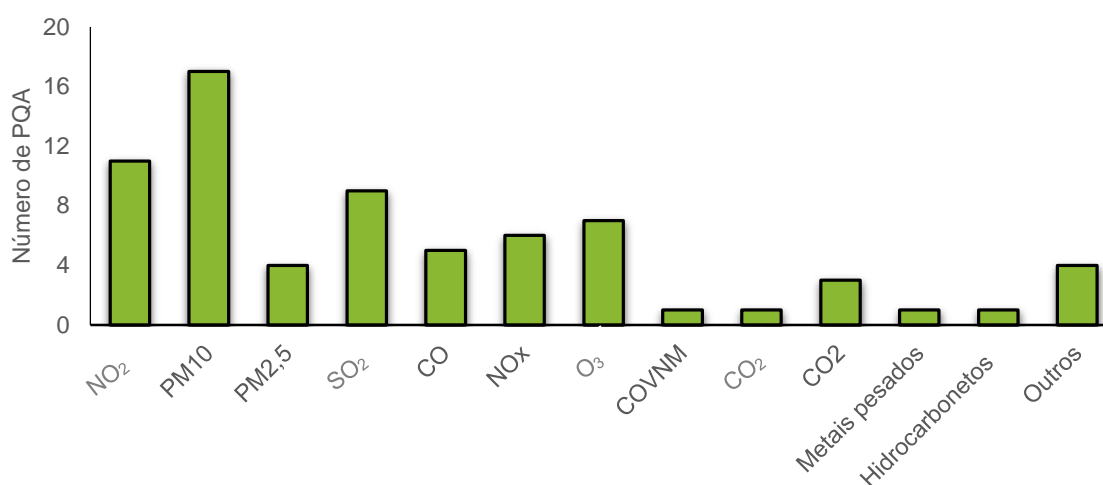


Figura 3 – Número de PQA elaborados por poluente nas 20 regiões / aglomerações consideradas no artigo de Miranda et al. (2015).

A análise do gráfico da Figura 3 permite concluir que é vasta a gama de poluentes a provocar degradação da qualidade do ar, destacando-se as PM<sub>10</sub> e o NO<sub>2</sub>. Para estes poluentes, e de acordo com as conclusões de Miranda et al. (2015), as principais fontes de emissão apontadas nos PQA são o tráfego rodoviário, a indústria e a combustão comercial e residencial, incidindo a maioria das medidas de melhoria da qualidade do ar adotadas nestes setores.

Algumas das medidas identificadas por Nagl et al. (2006) e Miranda et al. (2015) no que diz respeito ao setor dos transportes são: o investimento para que sejam introduzidos progressivamente veículos elétricos e híbridos; a redução do tráfego nos centros urbanos e a gestão das condições de circulação e estacionamento; o incentivo à deslocação para o local de trabalho / escola de autocarro, comboio, bicicleta e a pé; a restrição da circulação de determinados veículos em determinadas zonas e a

determinadas horas; a construção de estradas com o objetivo de ampliar a rede de transportes públicos e diminuir o fluxo de tráfego.

Em relação ao setor da indústria, o aumento da fiscalização das fontes industriais é a medida mais mencionada, visando fiscalizar as excedências aos valores limite de emissão, definidos nas licenças de operação das instalações industriais.

Por sua vez, no que diz respeito ao setor da combustão residencial, a certificação de equipamentos com taxas de emissão mais baixas de PM10 é a medida mais referida.

Miranda et al. (2015) concluíram que a maioria dos PQA dá relevância ao impacto das medidas na redução das emissões e na melhoria da qualidade do ar, não contemplando os impactos na saúde, nem efetuando uma análise de custo-eficiência. Por outro lado, os modelos de qualidade do ar são vistos como a melhor ferramenta, atualmente disponível, para quantificar a resposta da atmosfera às diferentes medidas de controlo da poluição do ar.

## 2.2 PLANOS DE QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL

Em Portugal existem PQA para três regiões, o da Região Norte (CCDR-N, 2007a), da Região Centro (CCDR-C, 2010) e da Região de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT, 2006). A existência destes planos deve-se à má qualidade do ar em determinadas zonas e aglomerações. De facto, são medidos elevados níveis de poluentes atmosféricos, que ultrapassam os valores limite legais de PM10, O<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub> (Russo et al., 2014). A definição de medidas de melhoria que reduzam os níveis desses poluentes no ar ambiente implica conhecer as suas fontes e principais setores de atividade que lhes estão associados. A Figura 4 apresenta a contribuição dos diferentes setores de atividade para as emissões de PM10 (a) e NO<sub>2</sub> (b), no ano 2012, em Portugal.

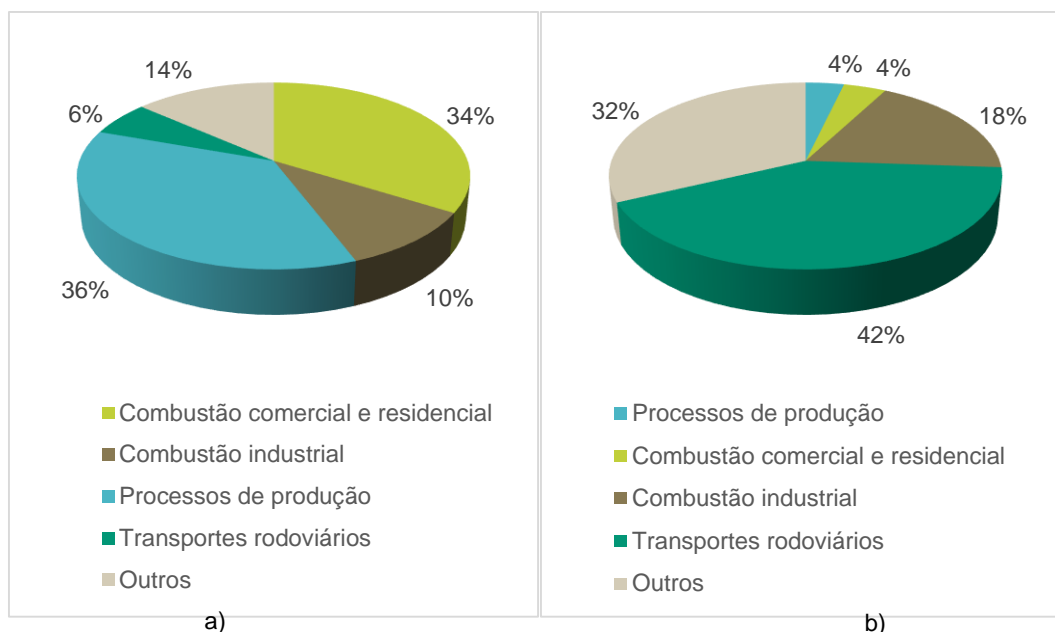


Figura 4 – Contribuição percentual dos diferentes setores de atividade para as emissões atmosféricas de PM10 (a) e NO<sub>2</sub> (b), no ano de 2012, em Portugal. Adaptado: (APA, 2011, 2015).

Os processos de produção representaram a maior fonte de emissão de PM10, seguindo-se a combustão comercial e residencial. O setor dos transportes é o responsável pela maioria das emissões de NO<sub>2</sub> em Portugal, com 42% das emissões totais, seguindo-se a combustão industrial. Os PQA abordados focam as medidas de melhoria nos setores dos transportes, da indústria e da combustão comercial e residencial.

### 2.2.1 PLANO DE QUALIDADE DO AR DA REGIÃO NORTE

Na Região Norte de Portugal, desde 2003 que existem PQA devido às excedências de PM10. Este apresentou diversas vezes a necessidade de ser revisto, e em 2010 foi publicada a última versão, relativamente às excedências de PM10 no período de 2005 a 2008. O PQA publicado em 2007 (CCDR-N, 2007a), relativo ao período de 2001 a 2004 nas aglomerações do Porto Litoral, Vale do Ave e Vale do Sousa é o único com Programa de Execução que foi aprovado pelo Despacho Conjunto n.º. 20762/2009, de 16 de Setembro, com o objetivo de reforçar a aplicação das medidas de redução e descreve-las ao pormenor. Estas são selecionadas a partir do contacto estabelecido entre a CCDR-N (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte) e as entidades responsáveis pela sua execução (Borrego et al., 2011). Em 2010, foi ainda

publicado o PQA da aglomeração de Braga, relativo às excedências de PM<sub>10</sub>, no período de 2005 a 2008 (CCDR-N, 2010).

O presente trabalho incidiu sobre o PQA publicado em 2007 (CCDR-N, 2007a) e o respetivo Programa de Execução (CCDR-N, 2007b), pelo facto de ser o único PQA da Região Norte com Programa de Execução. Neste PQA é apresentada a rede de qualidade do ar da Região Norte, que em 2007 contava com 23 estações, em que 13 delas excediam os valores limites diários para PM<sub>10</sub>, dez na aglomeração do Porto Litoral, duas na aglomeração Vale do Sousa e uma na aglomeração Vale do Ave. Relativamente ao valor limite anual, apenas 4 estações ultrapassavam esse valor (CCDR-N, 2007a). As 23 medidas que constam do plano são direcionadas para diferentes setores de atividade sendo eles o tráfego, a indústria, obras e construção civil, a agricultura e florestas e outros.

Desde 2006 que as concentrações de NO<sub>2</sub> na Região Norte têm ultrapassado o valor limite anual, principalmente nas estações de tráfego; como tal foi necessário elaborar um PQA para reduzir as emissões de NO<sub>2</sub> (Borrego et al., 2012a), sendo publicado em 2011, e consta com medidas direcionadas para o setor dos transportes.

O modelo TAPM (*The Air Pollution Model*) é o escolhido para testar o impacto das medidas de melhoria da qualidade do ar das respetivas aglomerações nos dois PQA (Borrego et al., 2011, 2012a). Outro ponto comum entre os PQA tem a ver com a organização dos mesmos, pois inicialmente são identificadas estações em excedências, de seguida são avaliadas as principais fontes de emissão de cada um dos poluentes, procedem com a definição das medidas de redução mais adequadas e por fim são avaliados os impactos na qualidade do ar decorrentes da aplicação das medidas, com recurso ao modelo TAPM.

### 2.2.2 PLANO DE QUALIDADE DO AR DA REGIÃO DE LISBOA E VALE DO TEJO

O Plano de Qualidade do Ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo foi publicado em junho de 2005, no entanto foi sujeito a um período de discussão pública e em 2006 foi publicada a edição revista do PQA (CCDR-LVT, 2006). Abrange as aglomerações da Área Metropolitana de Lisboa Norte (AML Norte), da Área Metropolitana de Lisboa Sul (AML Sul) e de Setúbal. O respetivo Programa de Execução do Plano de Melhoria da

Qualidade do Ar (CCDR-LVT, 2009) foi aprovado pelo Despacho Conjunto n.º. 20763/2009, de 16 de Setembro.

São analisados dados da rede de monitorização para o período temporal de 2001 a 2004, concluindo-se que as excedências ao valor limite diário de PM10 e valor limite horário de NO<sub>2</sub> se verificam na aglomeração AML Norte. Na aglomeração AML Sul são registadas ultrapassagens ao valor limite diário e anual de PM10 e valor limite horário de SO<sub>2</sub> e na aglomeração de Setúbal as PM10 excedem o valor limite diário e anual (CCDR-LVT, 2006). Os níveis máximos de PM10 e NO<sub>2</sub> estão associados às zonas com níveis de tráfego mais intenso e os níveis máximos de SO<sub>2</sub> estão associados às áreas industriais.

São definidas 50 medidas a implementar permanentemente, direcionadas principalmente para o setor dos transportes, sendo que parte destas medidas constam do PNAC (Plano Nacional para as Alterações Climáticas) e PTEN (Programa de Tetos de Emissão Nacionais). São ainda definidas três medidas adicionais, passíveis de serem aplicadas quando se preveem níveis elevados de poluição (CCDR-LVT, 2006).

### *2.2.3 PLANO DE QUALIDADE DO AR NA REGIÃO CENTRO*

O Plano de Qualidade do Ar na Região Centro (CCDR-C, 2010) foi elaborado no ano 2010, devido às excedências ao valor limite diário e anual de PM10 nos anos de 2003 a 2009, nas aglomerações Aveiro/Ílhavo, Coimbra e na zona de influência de Estarreja. Foi aprovado pela Portaria n.º 408/2014, de 3 de junho, não existindo ainda Programa de Execução para o referido Plano.

Ao longo do PQA são analisadas as situações de excedências aos valores limite e são apresentadas como fontes de emissão de PM10 o tráfego, a combustão residencial e comercial, as fontes fixas e outras fontes (CCDR-C 2010).

As 17 medidas que constam deste PQA estão também direcionadas para o setor dos transportes, da indústria e o setor doméstico. São apresentadas medidas adicionais para o caso das existentes não serem eficazes em fazer cumprir os limites legais.



### 2.3 LISTA DE MEDIDAS DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR

Os PQA analisados estabelecem medidas de melhoria da qualidade do ar que visam o cumprimento dos valores limite e alvo, para os poluentes com concentrações mais elevadas que ultrapassam os valores legislados nas respetivas zonas e aglomerações para as quais são elaborados. Com base na pesquisa e análise realizada foi possível elaborar uma lista das principais medidas indicadas para a aglomeração do Porto Litoral, que se apresenta no Anexo A. Esta pesquisa incidiu sobre as medidas que constam do Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte (CCDR-N, 2007b), do Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Lisboa a Vale do Tejo (CCDR-LVT, 2009), do relatório elaborado pela DEFRA – “*Air Quality Plans for the Achievement of EU Air Quality Limit Values for Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) in the UK, Technical Report*” (DEFRA, 2011) e do PQA de Manchester – *Greater Manchester LTP2 Air Quality Strategy & Action Plan (2006)* (SCC, 2006).

Uma abordagem cada vez mais utilizada no que diz respeito a medidas de melhoria da qualidade do ar está relacionada com a sua classificação em medidas técnicas e medidas não técnicas (D’Elia et al, 2009; Miranda et al., 2014, 2015). Entenda-se como medidas técnicas as direcionadas para a inovação tecnológica e que pretendem reduzir as emissões de poluentes para a atmosfera antes de serem emitidos. Por outro lado, as medidas não técnicas tem como objetivo a mudança de comportamento da sociedade. Na Tabela 3 são apresentadas algumas das medidas que constam da lista de medidas, divididas em medidas técnicas e não técnicas.

Tabela 3 – Lista de medidas de melhoria da qualidade do ar, classificadas em técnicas e não técnicas.

Medidas Técnicas			Medidas Não Técnicas			
Setor		Poluente	Setor		Poluente	
Transportes	Introdução de veículos de baixa emissão nos transportes coletivos e de mercadorias	PM10 e NO <sub>2</sub>	Transportes	Partilha de automóveis	PM10 e NO <sub>2</sub>	
	Renovação das frotas de táxis e de veículos de recolha de resíduos sólidos urbanos	PM10 e NO <sub>2</sub>		Zonas de Emissões Reduzidas (ZER)	PM10 e NO <sub>2</sub>	
	Incentivo à instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias	PM10 e NO <sub>2</sub>		Sistema de placas de matrícula alternadas	PM10 e NO <sub>2</sub>	
Indústria	Substituição de despoiradores nas fontes industriais	PM10		Corte de ruas ao trânsito	PM10 e NO <sub>2</sub>	
Combustão residencial	Certificação de equipamentos de combustão residencial.	PM10		Pedonalização de determinadas rodovias e/ou zonas	PM10 e NO <sub>2</sub>	
				Criação ou ampliação de ciclovias	PM10 e NO <sub>2</sub>	
Agricultura	Instalação de filtros de partículas nos tratores.	PM10		Incentivo à utilização de veículos que utilizem tecnologias menos poluentes (exemplo: veículos híbridos elétricos, veículos elétricos, veículos que utilizem biocombustíveis e movidos a hidrogénio)	PM10 e NO <sub>2</sub>	
Construção Civil	Uso de filtros de partículas nas máquinas e motores associados à atividade de construção civil.	PM10		Construção Civil	Lavar os camiões à saída das obras.	PM10
				Outras medidas	Varrimento e lavagem das ruas	PM10

É possível constatar que as medidas abrangem cinco setores de atividade. As medidas direcionadas para os transportes permitem reduzir as concentrações de PM10 e NO<sub>2</sub>. Para os restantes setores, verifica-se apenas a influência nas emissões de PM10. Esta lista foi elaborada com o propósito de reduzir as emissões nas fontes emissoras que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar da aglomeração do Porto Litoral.



### 3. CASO DE ESTUDO – AGLOMERAÇÃO PORTO LITORAL

Ao longo dos últimos anos, os valores limite de PM10 e NO<sub>2</sub> têm sido excedidos, levando à elaboração e implementação de PQA na Região Norte de Portugal, na qual se insere a aglomeração do Porto Litoral. O presente capítulo visa caracterizar esta aglomeração, selecionar e apresentar medidas de melhoria da qualidade do ar mais indicadas para a realidade do Porto Litoral.

#### 3.1 O PORTO LITORAL

De acordo com os requisitos da Diretiva Quadro da Qualidade do Ar, o território nacional foi dividido em zonas e aglomerações, existindo na Região Norte de Portugal, a cargo da CCDR-N, duas zonas (Norte litoral e Norte Interior) e quatro aglomerações (Porto Litoral, Vale do Ave, Vale do Sousa e Braga) (DGA, 2001), tal como se pode ver na Figura 5. A divisão do território em zonas e aglomerações permite identificar as necessidades de cada área em termos de qualidade do ar e definir estratégias específicas para cada uma dessas áreas.

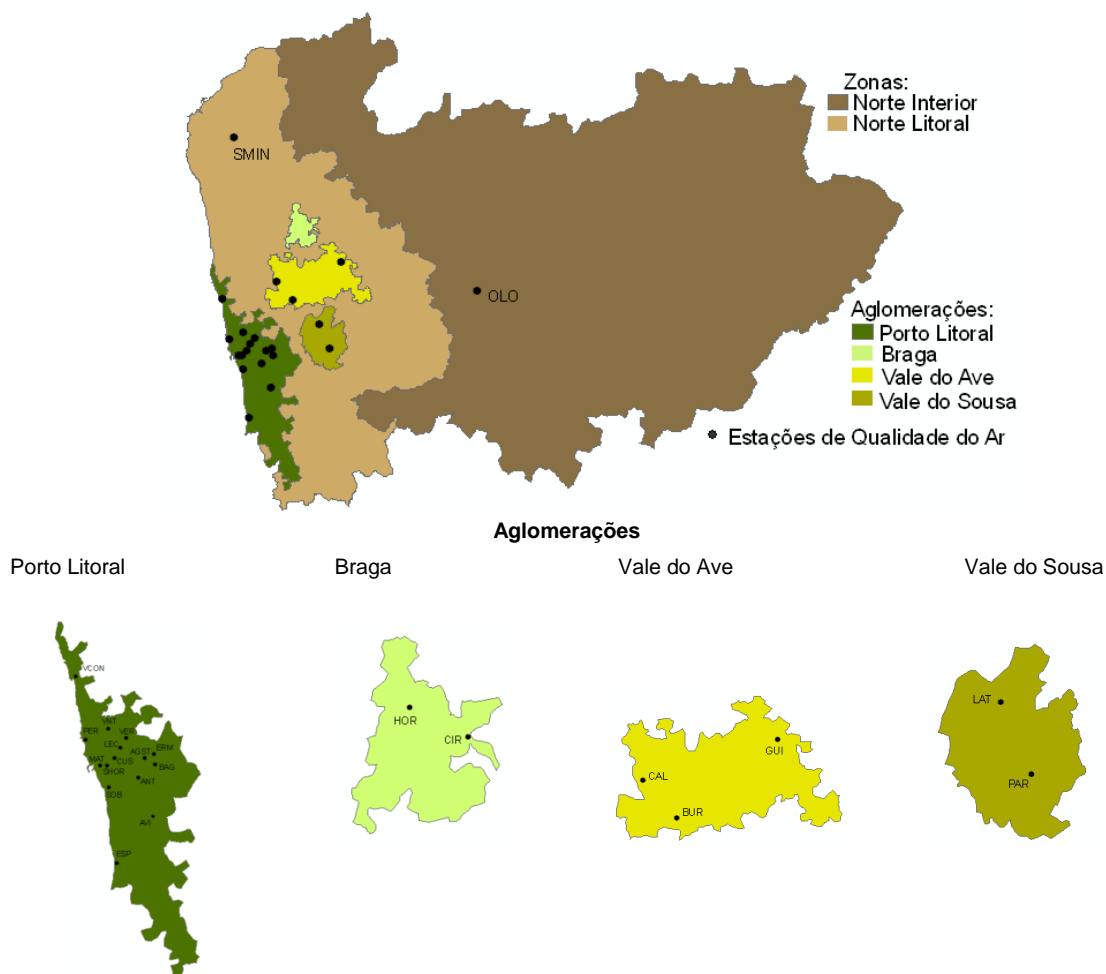


Figura 5 – Zonas e aglomerações da Região Norte e localização das estações de qualidade do ar (CCDR-N, 2012).

A aglomeração Porto Litoral engloba 12 concelhos (Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azeméis, Porto, Póvoa de Varzim, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia), num total de 124 freguesias, abrangendo uma área geográfica com cerca de 1199,5 km<sup>2</sup> e 1 516 918 habitantes. Esta aglomeração é caracterizada como zona costeira, no Norte de Portugal Continental.

Segundo os dados disponibilizados pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) (URL 2) relativos às normais climatológicas da temperatura do ar na estação Serra do Pilar, para o período de 1981 a 2010, pode concluir-se que as temperaturas médias mensais mínimas variam entre os 5,2°C no mês de janeiro e os 15,9°C no mês de julho. No que diz respeito às temperatura médias mensais máximas, estas variam entre

os 13,8°C em janeiro e os 25,7°C em agosto. O mês de janeiro é por norma o mês mais frio e o de agosto o mês mais quente, como seria expectável.

Segundo a mesma fonte, relativamente à precipitação, conclui-se que o valor médio da quantidade total é de 181 mm no mês de dezembro, sendo o mês que regista os níveis mais elevados de precipitação; já o oposto acontece no mês de julho, onde se registam os valores mais baixos, de 20,4 mm.

No que se refere ao vento, fator com elevada relevância na dispersão dos poluentes atmosféricos, as velocidades médias mensais ultrapassam os 20 km.h<sup>-1</sup> para todo o ano. Nos meses de verão os ventos sopram predominantemente de Noroeste (NW) e Oeste (W) e nos meses de inverno são predominantemente de Este (E) e Sudeste (Azevedo, 2005).

### 3.2 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

O desenvolvimento de uma estratégia de redução da poluição atmosférica implica a necessária identificação das fontes de poluição e a quantificação das suas emissões (Borrego et al, 2000).

Com o objetivo de determinar as medidas de melhoria da qualidade do ar que mais se adequam à aglomeração do Porto Litoral, é necessário identificar as fontes de emissão com maior peso nesta aglomeração. A Figura 6 apresenta o contributo de cada setor de atividade para a emissão de PM<sub>10</sub> (a) e de NO<sub>x</sub> (b), no ano 2012 para a referida aglomeração. As emissões estão desagregadas por setor SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) em: SNAP 1 – produção de energia; SNAP 2 – combustão comercial e residencial; SNAP 3 – combustão industrial; SNAP 4 – processos de produção; SNAP 5 – extração e distribuição de combustíveis fósseis; SNAP 6 – uso de solventes; SNAP 7 – transportes rodoviário; SNAP 8 – outras fontes móveis e maquinaria; SNAP 9 – tratamento e destino final de resíduos; SNAP 10 – agricultura; SNAP 11 – natureza.

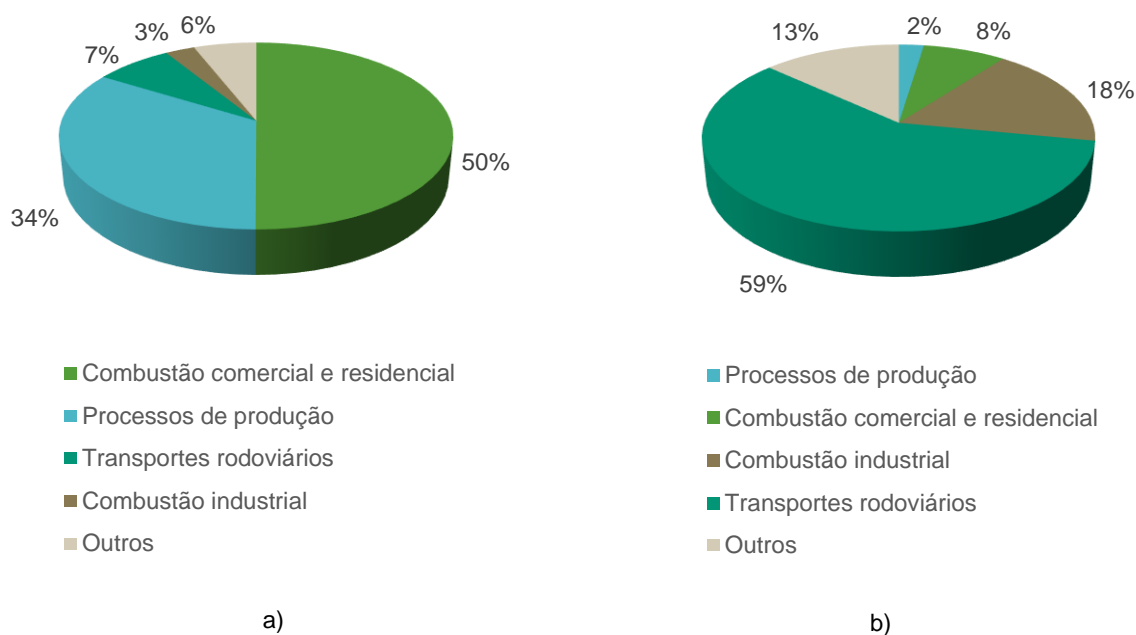
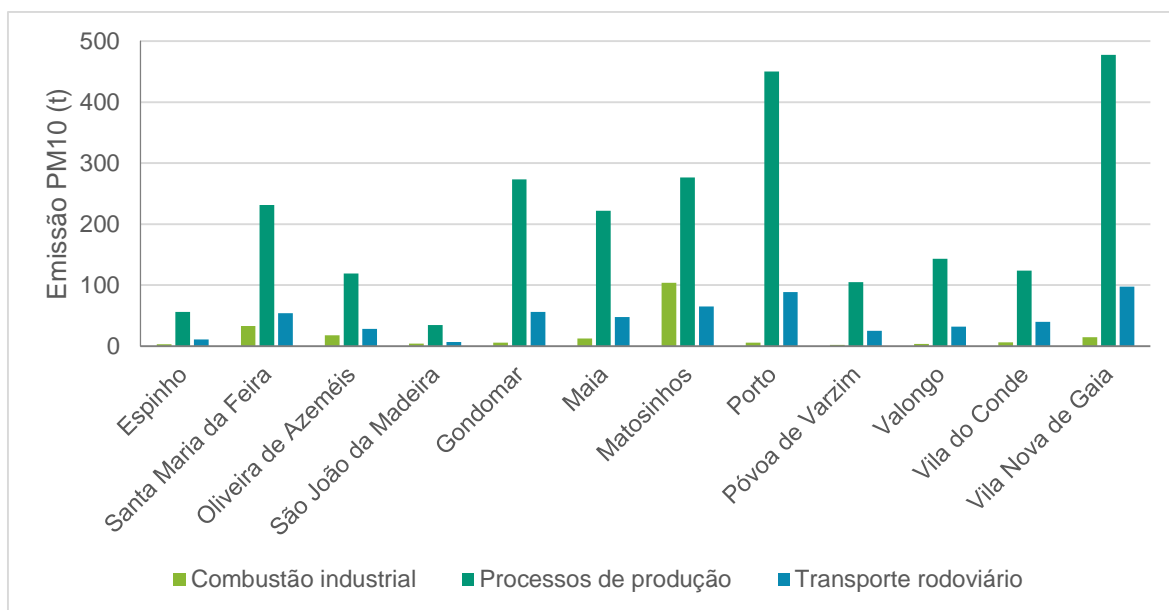


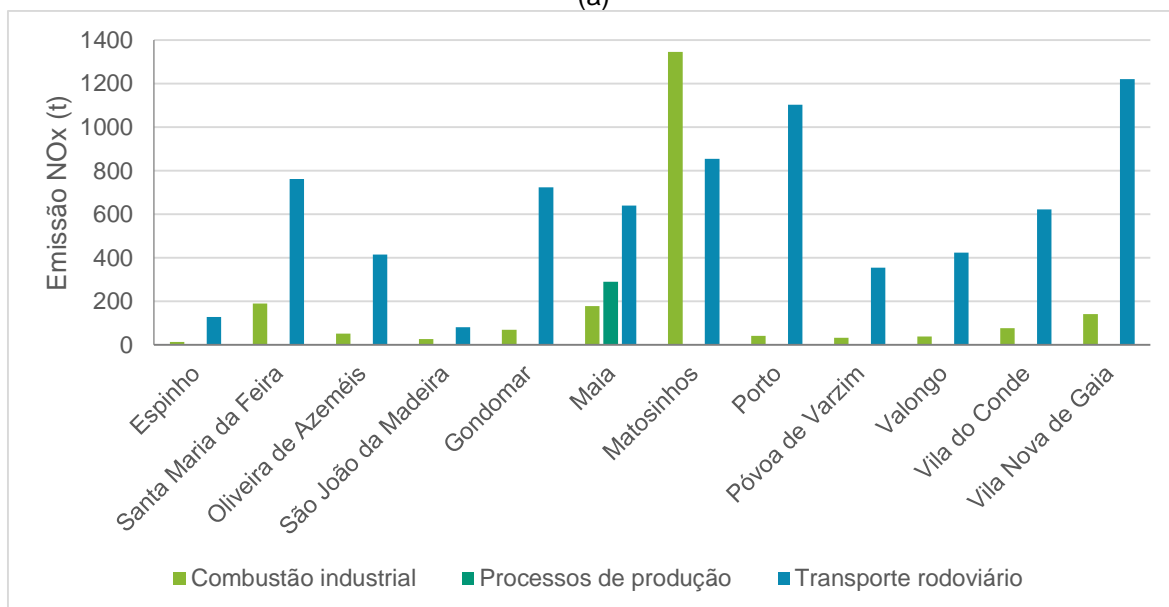
Figura 6 – Contribuição percentual dos diferentes setores de atividade para as emissões atmosféricas de PM10 (a) e NOx (b), no ano 2012, na aglomeração Porto Litoral. Adaptado: (APA, 2011, 2015).

À semelhança do que foi concluído por Borrego et al. (2012) para a Região Norte, os principais setores de atividade que levam à emissão de PM10 na aglomeração do Porto Litoral são a combustão residencial e comercial, indústria (processos de produção) e tráfego. As fontes de emissão de NOx são o setor dos transportes, responsável por metade das emissões deste poluente, seguindo-se a combustão industrial e a produção de energia. Os setores dos transportes rodoviários e da indústria (processos de produção e combustão industrial) são responsáveis por grande parte das emissões de PM10 e NOx. Na Figura 7, apresenta-se a distribuição das emissões de PM10 (a) e NOx (b) para combustão industrial, processos de produção e transportes pelos concelhos da aglomeração do Porto Litoral.





(a)



(b)

Figura 7 – Distribuição das emissões atmosféricas (t) de PM10 (a) e NOx (b), provenientes da combustão industrial, processos de produção e transportes, pelos concelhos do Porto Litoral, para o ano 2012 Adaptado (APA, 2011, 2015).

Nos concelhos de Vila Nova de Gaia, Porto, Matosinhos, Gondomar, Mais e Santa Maria da Feira, os processos de produção são responsáveis pela maioria das emissões de PM10. No entanto, no que se refere à combustão industrial, apenas o concelho de Matosinhos apresenta emissões mais elevadas. Para o setor dos transportes rodoviários os concelhos do Porto e Vila Nova de Gaia apresentam as emissões mais elevadas.

Os concelhos do Porto e Vila Nova de Gaia são os que registam, em 2012, as emissões mais elevadas de NOx, no que se refere aos transportes rodoviários. A combustão residencial é responsável pela elevada emissão de NOx no concelho de Matosinhos, verificando-se que nos restantes concelhos a emissão deste poluente é muito inferior, havendo concelhos onde a emissão é muito baixa, como é o caso de Espinho e São João da Madeira.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

A aglomeração do Porto Litoral é dotada de uma Rede de Monitorização da Qualidade do Ar (RMQA), onde são monitorizados poluentes, tais como o monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NOx), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), partículas (PM10 e PM2,5), ozono (O<sub>3</sub>) e Benzeno, Tolueno, Xilenos (BTX) e ainda parâmetros meteorológicos. As estações de monitorização são classificadas consoante o ambiente em que inserem e a influência que sofrem. Relativamente ao ambiente em que se inserem podem ser urbanas (localizadas em ambiente urbano), suburbanas (localizadas na periferia das cidades) e rural (localizada em ambiente rural). Por sua vez e em relação à influência que sofrem, estas podem ser de tráfego (monitorizam a qualidade do ar consequente de emissões diretas do tráfego automóvel), industrial (monitorizam a qualidade do ar consequente de emissões diretas da indústria) e de fundo (não estão sob influência direta de emissões de nenhuma fonte em particular) (CCDR-N, 2012). A rede de monitorização, sob a responsabilidade da CCDR-N inclui estações de fundo, tráfego e industrial (CCDR-N 2011).

A aglomeração do Porto Litoral contém na sua área 13 estações de monitorização da qualidade do ar, das quais 3 são de tráfego, 2 são industriais, 8 são de fundo. A Tabela 4 apresenta as características das estações de monitorização da qualidade do ar da aglomeração em estudo, nomeadamente o nome da estação, o tipo, a influência, o concelho em que se encontra e os poluentes monitorizados. Para o cálculo dos valores limite para a proteção da saúde humana, a Diretiva refere ser necessário existir mais de 75% dos dados recolhidos pelas estações de monitorização da qualidade do ar, pelo que foram consideradas apenas as estações que satisfazem esta condição.

Tabela 4 – Características das estações da qualidade do ar da Aglomeração Porto Litoral (CCDR-N, 2011).

Nome da Estação	Sigla	Tipo	Influência	Concelho	Poluentes						
					CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM10	PM2,5	O <sub>3</sub>	BTX
Francisco Sá Carneiro - Campanhã	FSC	Suburbana	Tráfego	Porto	✓	✓		✓			
Sobreiras - Lordelo do Ouro	SOB	Urbana	Fundo			✓		✓	✓	✓	
Custóias - Matosinhos	CUS	Suburbana	Fundo	Matosinhos		✓		✓		✓	
Leça do Balio - Matosinhos	LEC	Suburbana	Fundo			✓		✓		✓	
Seara-Matosinhos*	SEA	Urbana	Industrial					✓	✓		✓
Meco - Perafita	PER	Suburbana	Industrial					✓	✓		✓
João Gomes Laranjo - S. Hora	SRH	Urbana	Tráfego			✓	✓		✓		
D. Manuel II - Vermoim	VER	Urbana	Tráfego	Maia		✓		✓	✓		
Vila Nova da Telha - Maia	VNT	Suburbana	Fundo			✓		✓		✓	
Antas - Espinho	ESP	Suburbana	Fundo	Espinho		✓		✓		✓	
Mindelo - V. Conde	VCO	Suburbana	Fundo	V. Conde		✓		✓		✓	
Ermesinde - Valongo	ERM	Urbana	Fundo	Valongo		✓		✓		✓	
Avintes	AVI	Urbana	Fundo	V. N. Gaia		✓		✓		✓	

\*Entrou em funcionamento após o ano 2012

Coutinho et al. (2005) analisaram os níveis de PM10, O<sub>3</sub>, dioxinas e furanos, metais e PAH's na área metropolitana do Porto, e concluíram que as PM10 excedem sistematicamente os valores limite para a qualidade do ar, num número significativo de estações de monitorização, sejam elas de tráfego ou de fundo. Por sua vez, Mendes et al. (2008) confirmaram que os poluentes mais preocupantes em relação à qualidade do ar na Região Norte são as PM10. Devido às excedências aos valores limite diário e anual de PM10, no período de 2000 a 2007, Borrego et al. (2011) analisaram o impacte resultante da aplicação de medidas de melhoria da qualidade do ar nas concentrações de PM10.

Uma abordagem idêntica foi feita em 2012, apontando novamente as PM10 como um poluente que frequentemente ultrapassa os valores limite (Borrego et al., 2012b).

A Figura 8 apresenta a variação das concentrações anuais de PM10, nas estações urbanas de fundo, suburbanas de fundo, urbanas de tráfego e suburbana industrial, considerando o valor limite anual para este poluente.

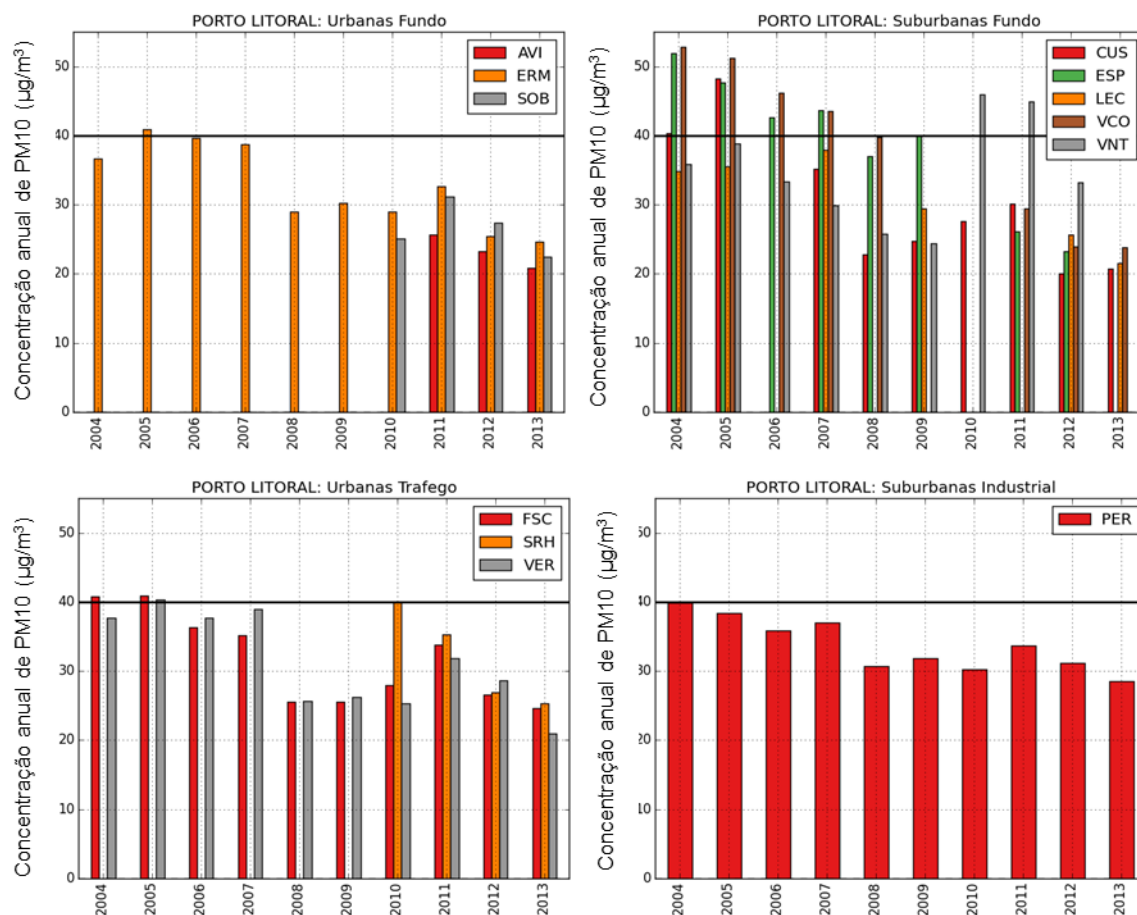


Figura 8 – Variação das concentrações anuais de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nas estações urbanas de fundo, suburbanas de fundo, urbanas de tráfego e suburbana industrial.

O maior número de ultrapassagens ao valor limite registou-se até ao ano 2007, verificando-se que após a entrada em vigor do PQA da Região Norte, o número de estações em excedência tem diminuído.

A estação suburbana de fundo Vila Nova da Telha (VNT) excedeu o valor limite em 2010 e 2011, devido à influência de obras de construção civil que ocorreram nas proximidades da estação (CCDR-N, 2012).

Não só as concentrações de PM<sub>10</sub>, mas também de NO<sub>2</sub> têm sido excedido os valores limite definidos pelo Decreto-Lei n.º 102/2010. Segundo Borrego et al. (2012a) o valor limite anual de NO<sub>2</sub> tem sido excedido em várias estações de monitorização da qualidade do ar. Na Figura 9 é apresentada a variação das concentrações médias anuais de NO<sub>2</sub> registadas nas estações de monitorização para o período de 2004 a 2013.

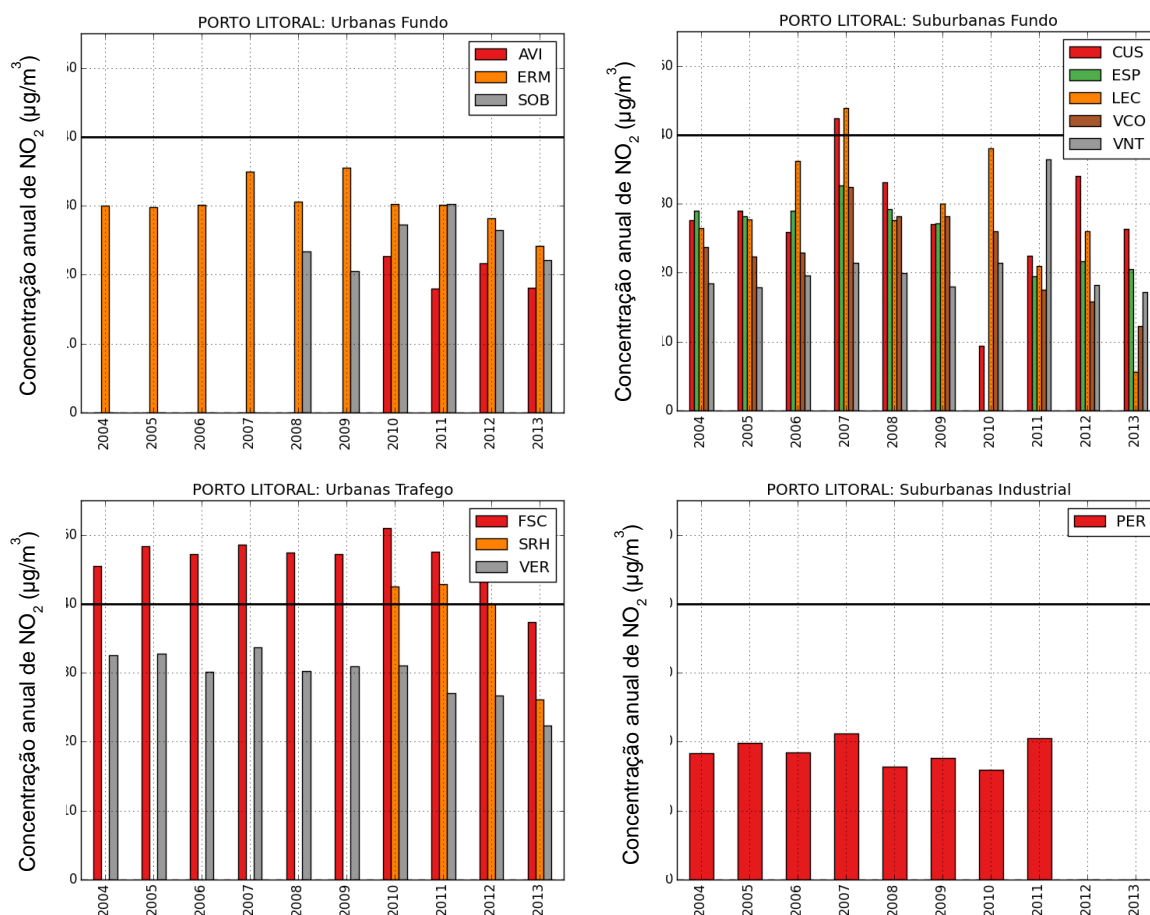


Figura 9 – Variação das concentrações anuais de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) nas estações urbanas de fundo, suburbanas de fundo, urbanas de tráfego e suburbana industrial.

O número de estações de monitorização da qualidade do ar, que medem as concentrações de NO<sub>2</sub>, aumentou nos últimos anos. Em 2011, a rede de estações de monitorização da qualidade do ar foi remodelada. Uma das alterações introduzidas está relacionada com a estação Mecó – Perafita (PER) que deixou de monitorizar o poluente NO<sub>2</sub>. Com a análise da Figura 9, conclui-se que após a publicação em 2011 do PQA direcionado para o NO<sub>2</sub>, apenas as estações de tráfego registaram excedências. Em

2013, não houve estações em incumprimento dos valores limite, havendo nos anos anteriores pelo menos uma estação em ultrapassagem.

Os valores mais elevados de concentração de NO<sub>2</sub> registam-se nas estações urbanas de tráfego, algo que seria de esperar pelo facto das emissões do tráfego automóvel corresponderem a 59% das emissões de NO<sub>2</sub> na aglomeração do Porto Litoral.

A qualidade do ar tem evoluído no sentido positivo nos últimos anos e para que assim se mantenha, é necessário continuar a desenvolver estratégias de controlo da poluição atmosférica. Nas Figuras 10 e 11 é apresentada, respetivamente o número de excedências ao valor limite diário de PM10 e o número de excedências ao valor limite horário de NO<sub>2</sub>, nas estações de monitorização da qualidade do ar durante o período de 2004 a 2013.

Conclui-se que para PM10, apesar de se observarem melhorias, apenas em 2013, não se verificaram excedências ao valor limite diário. Em comparação com as excedências às médias anuais (Figura 8), observa-se uma maior facilidade em cumprir o valor limite anual do que o diário. Para o NO<sub>2</sub>, a situação é a oposta verificando-se que para valores horários o valor limite é facilmente cumprido, apenas se registam excedências em 2009, na estação Ermesinde – Valongo (ERM), onde ocorreram atividades de caráter excepcional na área envolvente à estação, que podem ter levado às excedências ao valor limite horário (CCDR-N, 2012).



Figura 10 – Número de ultrapassagens ao valor limite diário de PM10, entre 2004 a 2013 (a linha a vermelho representa o número máximo de ultrapassagens por ano permitidas pela legislação - 35).

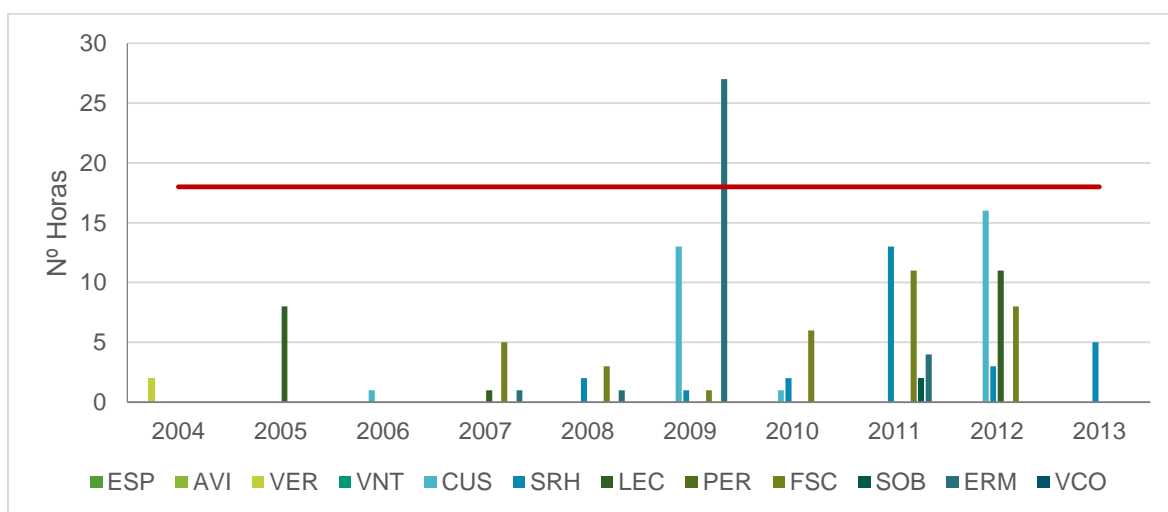


Figura 11 – Número de ultrapassagens ao valor limite horário de NO<sub>2</sub>, entre 2004 a 2013 (a linha a vermelho representa o número máximo de ultrapassagens por ano permitidas pela legislação - 18).

### 3.4 MEDIDAS DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR

Identificados os setores de atividade que mais contribuem para a emissão de PM10 e NO<sub>2</sub> na aglomeração do Porto Litoral, foram selecionadas duas medidas com base nos problemas identificados e na lista de medidas elaborada (2.3 *Lista de medidas de melhoria da qualidade do ar*), que visam a redução das emissões do setor dos transportes e da indústria. Para o setor dos transportes, a medida selecionada consiste na substituição de veículos ligeiros por veículos híbridos. Relativamente ao setor da indústria, abrangendo apenas as PM10, selecionou-se a substituição de despoeiradores industriais.

#### 3.4.1 INTRODUÇÃO DE VEÍCULOS HÍBRIDOS

A medida introdução de veículos híbridos pretende avaliar as melhorias na qualidade do ar resultantes da substituição de 10% dos veículos ligeiros a gasóleo e a gasolina, abaixo de Euro III, por veículos híbridos que são menos poluentes.

A Comissão Europeia criou as normas Euro, normas que definem padrões de emissão de gases de escape para novos veículos comercializados na UE. À exceção dos veículos que já se encontravam em circulação antes da entrada em vigor da norma, todos os restantes que não cumpram os requisitos não podem circular na UE (EEA, 2010). Nas Tabelas 5 e 6 encontram-se, respetivamente, as datas de introdução das normas de emissão, e os níveis de emissão de poluentes permitidos, para os veículos ligeiros.

*Tabela 5 – Datas de introdução das normas Euro para veículos, adaptado de EEA (2010).*

	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Veículos ligeiros	Julho 1992	Janeiro 1996	Janeiro 2000	Janeiro 2005	Setembro 2008	Setembro 2013



Tabela 6 – Níveis de emissão de poluentes permitidos para veículos ligeiros ( $g/km^1$ ). Adaptado de (DieselNet, 2015).

	Poluente	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Gasóleo	CO (g/km)	2,72	1,0	0,64	0,50	0,50	0,50
	HC (g/km)	-	-	-	-	-	-
	HC+NOx (g/km)	0,97	0,70	0,56	0,30	0,23	0,17
	NOx (g/km)	-	-	0,5	0,25	0,18	0,08
	PM (g/km)	0,14	0,08	0,05	0,0025	0,005	0,005
Gasolina	CO (g/km)	2,72	2,2	2,3	1,0	1,0	1,0
	HC (g/km)	-	-	0,20	0,10	0,10	0,10
	HC+NOx (g/km)	0,97	0,50	-	-	-	-
	NOx (g/km)	-	-	0,15	0,08	0,06	0,06
	PM (g/km)	-	-	-	-	0,005	0,005

Relativamente aos veículos híbridos, a IEA (International Energy Agency) (2015) refere que estes associam duas fontes de energia: uma bateria que pode armazenar a energia elétrica e devolvê-la ao motor elétrico; e um reservatório de combustível que alimenta um motor térmico.

Para que fosse possível aplicar a medida dos híbridos foi necessário recorrer ao modelo TREM (Tchepel, 2003), modelo de emissões de tráfego desenvolvido na Universidade de Aveiro, para estimar as emissões de PM10 e NO<sub>2</sub> nas estradas e autoestradas da área de estudo. Este modelo necessita de informações fornecidas pelo utilizador, tais como o número e a tipologia de veículos em circulação nas estradas e autoestradas em estudo. A informação relativa ao número de veículos que circulam nas autoestradas foi obtida do Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT). Para os que circulam nas estradas do concelho do Porto a informação foi fornecida pela Câmara Municipal do Porto. Relativamente à tipologia de veículos existente em 2012 foi obtida informação do Instituto Nacional de Estatística (INE), Associação Automóvel de Portugal (ACAP) e Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões

A medida consistiu em retirar de circulação 10% dos veículos abaixo de Euro III (equivalente a 30740 automóveis) e colocar em circulação a mesma percentagem de veículos híbridos. Com esta alteração, foram reestimadas as emissões pelo modelo TREM (Tchepel, 2003). Verificou-se uma redução 15% das emissões de PM10 e de 5% das emissões de NOx.

### 3.4.2 SUBSTITUIÇÃO DE DESPOEIRADORES NAS FONTES INDUSTRIAIS

Inicialmente considerou-se a hipótese de propor tecnologias que permitissem reduzir as emissões das grandes fontes pontuais, substituindo despoeiradores menos eficientes por outros com eficiências mais elevadas. As grandes fontes localizadas na área de estudo são:

- Refinaria de Matosinhos;
- Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro (Turbogás – Produtora Energética, S.A.);
- SA – Maia, Siderurgia Nacional S.A.;
- Ba Vidro – Unidade Fabril de Avintes;
- LIPOR;
- Indústrias Jomar – Madeiras e Derivados, S.A.;
- UNICER – Centro de Produção de Leça do Balio;
- Central Termoelétrica de Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A..

Existem várias tecnologias disponíveis para tornar o ar proveniente de uma indústria menos poluído, tais como os ciclones, filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos. No entanto, os filtros de mangas (Figura 12) são os mais frequentemente utilizados por serem mais baratos, fáceis de manusear e muito eficientes na coleta de partículas (Song & Park, 2006). São diversos os tipos de materiais com que são feitos os filtros de mangas, podendo ser de tecido ou não. Os de tecido são geralmente feitos de fibras naturais, artificiais e sintéticos (Tanabe et al, 2011). Dependendo do tipo de material filtrante e da velocidade do efluente, a eficiência de remoção de partículas varia (A&WMA, 2007; EPA, 2001).



Figura 12 – Imagem ilustrativa de um filtro de mangas (Fonte: URL 3).

Foi feita uma pesquisa sobre as tecnologias que cada uma das fontes pontuais dispõe, encontrando-se a informação recolhida no Anexo B. Concluiu-se, porém, que a maioria das unidades possui despoluidores de elevada eficiência, nomeadamente filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos.

Decidiu-se então optar por uma medida de cariz académico e testar o impacte da instalação de despoluidores do tipo filtro de mangas em pequenas fontes industriais. Foi considerada uma eficiência de remoção de partículas de 97% com uma taxa de aplicação de 10% às emissões do setor industrial.

As emissões associadas ao setor da indústria provêm principalmente da combustão industrial (SNAP 3) e dos processos de produção (SNAP 4). Partindo das emissões de PM10 para o ano 2012, com origem nos SNAP's 3 e 4, considerou-se que a 10% das emissões de partículas, seria aplicada uma redução nas emissões de partículas de 97% decorrente da instalação de filtros de mangas. Estes pressupostos permitem reduzir 9,7% das emissões totais de PM10 com origem na SNAP 3 e 4.

Identificados os pressupostos de cada medida é possível, recorrendo à modelação testar o impacte que estas terão na melhoria da qualidade do ar, reduzindo a concentração dos poluentes no ar ambiente.



## 4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS MEDIDAS NA QUALIDADE DO AR

Com a finalidade de avaliar os impactos na qualidade do ar, resultantes das medidas de redução de emissões propostas, procedeu-se à aplicação do modelo de qualidade do ar TAPM (*The Air Pollution Model*). O modelo foi aplicado ao cenário de referência (emissões relativas ao ano 2012) e a cada um dos cenários de redução: introdução de veículos híbridos e substituição de despoiradores nas fontes industriais.

### 4.1 O MODELO TAPM

O modelo TAPM foi desenvolvido pela CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*), agência nacional de ciência da Austrália. É um modelo de dispersão tridimensional, baseado na resolução de equações da dinâmica de fluidos e prevê a meteorologia e a concentração de poluentes ao nível do solo (Hurley, 2008). É constituído por duas componentes, a componente meteorológica e a componente da poluição, como esquematizado na Figura 13. A integração destas duas componentes permite a estimativa dos parâmetros meteorológicos importantes para a simulação da dispersão à escala local e à escala regional (Coutinho et al, 2007).

É apropriado para realizar simulações de longo prazo (por exemplo, para um ano) uma vez que a nível computacional não exige muito esforço (Hurley et al, 2005; Miranda et al., 2014), sendo de fácil utilização, rápida execução e apresenta uma interface gráfica que simplifica a análise dos resultados.

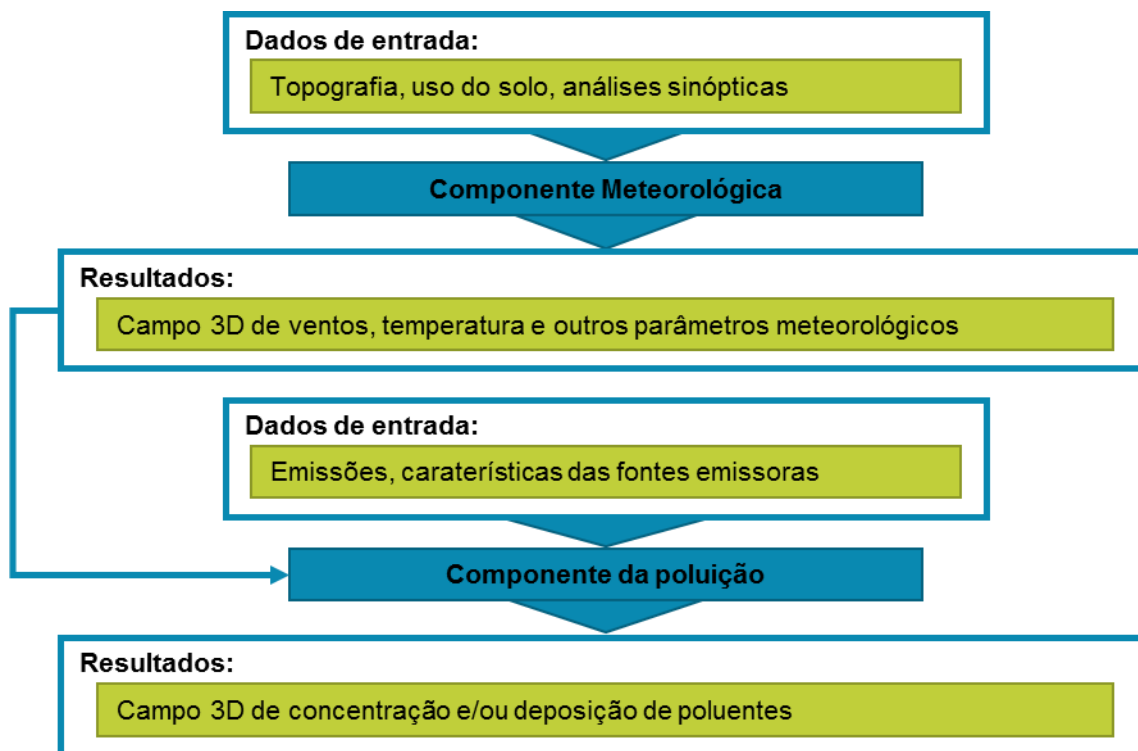


Figura 13 – Representação esquemática do modelo TAPM (Coutinho et al., 2007).

A componente meteorológica baseia-se na resolução da equação da conservação da quantidade de movimento de um fluido incompressível, não hidrostático (Hurley, 2008) e utiliza bases de dados globais no que diz respeito à orografia, uso do solo, temperatura superficial da água do mar e condições sinópticas (Coutinho et al., 2007). Esta componente abrange a parametrização dos processos físicos para a formação de nuvens, turbulência, uso do solo e fluxos de radiação. O modelo assume uma grelha uniforme fazendo com que a curvatura da terra seja desprezada e as áreas suburbanas são aproximadas a condições rurais (Hurley, 2008).

A base de dados de orografia, uso do solo e vegetação, proveniente da *Earth Resources Observation Systems* (EROS), é disponibilizada num sistema de coordenadas de latitude e longitude com espaçamento de 1 km. Os dados de temperatura superficial do mar provêm do *US National Center for Atmospheric Research* (NCAR), em médias mensais de longo prazo, com um espaçamento de 100 km, também em coordenadas de latitude e longitude. Relativamente à base de dados sinóptica, esta é obtida a partir dos modelos de previsão meteorológica *Limited Area Prediction System* (LAPS) e *Global Analysis and Prediction* (GASP) do *Bureau of Meteorology* (BOM), em médias de 6 horas numa grelha com espaçamento de 75 a 100 km, em latitude/longitude.

A componente da poluição simula não só a dispersão, mas também os processos químicos que ocorrem na atmosfera, tendo em consideração a deposição seca e húmida. Apresenta também a capacidade de simular o efeito dos edifícios mais próximos (Sousa, 2007). A componente fotoquímica que faz parte da componente da poluição é baseada num mecanismo semi empírico “*Generic reaction set*” (GRS), que inclui as reações na fase gasosa do dióxido de enxofre e das partículas, compreendendo um total de 10 reações para 13 espécies (Hurley, 2008). Considera as emissões de fontes pontuais, fontes em linha, fontes em área / volume, fontes em grelha e fontes biogénicas.

O modelo, à semelhança de outros modelos, apresenta limitações (Hurley, 2008):

- o domínio horizontal do modelo apresenta dimensões limitadas a 1500x1500 km<sup>2</sup> pelo facto de assumir uma grelha uniforme, desprezando a curvatura da Terra;
- não deve ser utilizado para condições meteorológicas extremas, nem para situações de circulações atmosféricas de elevada altitude;
- o modelo não considera a parametrização de larga escala das nuvens, pois este só efetua parametrizações típicas para grelhas de 3 km ou inferiores, não considerando os processos de gelo e neve;
- o mecanismo químico GRS utilizado não é sensível a pequenas alterações nos inventários de emissões de COV, por este facto a sua reatividade deve ser escolhida com atenção para cada região de aplicação do modelo.

## 4.2 CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

O modelo foi aplicado nas suas duas componentes, meteorológica e poluição, à aglomeração do Porto Litoral, para o ano 2012, com uma resolução temporal horária. Os poluentes simulados e analisados foram as PM10 e o NO<sub>2</sub>.

O TAPM foi aplicado a um domínio que abrange a aglomeração do Porto Litoral, com dimensões de 80 x 80 km<sup>2</sup> e uma resolução horizontal de 1 x 1 km<sup>2</sup>, como se pode observar na Figura 14. Verticalmente, o modelo considera um domínio de 8000 metros, distribuído por 25 níveis com espaçamento desigual, sendo o primeiro nível superficial a 10 metros.

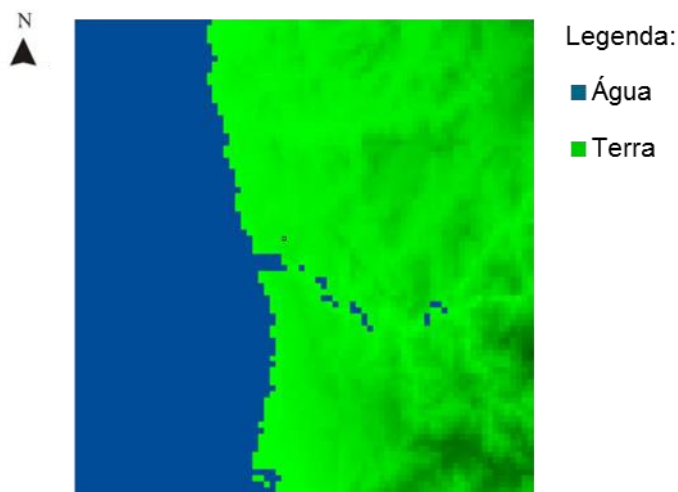


Figura 14 – Domínio de simulação 80 km x 80 km.

Para além das bases de dados que o próprio sistema contém (topografia, uso do solo, temperatura superficial da água do mar, análises sinópticas), foram preparados e fornecidos como dados de entrada, ficheiros relativos às emissões dos poluentes para a atmosfera, alusivos às emissões em área/volume, em linha, pontuais, grelha e biogénicas.

Foram consideradas como emissões em área/volume as provenientes do aeroporto Francisco Sá Carneiro e do porto de Leixões; na Figura 15 estão representadas as áreas de influência dessas duas fontes. Obtiveram-se as emissões destas fontes através do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA). Este inventário é da responsabilidade da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e é elaborado anualmente segundo a metodologia CORINAIR, e submetido no âmbito da Convenção sobre a Poluição Atmosférica transfronteiriça a Longas Distâncias (CLRTAP).

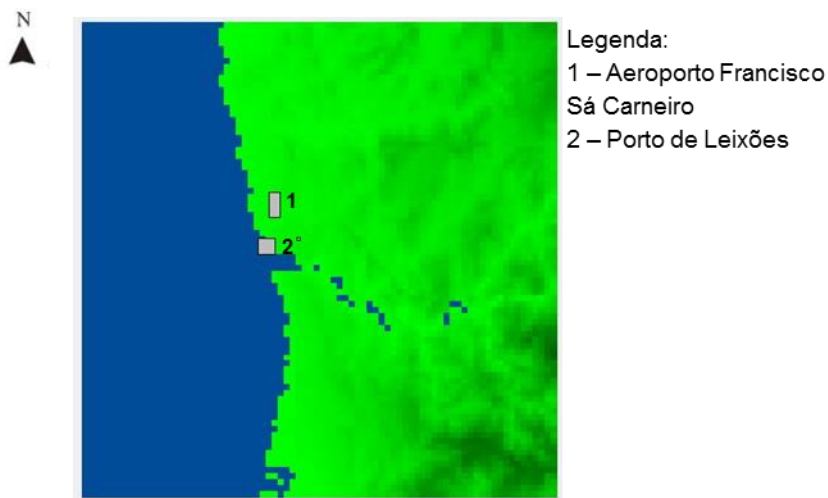


Figura 15 – Localização das fontes em área / volume no domínio de simulação 80 km x 80 km.



As fontes pontuais, pela sua dimensão ou contributo para as emissões totais de uma determinada área, requerem um tratamento individual. No domínio de simulação existem oito grandes fontes pontuais (referidas na secção 3.4 *Medidas de melhoria da qualidade do ar*) estando a sua localização representada na Figura 16. A informação referente às emissões das fontes pontuais resulta da base de dados europeia E-PRTR (The European Pollutant Release and Transfer Register). Esta contém dados que são reportados anualmente por mais de 30 000 instalações industriais de toda a Europa.

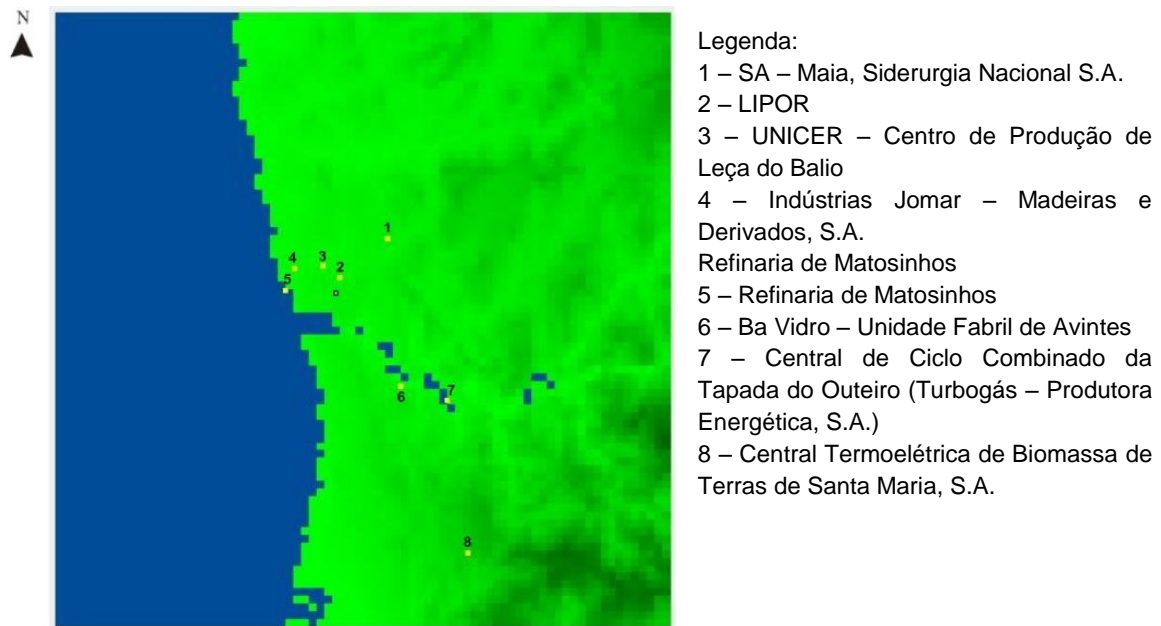
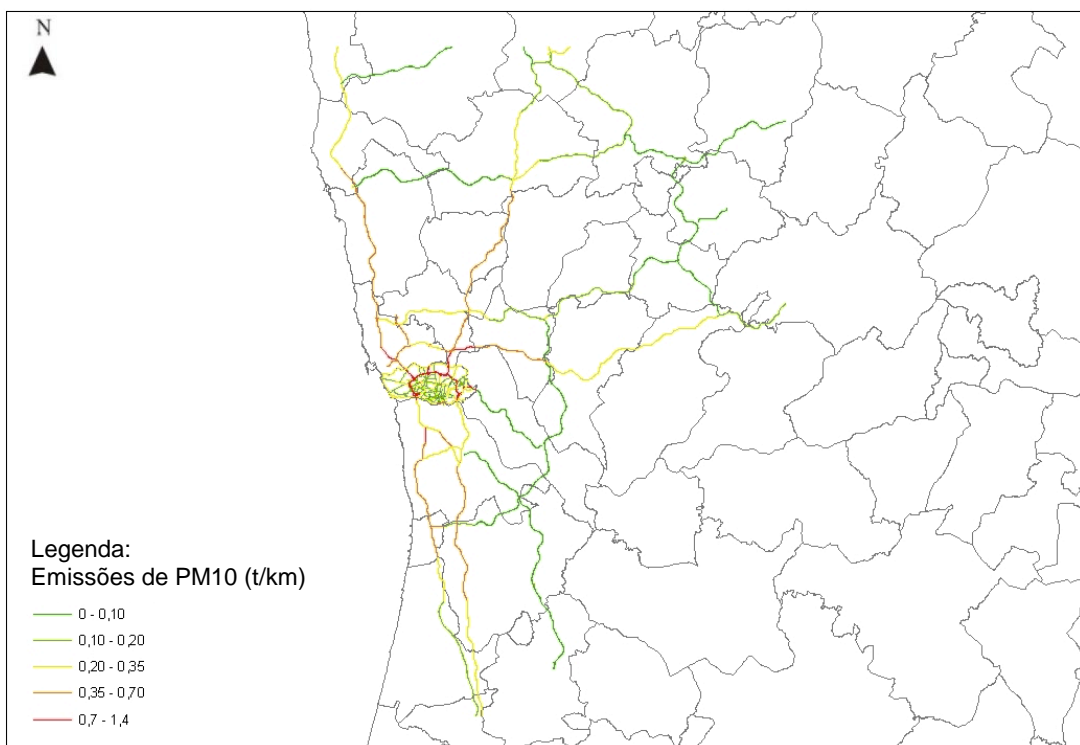
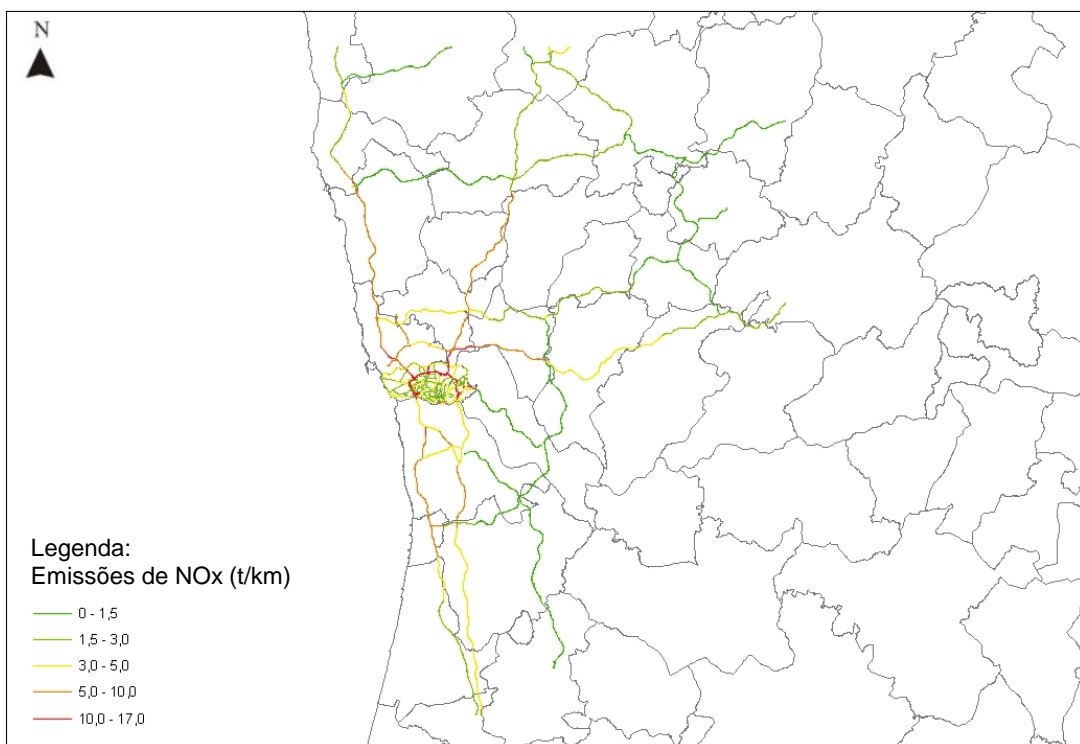


Figura 16 – Representação das oito fontes pontuais no domínio de simulação 80 km x 80 km.

Relativamente às fontes em linha, estas são normalmente associadas a fontes móveis, ou seja, integram as emissões do tráfego rodoviário. Foram consideradas as emissões de poluentes estimadas pelo modelo TREM (Tchepel, 2003), para as autoestradas e estradas da área urbana do Porto, apresentadas na Figura 17.



(a)

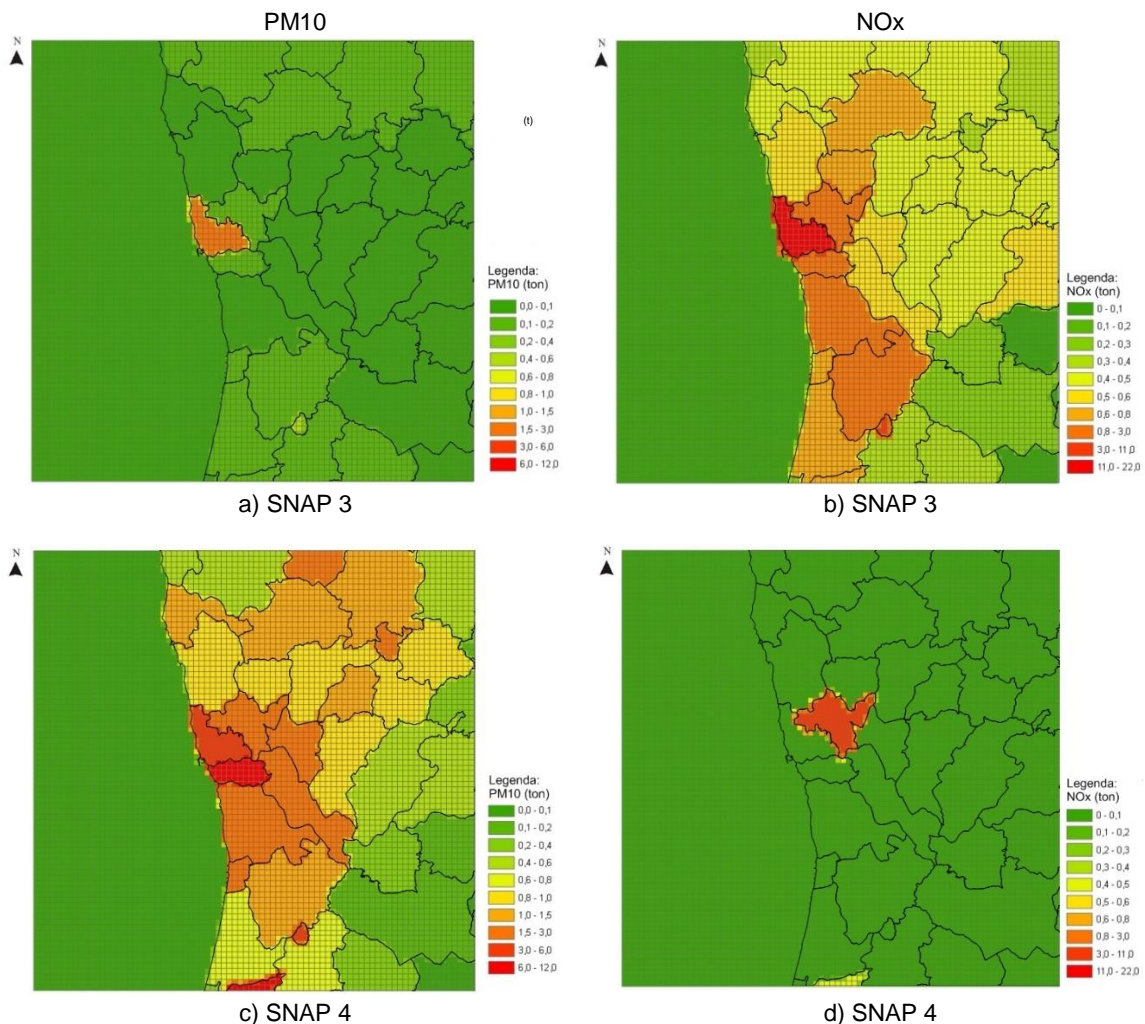


(b)

Figura 17 – Emissões (em t/km) de PM10 (a) e NOx (b), para o cenário de referência.

É no concelho do Porto que as emissões de PM10 e NOx são mais elevadas, sendo de 1,4 t/km e 17 t/km, respetivamente e onde se verifica que existem mais emissões em linha. É de realçar que as emissões de poluentes a partir de todas as estradas do Porto foram consideradas como fontes em linha, à exceção das residenciais, e para os restantes concelhos apenas foram consideradas as emissões das principais autoestradas. As restantes emissões do tráfego rodoviário foram consideradas no modelo como fontes em grelha.

As emissões provenientes dos diferentes SNAP's 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 foram consideradas como fontes em grelha. As emissões das SNAP's 3, 4 e 7 de PM10 e NOx, para o cenário de referência, são apresentadas na Figura 18.



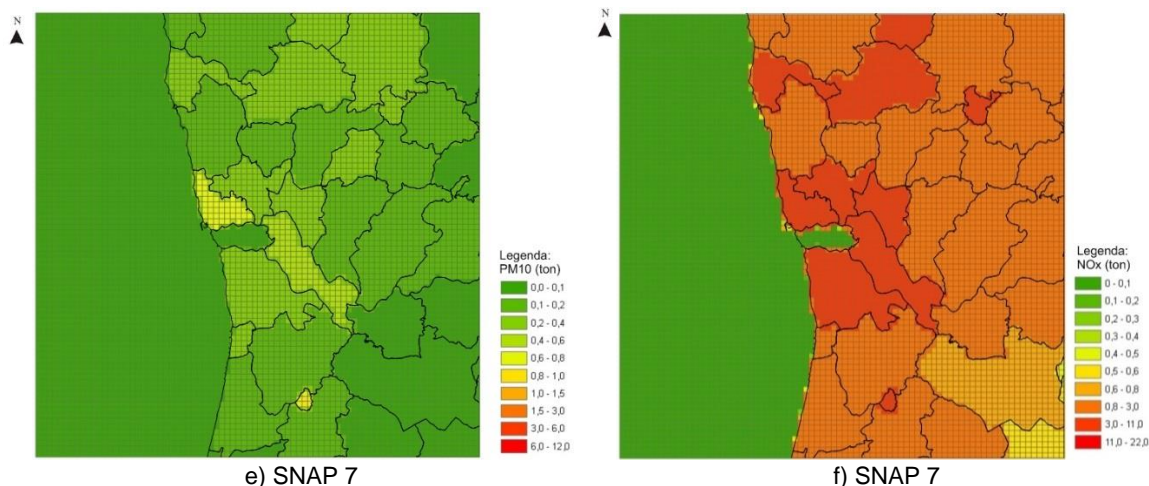


Figura 18 – Emissões de PM10 (t), provenientes do SNAP 3 (a), SNAP 4 (c) e SNAP 7 (e) e emissões de NOx (t) provenientes do SNAP 3 (b), SNAP 4 (d) e SNAP 7 (f), para o cenário de referência.

Os mapas da Figura 18 permitem localizar os concelhos com emissões mais elevadas de PM10 e NOx, com origem na combustão industrial (SNAP 3), processos de produção (SNAP 4) e transportes rodoviários (SNAP 7), verificando-se que as emissões ocorrem com maior expressão nos concelhos do litoral, pois são os mais povoados e onde se localizam a maioria das grandes fontes industriais. Uma vez que as emissões do SNAP 7 no concelho do Porto foram consideradas como fontes em linha, verifica-se emissão zero neste concelho.

### 4.3 RESULTADOS

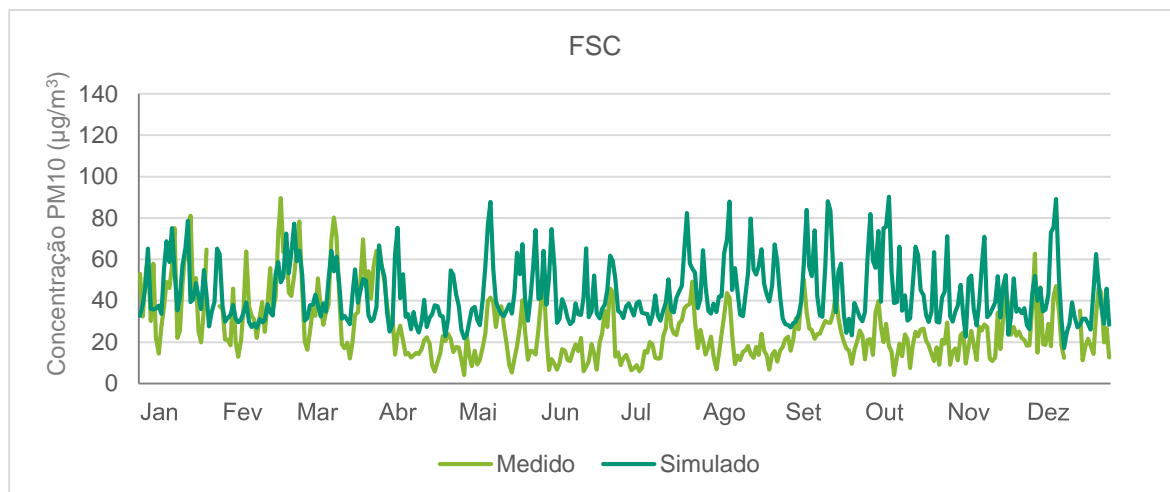
As simulações efetuadas pelo modelo permitiram obter as concentrações horárias de PM10 e NO<sub>2</sub>, para o cenário de referência e cenários de redução. Apresentam-se os resultados das simulações, bem como a avaliação de desempenho do modelo, e as melhorias conseguidas na qualidade do ar decorrentes da aplicação das medidas de redução de emissões.

#### 4.3.1 CENÁRIO DE REFERÊNCIA

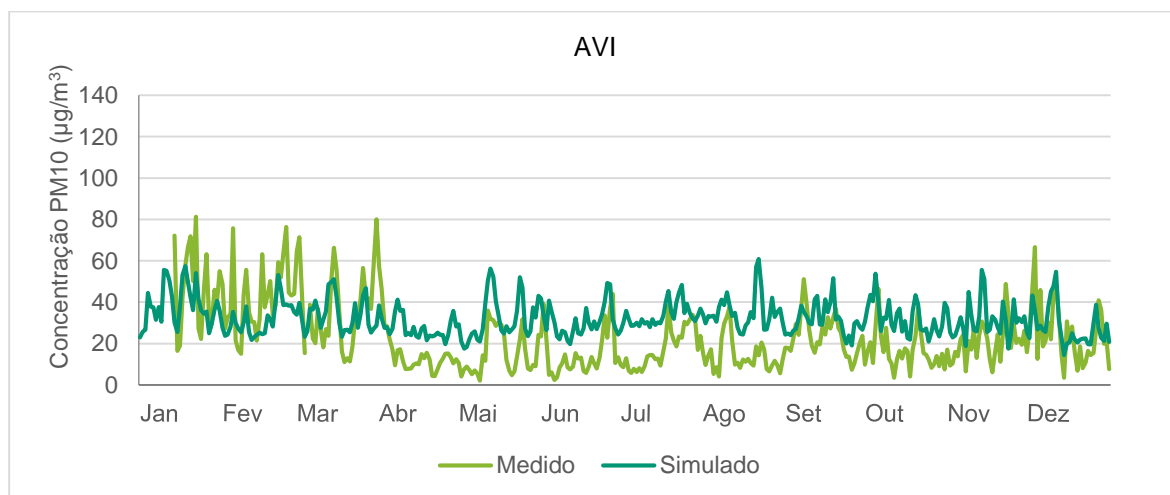
Foi efetuada uma análise do desempenho do modelo através da comparação entre as concentrações simuladas e medidas nas estações de qualidade do ar. Para além

das estações localizadas na aglomeração do Porto Litoral (Tabela 4, secção 3.3 *Avaliação da qualidade do ar*) foram ainda consideradas as estações tráfego: Pe. Moreira Neves – Castelões de Cepeda (PMN) e Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém (AZU); e urbanas de fundo: Burgães – Santo Tirso (STR) e Paços de Ferreira (PFE). Todas as estações consideradas apresentaram eficiência superior a 75% (ver Anexo C), sendo que a estação Leça do Balio – Matosinhos (LEC), para PM10 foi que apresentou menor eficiência - 81,2%. A estação Paços de Ferreira (PFE), para NO<sub>2</sub> foi excluída da análise por se considerarem alguns dos dados validados pouco coerentes, e ao elimina-los a eficiência requerida não se verificava.

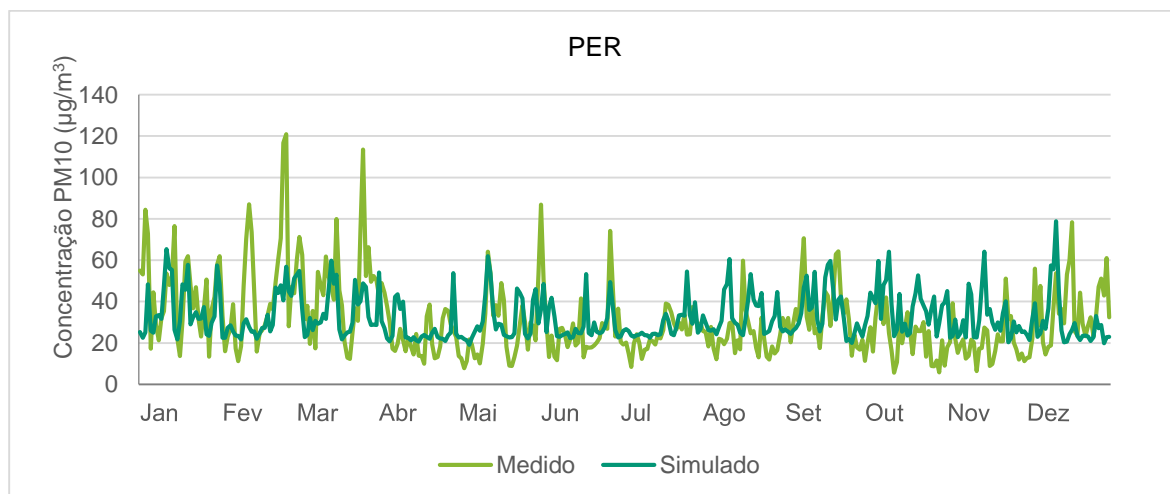
As Figuras 19 e 20 apresentam, respetivamente a evolução temporal das concentrações médias diárias de PM10 medidas e simuladas, para as estações Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC), Avintes (AVI) e Meco – Perafita (PER) e as médias horárias de NO<sub>2</sub> medidas e simuladas para as estações Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC), Avintes (AVI) e D. Manuel II – Vermoim (VER).



a)

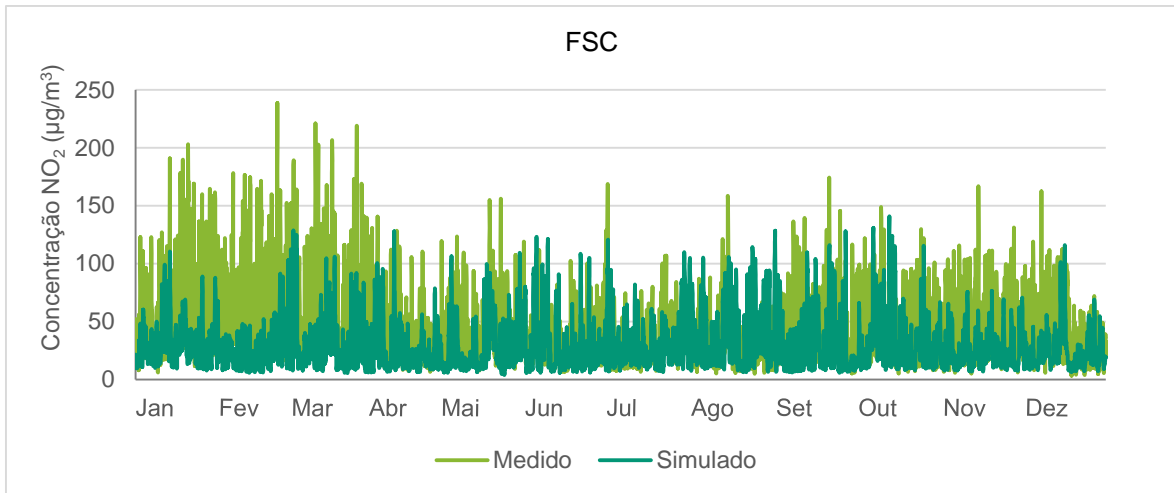


b)

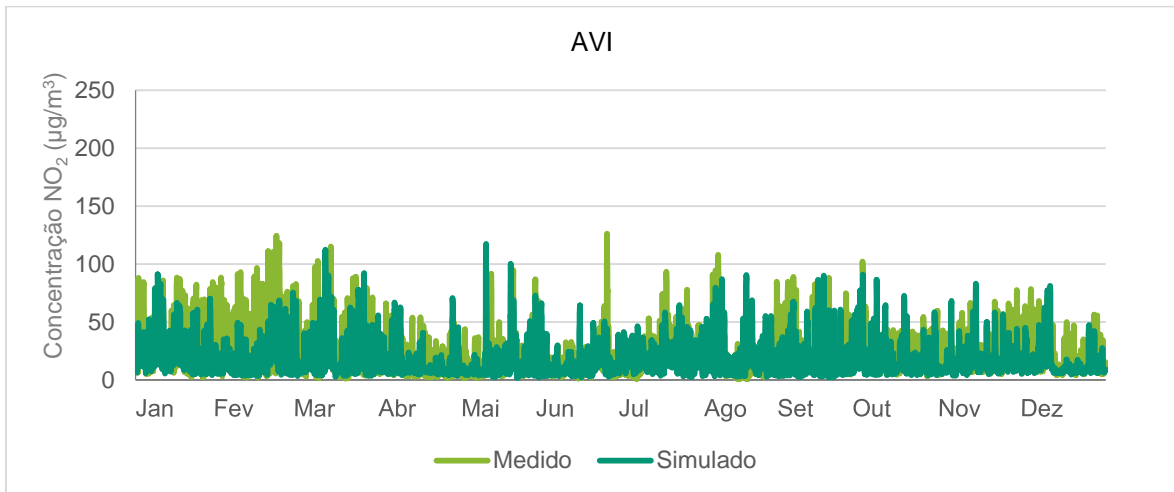


c)

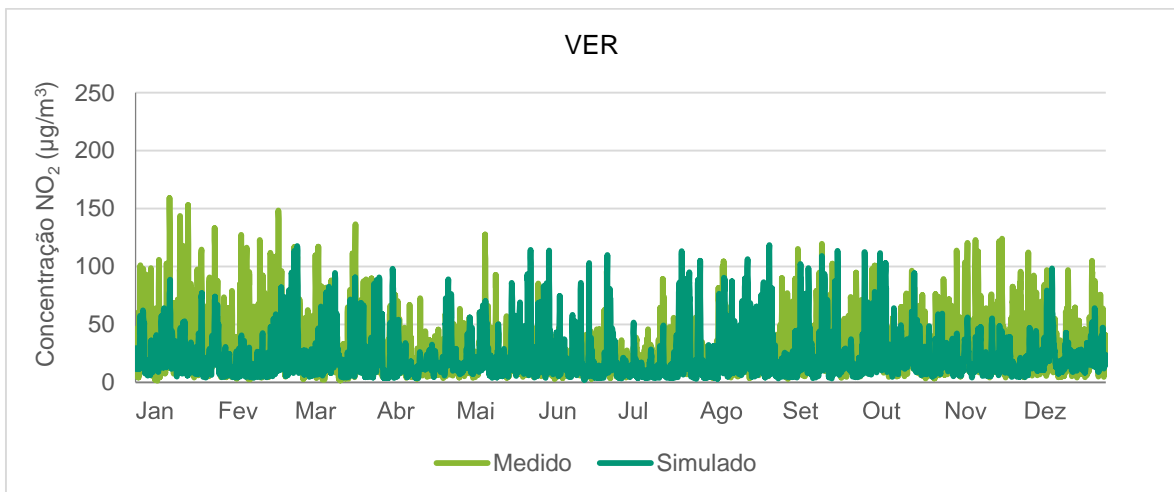
Figura 19 – Evolução temporal das concentrações médias diárias de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medidas e simuladas com o TAPM para as estações FSC (a), AVI (b), PER (c).



a)



b)



c)

Figura 20 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) medidas e simuladas com o TAPM para as estações FSC (a), AVI (b) e VER (c).

A partir da análise dos gráficos, é possível verificar que o modelo tem tendência para sobrestimar as concentrações de PM10 e subestimar as concentrações de NO<sub>2</sub>. A estação industrial Meco – Perafita (PER) é a que parece apresentar as concentrações de PM10 simuladas mais próximas das medidas (Figura 19 (c)). A estação Avintes (AVI) (Figura 20 (b)), para NO<sub>2</sub>, parece apresentar melhor desempenho, facto este que pode ser explicado tendo em conta a tipologia desta estação (urbana de fundo), que leva a menores variações temporais da concentração, ao contrário das estações de tráfego apresentam maiores variações, devido à influência direta de fontes emissoras.

Para a avaliação quantitativa do desempenho do modelo foram calculados os parâmetros estatísticos erro quadrático médio (RMSE), erro sistemático médio (BIAS) e o coeficiente de correlação (r), segundo as equações:

$$\text{- Erro quadrático médio (RMSE): } RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad [1]$$

$$\text{- Erro sistemático médio (BIAS): } BIAS = \bar{P} - \bar{O} \quad [2]$$

$$\text{- Coeficiente de correlação (r): } r = \left[ \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sigma_O \sigma_P} \right] \quad [3]$$

Onde:

P – valores estimados

O – valores medidos

$\bar{P}$  – Média dos valores estimados

$\bar{O}$  – Média dos valores medidos

N – Número de valores

$\sigma_O$  – Desvio padrão dos valores observados

$\sigma_P$  – Desvio padrão dos valores simulados

O erro quadrático médio (RMSE) (Equação 1) permite determinar o erro total do modelo, sendo que quanto mais próximo de zero, melhor terá sido o desempenho do modelo (Schlünzen & Sokhi, 2008).



O erro sistemático médio (BIAS) (Equação 2) permite determinar se o modelo subestima ou sobrestima os valores observados. O valor ideal neste parâmetro é zero (Schlünzen & Sokhi, 2008), uma vez sendo negativo, significa a subestimativa do modelo e quando positivo indica a sobrestimava dos valores simulados em relação aos medidos.

O coeficiente de correlação ( $r$ ) reflete a relação linear entre as concentrações medidas e simuladas (Borrego et al., 2008), sendo que a correlação é boa quando o coeficiente é 1 (Borrego, et al., 2012a).

Correia (2012) determinou gamas de valores de desempenho aceitáveis, para diversos indicadores e poluente. Na Tabela 7 são apresentadas as gamas de valores para os parâmetros indicados, segundo Correia (2012), relativamente às médias diárias de PM10 e horárias de NO<sub>2</sub>.

*Tabela 7 – Gama de desempenho para os parâmetros estatísticos (Correia, 2012).*

Parâmetro	PM10	NO <sub>2</sub>
	Média Diária	Média Horária
RMSE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	[8,5 – 35,5]	[18,5 – 30,0]
BIAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	[-35,0 – 25,0]	[-15,0 – 12,5]
$r$	[0,45 – 0,75]	[0,40 – 0,70]

Nas Figuras 21 e 22 são apresentados os parâmetros estatísticos calculados para as médias diárias de PM10 e médias horárias de NO<sub>2</sub> respetivamente, relativas ao ano 2012 e respetiva comparação com a gama de desempenho proposta.

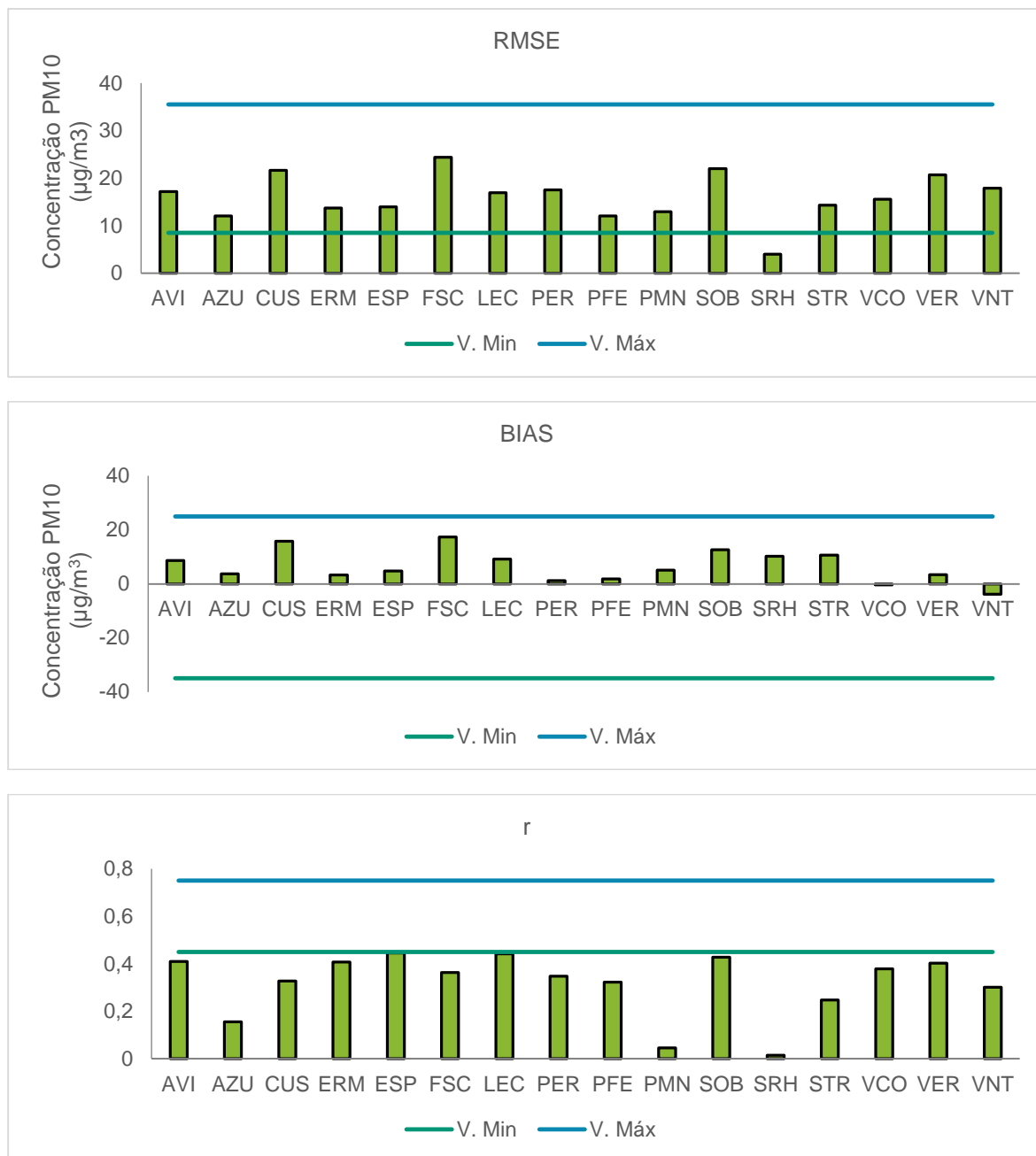


Figura 21 – Parâmetros estatísticos calculados para médias diárias de PM10 (a linha verde representa o valor mínimo (V. Min) e a linha azul o valor máximo (V. Máx), apresentados na Tabela 7).

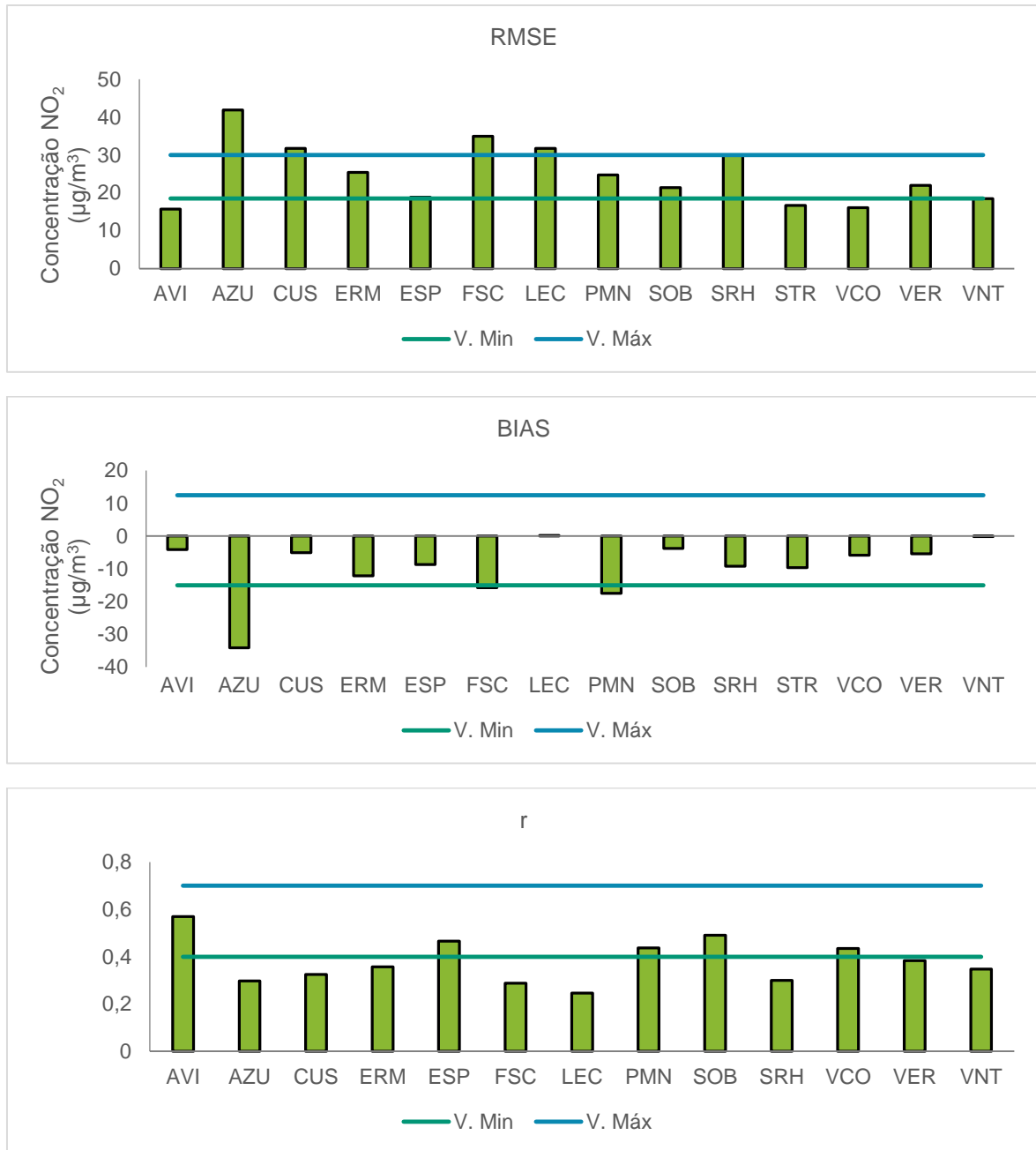


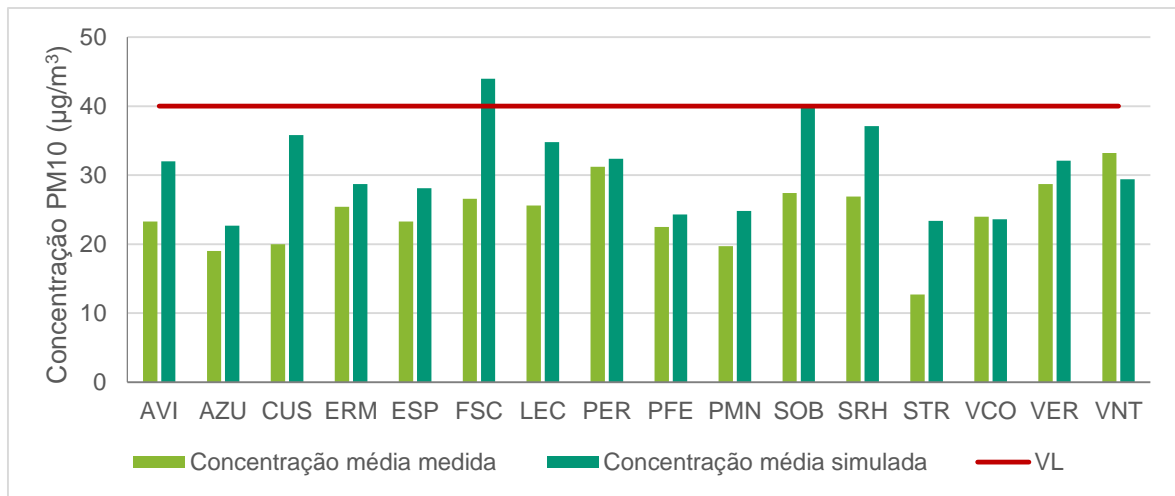
Figura 22 – Parâmetros estatísticos calculados para médias horárias  $\text{NO}_2$  (a linha verde representa o valor mínimo (V. Min) e a linha azul o valor máximo (V. Máx), apresentados na Tabela 7).

Para o poluente  $\text{PM}_{10}$ , o parâmetro RMSE encontra-se dentro gama de valores proposta por Correia (2012) [8,5 – 35,5], à exceção da estação João Gomes Laranjo – S. Hora (SRH) que se encontra abaixo, mas mais próxima de zero. Para o parâmetro BIAS, todas as estações estão dentro da gama proposta [-35 – 25]. Em relação ao coeficiente de correlação os valores encontram-se completamente fora da gama de valores [0,45 – 0,75] o que revela a dificuldade do modelo descrever as variações temporais. O modelo

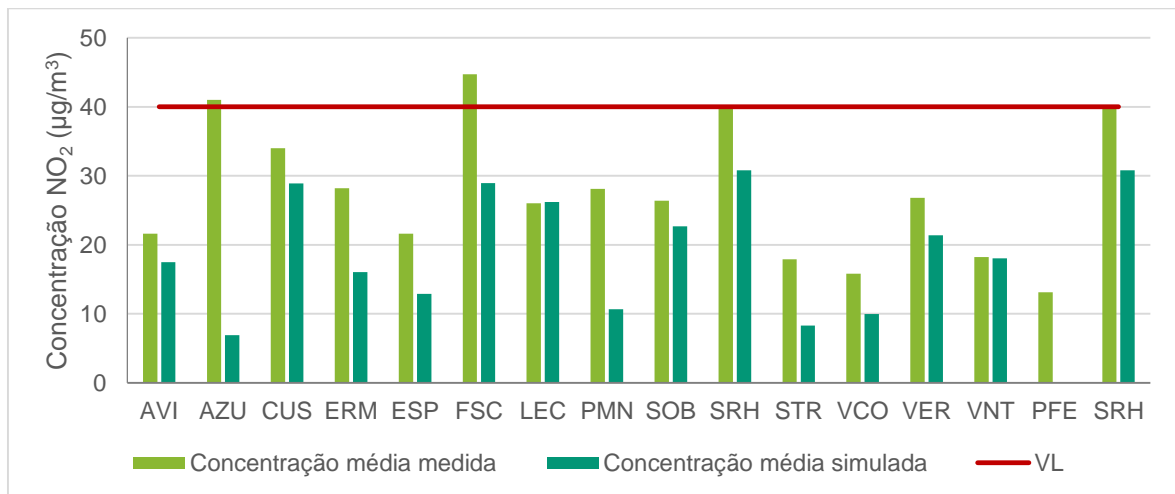
apresenta a tendência para sobrestimar as concentrações medidas, especialmente para a estação Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC), sendo a que apresenta um BIAS mais elevado. Por sua vez as concentrações medidas nas estações de Mindelo – V. Conde (VCO) e Vila Nova da Telha – Maia (VNT) são subestimadas (BIAS negativo). Conclui-se que para as médias diárias de PM10 o desempenho do modelo é satisfatório, coerente com as gamas de desempenho propostas, à exceção dos valores para coeficiente de correlação.

Relativamente ao NO<sub>2</sub>, o parâmetro RMSE apresenta valores abaixo da gama proposta [18,5 – 30], para as estações de Avintes (AVI), Burgães – Santo Tirso (STR) e Mindelo – Vila do Conde (VCO) e a cima para as estações de Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém (AZU), Custóias – Matosinhos (CUS), Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC) e Leça do Balio – Matosinhos (LEC), acusando um fraco desempenho do modelo para estas últimas estações. Os resultados para o parâmetro BIAS indicam a tendência do modelo subestimar as concentrações medidas, excetuando-se as estação Leça do Balio – Matosinhos (LEC), onde os valores são sobrestimados. A estação Vila Nova da Telha – Maia (VNT) é a que apresenta os valores simulados mais próximos dos medidos (BIAS = -0,16 µg/m<sup>3</sup>). À exceção das estações de Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém (AZU), Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC) e Pe. Moreira Neves – Castelões de Cepeda (PMN), os valores encontram-se dentro da gama proposta por Correia (2012). A estação de tráfego Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém (AZU), apresenta um valor simulado muito inferior ao medido, destacando-se das restantes estações. O sucedido poderá ser justificado por não terem sido introduzidas emissões com origem no tráfego, especificamente para as linhas na zona da estação (concelho de Guimarães), sendo considerada a mesma emissão em todo o concelho, subestimando as zonas de maior tráfego. Outro fator que poderá ter influência consiste no facto da estação se localizar próximo dos limites do domínio, tendo como consequência estar a sofrer a influência de emissões fora do domínio de simulação que não foram contabilizadas. No que se refere ao coeficiente de correlação, existem cinco estações dentro da gama de valores, sendo para estas que descreve a melhor variação temporal. Conclui-se que o desempenho do modelo não é totalmente satisfatório relativamente às gamas propostas por Correia (2012), porque para muitas estações os resultados encontram-se fora da gama.

Na Figura 23 são comparadas as médias anuais medidas e simuladas, para PM10 (base diária) (a) e NO<sub>2</sub> (base horária) (b), permitindo identificar as estações que ultrapassam o valor limite (40 µg/m<sup>3</sup>).



a)



b)

Figura 23 – Concentrações médias anuais medidas e simuladas de PM10 (a) em base diária ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e  $\text{NO}_2$  (b) em base horária ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (a linha vermelha representa valor limite anual de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

O modelo simulou as concentrações mais elevadas para a estação Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC), pois a concentração medida é de  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e a simulada é de  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o mesmo se verifica para as estações de Custóias – Matosinhos (CUS), Sobreiras – Lordelo do Ouro (SOB) e João Gomes Laranjo – S. Hora (SRH). É também possível verificar que os valores simulados são mais próximos dos medidos nas estações Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém (AZU), Meco – Perafita (PER), Paços de Ferreira (PFE), Mindelo – Vila do Conde (VCO) e Vila Nova da Telha – Mais (VNT).

Relativamente ao  $\text{NO}_2$  confirma-se a tendência para o modelo subestimar as concentrações medidas (Figura 23 (b)). De acordo com as concentrações simuladas, todas as estações estariam em cumprimento ao valor limite, facto que na realidade não

ocorre, pois a estação Francisco Sá Carneiro – Campanhã (FSC) no ano 2012, apresentou uma concentração média anual de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . É ainda de realçar a elevada discrepância entre a concentração média medida e simulada na estação Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém (AZU).

Na Figura 24 são apresentadas as concentrações médias anuais de PM10 (a) e NO<sub>2</sub> (b), obtidas a partir das concentrações horárias simuladas pelo modelo. Os quadrados representados indicam as concentrações medidas na respetiva estação de monitorização da qualidade do ar.

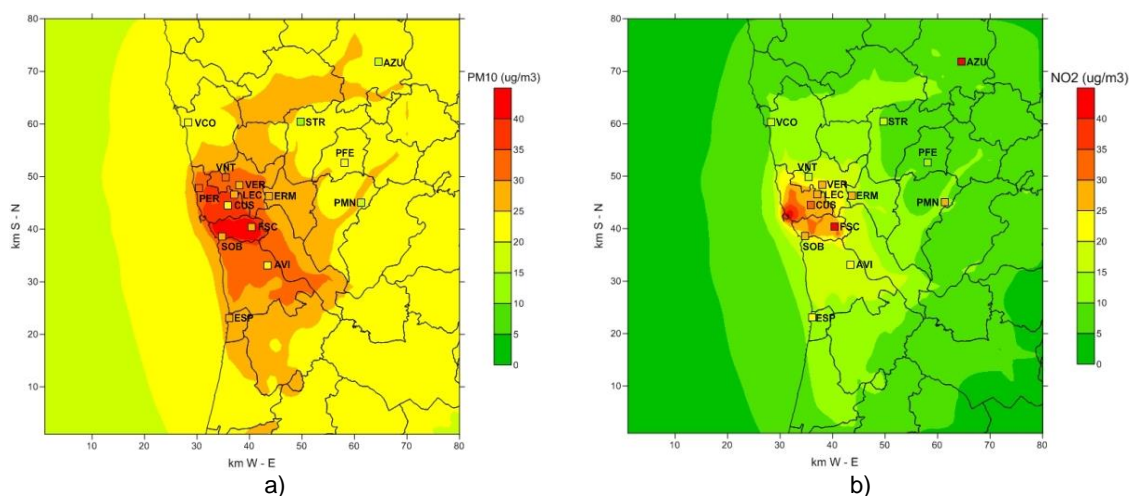


Figura 24 – Concentrações anuais ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simuladas de PM10 (a) e NO<sub>2</sub> (b), para o cenário de referência e concentrações médias medidas nas estações de monitorização da qualidade do ar, para o ano 2012.

As concentrações mais elevadas de PM10 são simuladas para os concelhos urbanos do Porto (Porto, Matosinhos, Maia, Gondomar e Vila Nova de Gaia), sendo o valor máximo de  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o mínimo de  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A distribuição da concentração média anual de NO<sub>2</sub> apresenta valores simulados inferiores a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na maioria do domínio, sendo os máximos simulados no concelho de Matosinhos ( $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ambos os poluentes registam concentrações superiores ao valor limite ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A análise dos mapas permite confirmar a tendência apresentada pelo modelo para sobrestimar as concentrações de PM10 e subestimar as concentrações de NO<sub>2</sub>.

### 4.3.2 CENÁRIOS DE REDUÇÃO

O modelo TAPM foi aplicado aos cenários de redução obtidos considerando a redução das emissões decorrentes das considerações apresentadas na secção 3.4 *Medidas de Melhoria da Qualidade do Ar*. As concentrações horárias simuladas para cada um dos cenários foram tratadas de forma a obter mapas para as distribuições espaciais das concentrações médias anuais e a diferença percentual entre as concentrações médias anuais obtidas para o cenário de referência e para cada um dos cenários de redução. É ainda analisada a variação temporal das concentrações, para o cenário de referência e o cenário de redução.

#### 4.3.2.1 Introdução de veículos híbridos

Na Figura 25 são apresentados os resultados correspondentes ao cenário de redução introdução de veículos híbridos para as PM10 (a) e NO<sub>2</sub> (c) e os respetivos mapas com a percentagem de redução atingida para as PM10 (b) e NO<sub>2</sub> (d).

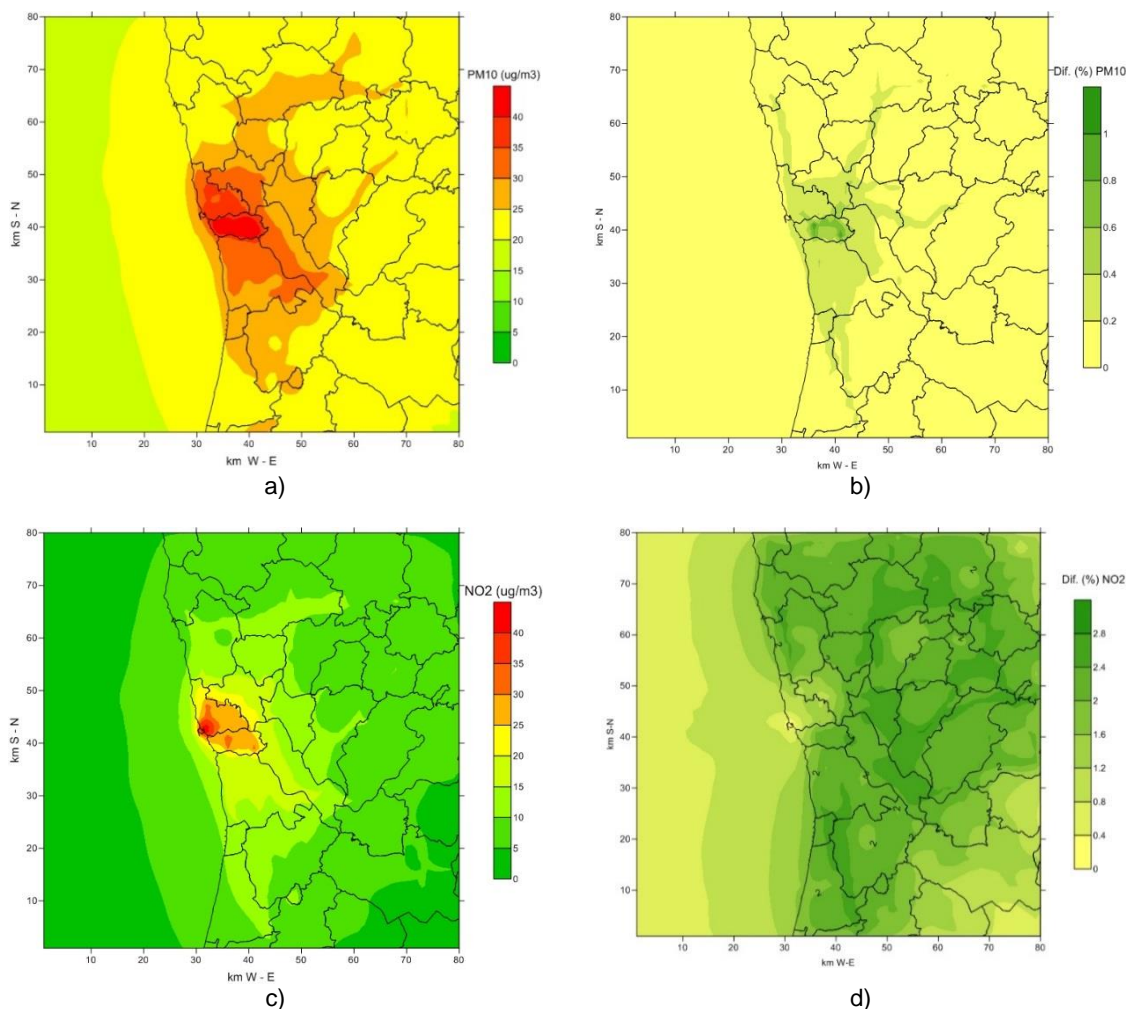


Figura 25 – Concentrações anuais de PM10 (a) e NO<sub>2</sub> (c) em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e respetiva percentagem de redução (b) e (d) resultante da diferença entre o cenário de referência e cenário de redução relativo à introdução de veículos híbridos.

As variações espaciais das concentrações de PM10, para o cenário de redução, não diferem consideravelmente das variações apresentadas para o cenário de referência (Figura 24 (a)). De facto a análise da Figura 25 (b) permite verificar que a redução não é muito elevada e estende-se por uma pequena área, onde as maiores reduções se verificam no concelho do Porto.

No entanto, para as concentrações de NO<sub>2</sub> (Figura 25 (c)) são perceptíveis ligeiras diferenças em relação ao cenário de referência, principalmente no concelho do Porto. A percentagem de redução é elevada em quase todo o domínio, verificando-se as percentagens mais baixas no concelho de Matosinhos e na área correspondente ao oceano Atlântico.



A redução máxima registada nas concentrações de PM10 é de 1% e de 2,8% nas concentrações de NO<sub>2</sub>. O setor dos transportes em 2012 foi responsável por 7% das emissões de PM10 e 59% das emissões de NO<sub>2</sub>, pelo que seria expectável que os resultados para este segundo poluente atingissem reduções mais elevadas do que para PM10.

#### 4.3.2.2 Substituição de depoeiradores nas fontes industriais

As concentrações simuladas pelo modelo, para PM10, e a percentagem de redução alcançada, no que se refere ao cenário de redução resultante da aplicação da medida substituição de depoeiradores nas fontes industriais são apresentadas na Figura 26 (a) e (b), respetivamente. São apenas apresentados resultados para PM10, uma vez que a tecnologia aplicada e descrita na secção 3.4.2 *Substituição de depoeiradores nas fontes industriais* influencia apenas este poluente.

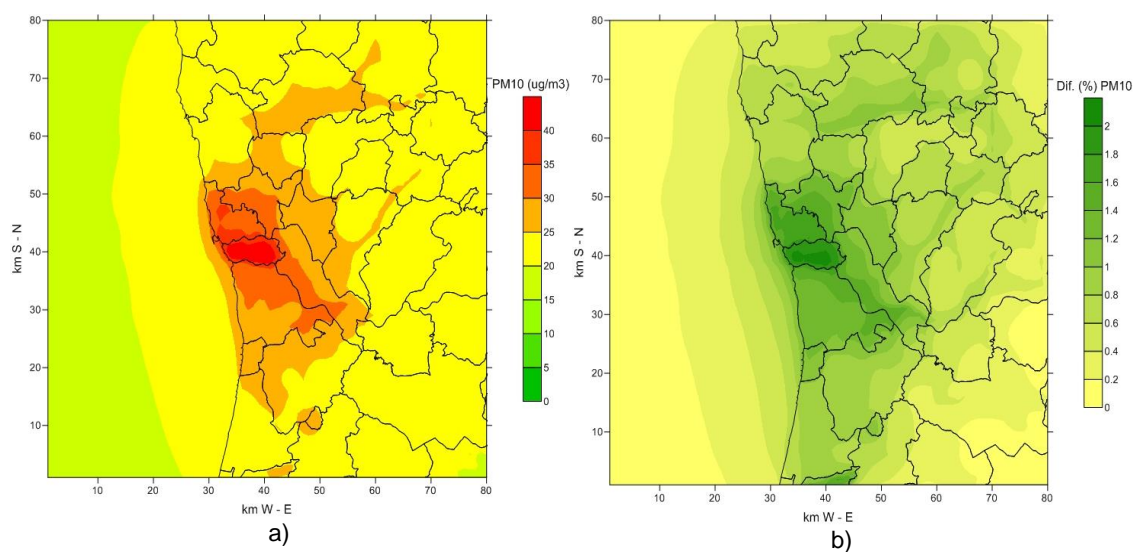


Figura 26 – Concentrações anuais de PM10 em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e respetiva percentagem de redução resultante da diferença entre o cenário de referência e cenário de redução relativo à substituição de depoeiradores nas fontes industriais.

Com a aplicação da medida, a distribuição espacial das concentrações de PM10, não difere muito da distribuição obtida para o cenário de referência, sendo que as maiores reduções registam-se para o concelho do Porto.

A medida apresentada permite atingir uma redução nas concentrações de PM10 de 2%, com concentrações máximas de  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A percentagem de redução, não

permite que sejam resolvidos os problemas de qualidade do ar, pois continuariam a existir áreas em que as concentrações seriam superiores ao valor limite de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.3.2.3 Medida dos híbridos + Medida indústria

Os resultados obtidos com a simulação de cada uma das medidas analisadas anteriormente indica que com aplicação das medidas propostas os problemas na qualidade do ar da aglomeração do Porto Litoral não seriam resolvidos. Assim, foi também avaliado o impacto das duas medidas, em conjunto, sobre as concentrações de PM10. A Figura 27 apresenta a percentagem de redução obtida.

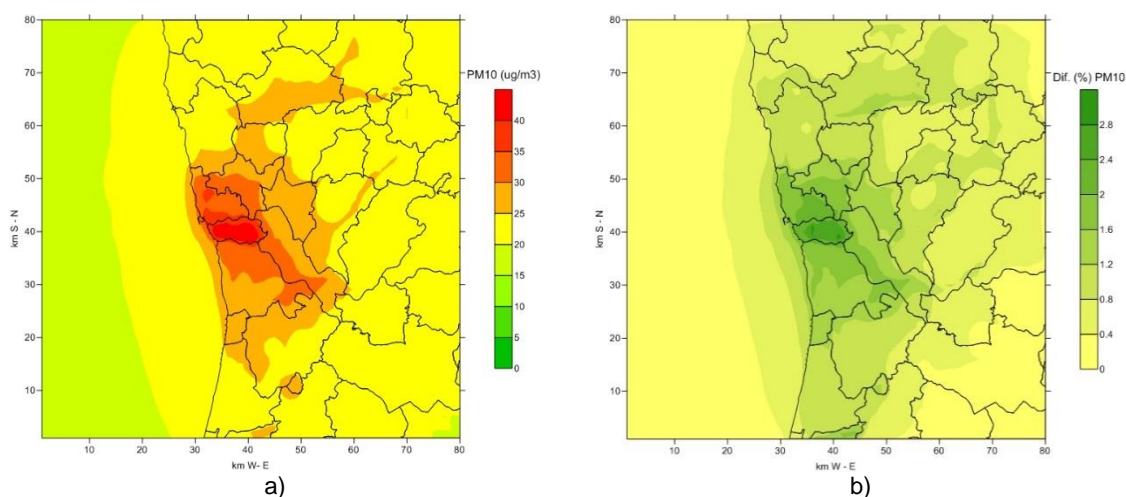


Figura 27 – Concentrações anuais de PM10 em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e respetiva percentagem de redução resultante da aplicação da medida dos híbridos e da indústria.

Com aplicação das duas medidas é possível notar diferenças na distribuição espacial das concentrações de PM10, especialmente no concelho de Matosinhos. Verifica-se uma redução total de 2,8%

Com uma taxa de redução de apenas 3% continuam a existir áreas em excedência no domínio de simulação e consequentemente na aglomeração do Porto Litoral. A título de exemplo, o valor médio anual simulado para PM10 na estação Francisco Sá Carneiro – Campanhã para o cenário de referência de  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , continuaria a ultrapassar o valor limite.

Foi possível verificar que as medidas propostas contribuem para reduzir ligeiramente as concentrações dos poluentes em estudo, não sendo suficientes para que

o valor limite anual seja cumprido. Este facto reflete a necessidade de serem testadas mais medidas. No caso do poluente PM10, seria interessante testar medidas direcionadas para o setor da combustão residencial e comercial, para o NO<sub>2</sub> seria necessário propor mais medidas direcionadas para o setor dos transportes.



## 5. SÍNTESE CONCLUSIVA

A Diretiva-Quadro da qualidade do ar ambiente define e fixa objetivos relativos à qualidade do ar. Impõe que os EM implementem PQA nas zonas e aglomerações onde as concentrações de poluentes atmosféricos ultrapassem os padrões de qualidade do ar, definidos. Apesar da UE ter vindo a melhorar a qualidade do ar nos últimos anos, os problemas causados pela poluição atmosférica persistem, pelo que são diversos os PQA existentes, associados às excedências, essencialmente de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

Em Portugal têm sido elaborados PQA devido às excedências aos valores limite de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, por parte de determinados setores de atividade. Consta-se existir um cuidado geral em direcionar esforços para a adoção de medidas que incidam sobre os setores de atividade responsáveis pela maioria das emissões dos poluentes mais críticos. A maioria das medidas são direcionadas para o setor dos transportes por este ser, regra geral, a maior fonte de emissão de poluentes, seja a nível da UE, Portugal ou da Região Norte.

Na aglomeração do Porto Litoral, têm-se registado, em vários anos consecutivos, excedências aos valores limite de PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>, pelo que no decorrer desta dissertação foi elaborada uma lista de medidas de melhoria da qualidade do ar, com o objetivo de reduzir as concentrações destes poluentes, levando à melhoria da qualidade do ar e evitar episódios de incumprimento aos valores limite definidos na Diretiva. Esta lista conta com medidas técnicas (ex: introdução de veículos baixa emissão nos transportes coletivos e de mercadorias) e não técnicas (ex: Zona de Emissão Reduzida). Devido às especificidades da aglomeração do Porto Litoral, caso de estudo neste trabalho, foram selecionadas duas medidas a partir da referida lista com o intuito de avaliar o seu contributo para a melhoria da qualidade do ar. Essas medidas consistiram na introdução de veículos híbridos e a substituição de despoeiradores nas fontes industriais, selecionadas pelo facto do setor dos transportes e o setor da indústria os que mais contribuem para a emissão de PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>.

Após a construção do cenário de referência, com as emissões para o ano 2012, e dos cenários de redução resultantes da aplicação das medidas, recorreu-se ao modelo TAPM com o intuito de avaliar os seus impactes na qualidade do ar da aglomeração do Porto Litoral. O desempenho do modelo TAPM foi avaliado comparando os dados medidos pelas estações de monitorização da qualidade do ar e simulados pelo modelo,

para todas as estações do domínio de simulação. Verificou-se que para as simulações relativas ao poluente PM10, os resultados obtidos são satisfatórios, ainda assim o modelo apresenta tendência para sobrestimar os valores medidos. Foram obtidos resultados menos positivos para valores simulados de NO<sub>2</sub>, sendo que neste caso o modelo tende a subestimar os valores medidos, e para os três parâmetros analisados, muitas estações ficam abaixo ou acima da gama de valores aceitável, pelo que o desempenho do modelo é menos satisfatório para este poluente. É de referir, que a dificuldade em simular as concentrações mais próximas da realidade possível, principalmente para o NO<sub>2</sub>, poderá estar relacionada com o inventário de emissões utilizado ter a necessidade de ser mais detalhado.

Apesar das limitações apresentadas pelo modelo TAPM, foi possível concluir que as medidas apresentadas dão apenas um pequeno contributo para a redução das concentrações de PM10 e NO<sub>2</sub>, não sendo suficiente para resolver os problemas de qualidade do ar da aglomeração em estudo, pois continuariam a existir locais em excedência aos valores limite. A medida dos híbridos foi a que demonstrou melhores resultados na redução das concentrações de NO<sub>2</sub>, no entanto a aplicação das duas medidas em simultâneo permite obter a mesma percentagem de redução nas concentrações de PM10.

Concluindo, o trabalho desenvolvido pelos EM tem apresentado efeitos positivos na melhoria da qualidade do ar, sendo que os PQA ao definirem medidas que permitem reduzir as concentrações de poluentes, são um importante contributo. No entanto é necessário integrar custos e benefícios na metodologia de elaboração dos PQA. As medidas propostas e testadas dão um contributo na redução das concentrações de PM10 e NO<sub>2</sub>, na aglomeração do Porto Litoral, não sendo suficientes para resolver problemas de qualidade do ar. Como tal, verificou-se a necessidade de serem testadas mais medidas para o setor dos transportes (ex: implementação de uma zona de emissão reduzida na cidade do Porto) e uma vez que o setor da combustão comercial e residencial é o que contribui para grande parte das emissões de PM10 na área de estudo, testar e aplicar uma medida para este setor é fundamental (ex: substituir lareiras não certificadas por lareiras certificadas).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A&WMA. (2007). Air Pollution Emission Control Devices for Stationary Sources. *Air & Waste Management Association*, 1–6.
- APA. (2011). *Emissões de Poluentes Atmosféricos por Concelho 2009: Gases acidificantes e eutrofizantes, precursores de ozono, partículas, metais pesados e gases com efeito de estufa*. Amadora, Lisboa. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=150>
- APA. (2015). *Portuguese Informative Inventory Report: 1990 - 2013 - Submitted Under the Unece Convention on Long-Range Transboundary*. Amadora, Lisboa. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=150>
- Azevedo, F. (2005). *Aplicação da Diretiva Quadro do Ar à Cidade do Porto* (Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Borrego, C., Carvalho, A., Sá, E., Sousa, S., Coelho, D., Lopes, M., Monteiro, A., Miranda, A. I. (2011). Air Quality Plans for the Northern Region of Portugal: Improving Particulate Matter and Coping with Legislation. *Advanced Air Pollution Edited*, (978-953-307-511-2), 23. <http://doi.org/10.5772/18842>
- Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Miranda, a. I., Costa, a. M., Carvalho, a. C., & Lopes, M. (2008). Procedures for estimation of modelling uncertainty in air quality assessment. *Environment International*, 34(5), 613–620. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2007.12.005>
- Borrego, C., Monteiro, A., Sá, E., Carvalho, A., Coelho, D., Dias, D., & Miranda, a. I. (2012a). Reducing NO<sub>2</sub> Pollution over Urban Areas: Air Quality Modelling as a Fundamental Management Tool. *Water, Air, & Soil Pollution*. <http://doi.org/10.1007/s11270-012-1281-7>
- Borrego, C., Sá, E., Carvalho, A., Sousa, S., & Miranda, A. I. (2012b). Plans and programmes to improve air quality over Portugal: A numerical modelling approach. *International Journal of Environment and Pollution*, 48(1-4), 60 – 68. <http://doi.org/10.1504/IJEP.2012.049652>

- Borrego, C., Tchepel, O., Barros, N., & Miranda, a. I. (2000). Impact of road traffic emissions on air quality of the Lisbon region. *Atmospheric Environment*, 34, 4683 – 4690. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.004>
- CCDR-C. (2010). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região Centro*. Disponível em: [http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com\\_docman&task=doc...](http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_docman&task=doc...)
- CCDR-LVT. (2006). *Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Disponível em: <http://www.adene.pt/programa/pnaer-2020-plano-nacional-de-acao-para-energias>
- CCDR-LVT. (2009). *Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Lisboa. Disponível em: <http://www.ccdrlvt.pt/pt/qualidade-do-ar/1265.htm>
- CCDR-N. (2007a). *Plano de melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte* (No. AMB-QA-7/2007). Disponível em: <http://www2.ccdr-n.pt/pt/ambiente/qual-ar-emissoes-atmosfericas/planos-de-qualidade-do-ar/>
- CCDR-N. (2007b). *Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região do Norte*. Disponível em: <http://www2.ccdr-n.pt/pt/ambiente/qual-ar-emissoes-atmosfericas/planos-de-qualidade-do-ar/>
- CCDR-N. (2010). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Aglomeração de Braga* (No. AMB-QA-03/2010). Aveiro, Portugal. Disponível em: <http://www.ua.pt/ensino/PageCourse.aspx?id=138>
- CCDR-N. (2011). *Remodelação da Rede de Medida da Qualidade do Ar da Região Norte (Documento Técnico)*. Disponível em: <http://www2.ccdr-n.pt/pt/ambiente/qual-ar-emissoes-atmosfericas/documentos/>
- CCDR-N. (2012). *Relatório de Análise Estatística dos Dados de Qualidade do Ar, da Região Norte, em 2011*. Disponível em: <http://www2.ccdr-n.pt/pt/ambiente/qual-ar-emissoes-atmosfericas/documentos/>
- Correia, A. R. F. (2012). *Avaliação de desempenho de modelos de qualidade do ar* (Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.



- Coutinho, M., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2005). Comprehensive Air Quality Management of the Metropolitan Area of Porto. *3rd International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, Vol. II*, 1242–1252. Disponível em: <http://www.ua.pt/idad/PageText.aspx?id=9316>
- Coutinho, M., Ribeiro, C., & Borrego, C. (2007). Avaliação dos episódios de ozono de Julho e Agosto de 2003 na Região Sul de Portugal Continental. In *Actas da 9ª Conferência Nacional do Ambiente*. Aveiro, Portugal.
- D'Elia, I., Bencardino, M., Ciancarella, L., Contaldi, M., & Vialetto, G. (2009). Technical and Non-Technical Measures for air pollution emission reduction: The integrated assessment of the regional Air Quality Management Plans through the Italian national model. *Atmospheric Environment*, 43(39), 6182–6189. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.003>
- DEFRA. (2011). *Air Quality Plans for the Achievement of EU Air Quality Limit Values for Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) in the UK, Technical Report*. Londres.
- DGA. (2001). *Delimitação de Zonas e Aglomerações para Avaliação da Qualidade do Ar em Portugal*. Alfragide. Disponível em: [www.apambiente.pt/\\_cms/view/page\\_doc.php?id=302](http://www.apambiente.pt/_cms/view/page_doc.php?id=302)
- DieselNet. (2015). Emission Standards, European Union, Cars and Light Trucks. Disponível em: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- EC. (2013). *Commission Staff Working Document Accompanying the Communication on a revised EU Strategy on Air Pollution Proposal for a revision of Directive 2001/81/EC on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Proposal for a legislative instrument* (No. SWD(2013) 531). Bruxelas. Disponível em: [http://www.cep.eu/Analysen/COM\\_2013\\_920\\_Verringerung\\_Luftschadstoffe/SWD\\_2013\\_\\_531\\_Part\\_2.pdf](http://www.cep.eu/Analysen/COM_2013_920_Verringerung_Luftschadstoffe/SWD_2013__531_Part_2.pdf)
- EEA. (2010). *Impact of selected policy measures on Europe's air quality* (No. 8/2010). Copenhaga.
- EEA. (2013). *Air quality in Europe - 2013 report* (No. 9/2013). Copenhaga.
- EEA. (2014). *Air quality in Europe - 2014 report* (No. 5/2014). Copenhaga.
- EPA. (2001). Air Pollution Control Technology Fact Sheet. Disponível em: [www.epa.gov/ttnca1/dir1/fsprytwr.pdf](http://www.epa.gov/ttnca1/dir1/fsprytwr.pdf)

- Ferreira, J. C. (2007). *Relação Qualidade do Ar e Exposição Humana a Poluentes Atmosféricos* (Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Hurley, P. (2008). *TAPM V4. Part 1: Technical Description* (No. 25). *Marine and Atmospheric Research*. Disponível em: <https://www.cmar.csiro.au>
- Hurley, P. J., Physick, W. L., & Luhar, A. K. (2005). TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling. *Environmental Modelling & Software*, 20, 737 – 752.
- IEA. (2015). Hybrid Electric Vehicles (HEVs) | IA-HEV. Disponível em: <http://www.ieahev.org/about-the-technologies/hybrid-electric-vehicles/>
- Mendes, J. F. G., Ramos, L. M. M. L., & Ramos, R. A. R. (2008). Air quality in the North of Portugal. In *2nd International Conference on 2nd International Conference on Waste Management, Water Pollution, Air Pollution, Indoor Climate (WWAI'08)* (pp. 26–28). Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/18449>
- Miranda, A. I., Relvas, H., Turrini, E., Lopes, D., Silveira, C., Rafael, S., Ferreira, J., Lopes, M., Borrego, C., Volta, M. (2014). Urban Air Quality Plans and Integrated Assessment Methodologies. *Journal of Selçuk University Natural and Applied Science*, 482 – 493. Disponível em: <http://www.josunas.org/login/index.php/josunas/article/view/379>
- Miranda, A., Silveira, C., Ferreira, J., Monteiro, A., Lopes, D., Relvas, H., Borrego, C., Roebeling, P. (2015). Current air quality plans in Europe designed to support air quality management policies. *Atmospheric Pollution Research*, 6(3), 434–443. <http://doi.org/10.5094/APR.2015.048>
- Nagl, C., Moosmann, L., & Schneider, J. (2006). *Assessment of Plans and Programmes Reported Under 1996/62/EC – Final Report* (No. 0079). Viena.
- Russo, A., Trigo, R. M., Martins, H., & Mendes, M. T. (2014). NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal. *Atmospheric Environment*, 89(2), 768–785. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.010>

- SCC. (2006). *Greater Manchester LTP2 Air Quality Strategy & Action Plan, Technical Report*. Manchester.
- Schlünzen, K. H., & Sokhi, R. (2008). *Joint Report of COST Action 728 and GURME. Overview of Tools and Methods for Meteorological and Air Pollution Mesoscale Model Evaluation and User Training Gaw* (No. 181). Disponível em: [www.cost728.org](http://www.cost728.org)
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. New York: Wiley Interscience.
- Song, C. B., & Park, H. S. (2006). Analytic solutions for filtration of polydisperse aerosols in fibrous filter. *Powder Technology*, 170(2), 64–70. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2006.08.011>
- Sousa, S. G. (2007). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte* (Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Tanabe, E. H., Barros, P. M., Rodrigues, K. B., & Aguiar, M. L. (2011). Experimental investigation of deposition and removal of particles during gas filtration with various fabric filters. *Separation and Purification Technology*, 80(2), 187–195. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.031>
- Tchepel, O. A. (2003). *Modelo de emissões para apoio à decisão na Gestão da Qualidade do Ar* (Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- WHO. (2004). *Health Aspects Of Air Pollution Results from the WHO project stematic review of health aspects of air pollution in Europe*". Disponível em: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/74730/E83080.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/74730/E83080.pdf)

**Legislação Consultada:**

Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, Diário da República, 1ª série – nº 186, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território

Diretiva 2008/50/CE, “Relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa”. Parlamento Europeu e do Conselho”, 21 de maio 2008. Jornal Oficial da União Europeia

**Sítios na Internet:**

URL 1: European Environment Agency – <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/airbase-exchange-of-information-5>

URL 2: Instituto Português do Mar e da Atmosfera – <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>

URL 3: Setimep – Engenharia, Ambiente e Energia – <http://www.setimep.pt/>

## ANEXOS

### **Anexo A**

Lista de medidas de melhoria da qualidade do ar

### **Anexo B**

Grandes fontes pontuais do domínio

### **Anexo C**

Estações de monitorização da qualidade do ar



## Anexo A – Lista de medidas de melhoria da qualidade do ar

Designação do PQA do qual a medida foi retirada:

- (A) – Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte
- (B) – Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Lisboa a Vale do Tejo
- (C) – *Air Quality Plans for the Achievement of EU Air Quality Limit Values for Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) in the UK, Technical Report*, Reino Unido
- (D) – *Greater Manchester LTP2 Air Quality Strategy & Action Plan (2006)*, Reino Unido

Nº	Medidas	Benefício	Custo	Poluente
<b>Transportes</b>				
1	(A) Introdução de veículos de baixa emissão nos transportes coletivos e de mercadorias	O impacto global desta medida não foi quantificado, mas espera-se uma diminuição das emissões de material particulado pelos transportes públicos. A instalação de FP permite reduzir em 90% as emissões de PM10 (Volvo, 2005).	Os custos globais de implementação da medida não foram quantificados, na medida em que dependem do plano específico que se traçar para a sua concretização, nomeadamente número e tipo de veículos novos a adquirir e sistemas de despoluição. Os sistemas de despoluição do tipo FP custam: 6 000€ + custo adicional de 0,02-0,05 €/vkm.	PM10 e NO <sub>2</sub>
2	(A) Melhorias na rede de transportes coletivos	O impacto desta medida não foi quantificado, mas espera-se uma crescente, mas gradual, adesão da população ao TC, desde que as condições do serviço melhorem nos locais onde são menos boas.	Os custos de implementação da medida não foram quantificados, na medida em que dependem do plano específico que se traçar para a sua concretização, nomeadamente: tipo e número de ações de sensibilização, número de faixas bus a implementar e custos dos estudos prévios a esta implementação.	

3	(A) Partilha de automóveis	Não foi quantificado. Em termos qualitativos, podem esperar-se benefícios como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poupança económica dos utilizadores em gasolina, manutenção, estacionamento...</li> <li>• Descongestionamento do tráfego;</li> <li>• Redução das emissões poluentes;</li> <li>• Promoção da convivência social;</li> <li>• Utilização das Vias de Alta Ocupação (no caso de existirem)</li> </ul>	--
4	(A) Renovação das frotas de táxis e de veículos de recolha de resíduos sólidos urbanos	Diminuição de cerca de 0,5% das emissões de PM10 do tráfego rodoviário de cada concelho, sendo o benefício ao nível local previsivelmente maior.	Veículos de recolha de RSU: poderá custar até 360.000€ por concelho (dependendo este valor da dimensão da frota) tendo em conta os custos com filtros, e até 38.000€ por ano por concelho, devido a custos adicionais. Quanto aos custos de implementação nos táxis, ficarão dependentes do número de táxis onde a medida for aplicada. Os sistemas de despoluição do tipo FP custam: 6 000€ + custo adicional de 0,02-0,05 €/vkm.
5	(A) Diminuição da percentagem de veículos pesados de mercadorias em circulação	Diminuição das emissões de PM10 do tráfego rodoviário ao nível dos concelhos de cerca de 20%. Se a proibição de circulação se estender a todos os camiões as reduções de emissões podem atingir os 40%.	Os custos de implementação de um sistema de controlo de entradas de veículos nos centros das cidades (ou noutra tipo de extensão) podem chegar a 800.000€, e os custos de manutenção a 115.000€/ano. No caso de se optar por um esquema manual de controlo, os custos são potencialmente menores, mas a sua eficácia torna-se menor.
6	(A) Construção de parques de estacionamento periféricos e aumento do preço dos mesmos no interior das cidades	Não foi quantificado. Em termos qualitativos, o que se espera é uma diminuição do tráfego e congestionamento automóvel, desde que aplicada a uma escala significativa.	--
7	(A) Reforço da fiscalização do estacionamento nas cidades	Não foi quantificado. Em termos qualitativos, o que se espera é uma diminuição do tráfego e congestionamento automóvel, desde que aplicada a uma escala significativa.	--
8	(A) Zonas de Emissões Reduzidas (ZER)	Diminuição das emissões de PM10 do tráfego rodoviário ao nível dos concelhos em cerca de 27%.	Os custos para os operadores podem chegar a 280.000€/ano. Os custos para as restantes entidades poderão chegar a 800.000€ para a implementação e 115.000€/ano para a manutenção do sistema.



9	(A) Zonas de Circulação Taxadas	Da aplicação da medida espera-se uma diminuição das emissões de PM10 do tráfego rodoviário ao nível dos concelhos em cerca de 2%, resultado de uma diminuição prevista de 15% do tráfego na zona em causa e de 20 a 30% da congestão, níveis equivalentes aos dos períodos de férias de Verão.	Esperam-se custos com a implementação e manutenção de infraestruturas, gestão do tráfego e informação do público de 335.000€/ano por concelho.
10	(A) Portagens diferenciadas	--	--
11	(A) Sistema de placas de matrícula alternadas	Prevêem-se reduções nas emissões de PM10 do tráfego rodoviário de cerca de 11% ao nível do concelho.	Prevêem-se custos com infraestruturas, gestão do tráfego e informação do público da ordem dos 335.000€/ano.
12	(A) Vias de alta ocupação	Os efeitos potenciais de uma Via de Alta Ocupação traduzem-se na poupança em tempo de viagem, combustível e custos de manutenção do veículo. O aumento médio da taxa de ocupação por veículo verificado em iniciativas em vários países é de 10 a 15%. Como consequência, as emissões de poluentes atmosféricos serão menores.	Os custos médios estimam-se 1.600.000 €/ano, para uma via de cerca de 10 km.
13	(A) Imposição de limites de velocidade mais baixos nas vias rápidas, autoestradas e itinerários complementares.	Verificou-se uma diminuição, ao nível local, de 25 a 35% das emissões de PM10. Para o caso da Região Norte, estimou-se uma redução local, de cerca de 37% das emissões do tráfego automóvel, aplicando a medida aos ligeiros de passageiros, ligeiros de mercadorias e motociclos com > 50 c.c..	Os custos estimam-se em cerca de 600.000 € de investimento e 25.000 € por ano de manutenção.

14	(A) Corte de ruas ao trânsito	A aplicação desta medida pode trazer consequências inesperadas, dado que suprimir o tráfego rodoviário numa rua não implica necessariamente uma melhoria na sua qualidade do ar. A circulação atmosférica transporta poluentes de um local para outro, por vezes até longas distâncias (como acontece com a matéria particulada), pelo que esta medida não deve ser aplicada sem estudos prévios de modelação.	--	
15	(A) Introdução de postos de abastecimento públicos de gás natural.	Espera-se uma diminuição a médio prazo (os motores a gás natural tem emissões de partículas bastante inferiores à dos motores a gasóleo).	--	
16	(B) Pedonalização de determinadas rodovias e/ou zonas	--	--	
17	(B) Incentivo à instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias	--	--	
18	(B) Simplificação do procedimento de concessão do incentivo fiscal ao abate a automóveis ligeiros em fim de vida	--	--	
19	(B) Criação de estacionamento gratuito ou com tarifação reduzida junto a interfaces de Transporte Coletivo	--	--	
20	(B) Introdução e/ou extensão de infraestruturas de Transporte Coletivo Ferroviário e/ou Rodoviário (corredores BUS, p.ex.)	--	--	
21	(B) Criação ou ampliação de ciclovias	--	--	
22	(C) Medidas económicas destinadas a beneficiar veículos pouco poluentes.	£560 milhões	--	
23	(D) Incentivo à utilização de veículos que utilizem tecnologias menos	--	--	

	poluentes (exemplo: veículos híbridos elétricos, veículos elétricos, veículos que utilizem biocombustíveis e movidos a hidrogénio)			
<b>Indústria</b>				
24	(A) Substituição de despoeiradores nas fontes industriais.	Não existe informação suficiente em quantidade e qualidade para se prever o impacte desta medida a nível regional, mas prevê-se que, a nível local, as emissões de PM10 das indústrias que possuam despoeiradores antigos ou não os possuam diminuam bastante, melhorando a qualidade de vida das populações residentes na periferia destas indústrias.	--	PM10 e NO2
25	(A) Reforço da fiscalização das fontes industriais.	--	--	
26	(A) Criação de normas de emissão para aglomerados industriais e de atividades empresariais nos centros urbanos.	--	--	
<b>Combustão residencial</b>				
27	(B) Certificação de equipamentos de combustão residencial.	--	--	PM10
<b>Agricultura</b>				
28	(A) Cobertura de campos inutilizados por plantas.	--	--	PM10
29	(A) Instalação de filtros de partículas nos tratores.	--	--	

Construção Civil				
30	(A) Uso de filtros de partículas nas máquinas e motores associados à atividade de construção civil.	--	--	PM10
31	(A) "Regar" os materiais com água e cobri-los.	--	--	
32	(A) Lavar os camiões à saída das obras.	--	--	
33	(A) Aplicar redes de malha fina que separem a zona da obra da via pública.	--	--	
34	(A) Estabelecimento de uma norma de qualidade do ar para zonas de construção.	--	--	
35	(A) Modificação do processo de produção de misturas betuminosas.	Estima-se que a utilização de <i>WAM Foam</i> conduza a uma redução de 50 a 60% das poeiras emitidas no processo de produção, devido a um menor consumo de combustível no processo de produção, dado este ser conduzido a menores temperaturas.	--	
Outras medidas				
36	(A) Varrimento e lavagem das ruas.	O estudo mais recente consultado nesta matéria foi realizado em 2005 em Taiwan (onde este tipo de medida é uma das mais aplicadas pelos governos locais) e concluiu que o impacto de varrer as ruas tem um período útil de eficiência de 3 a 4 horas, enquanto que, acrescentando a lavagem das ruas a este processo, já se conseguem atingir reduções nas partículas de cerca de 30%, ao nível local.	--	PM10

37	(A) Medidas ao nível da sensibilização / Recomendações.	Não foi quantificado. Espera-se uma gradual alteração dos hábitos da população, empresários e autarquias em termos de comportamento ambiental.	--	
38	(B) Alargamento da área dedicada a espaços verdes e/ou planos de arborização	--	--	
39	(B) Aumento do esforço de fiscalização de processos de queima de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)			



## Anexo B – Grandes fontes pontuais do domínio

Nome da Fonte Pontual	Concelho	Tipo de doc.	Ano de publicação	Referência	Nº de fontes pontuais	Tipo de tratamento / tecnologia		
						Código da Fonte	Fonte	Sistema de tratamento associado
Refinaria de Matosinhos	Matosinhos	Licença Ambiental		<a href="http://ladigital.apambiente.pt/1.2/Refinaria%20Matosinhos/190_2011_LA%20Refinaria%20do%20Porto_VFinal.pdf">http://ladigital.apambiente.pt/1.2/Refinaria%20Matosinhos/190_2011_LA%20Refinaria%20do%20Porto_VFinal.pdf</a>	21	FF11	Caldeiras SG - 4001 G/H	Precipitador electrostático
								Redução do teor de enxofre no mix de combustíveis
Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro (Turbogás - Produtora Energética, S.A.)	Gondomar	Licença Ambiental	2010	<a href="http://ladigital.apambiente.pt/1.1/Central%20de%20Ciclo%20Combinado%20da%20Tapada%20do%20Outeiro/363_2010%20Central%20Ciclo%20Combinado%20Tapada%20Outeiro.pdf">http://ladigital.apambiente.pt/1.1/Central%20de%20Ciclo%20Combinado%20da%20Tapada%20do%20Outeiro/363_2010%20Central%20Ciclo%20Combinado%20Tapada%20Outeiro.pdf</a>	3	FF1	Grupo Gerador 1	Está em fase de implementação, a quando da elaboração da LA, sistemas específicos para redução das emissões atmosféricas (queimadores Dry Low NOx), estando prevista a total implementação, nos três grupos geradores, até final do ano de 2011.
						FF2	Grupo Gerador 2	
						FF3	Grupo Gerador 3	
						FF4	Caldeira auxiliar	
						FF5	Gerador de Emergência 1	
						FF6	Gerador de Emergência 2	
						FF7	Turbo Bomba	

SN - Maia, Siderurgia Nacional S.A.	Maia	Licença Ambiental	2008	<a href="http://ladigital.ambiente.pt/2.2/Siderurgia%20Nacional%20da%20Maia/174_2008%20LA%20Siderurgia%20Nacional%20Maia.pdf">http://ladigital.ambiente.pt/2.2/Siderurgia%20Nacional%20da%20Maia/174_2008%20LA%20Siderurgia%20Nacional%20Maia.pdf</a>	3	FF1	Chaminé do sistema de despoeiramento da aciaria	Ciclone, Câmara de sedimentação, Câmara de pós-combustão seguida de arrefecimento rápido (torre de "Quenching"), e Filtro de Mangas (Informação atualizada: 1º Aditamento à Licença Ambiental)
						FF2	Chaminé do forno de reaquecimento de biletos	
						FF3	Chaminé do sistema de despoeiramento das adições	Filtro de Mangas
Ba Vidro - Unidade Fabril de Avintes	Vila Nova de Gaia	Licença Ambiental	2011	<a href="http://ladigital.ambiente.pt/3.3/BA-Avintes/096.0.1.2011%20BA%20Avintes.pdf">http://ladigital.ambiente.pt/3.3/BA-Avintes/096.0.1.2011%20BA%20Avintes.pdf</a>	11	FF1	Forno AV 2, Forno AV4, TSQ AV2 e TSQ AV4	Precipitador electrostático
						FF2	Forno AV5 e TSQ AV5	Precipitador electrostático
						FF5	Exaustão da oficina de reparação de moldes	Filtro de Mangas
						FF6	Arca de serigrafia	Sem informação
						FF7	Arca de serigrafia	Sem informação
						FF8	Exaustão da lavagem de peças das máquinas IS	Sem informação
						FF9	Caldeira do balneário	Sem informação



						FF10	Arca de serigrafia	Sem informação
						FF11	Arca de serigrafia	Sem informação
						FF12	Arca de serigrafia	Sem informação
						FF13	Caldeira de ar propanado (emergência)	Sem informação
LIPOR	Maia	Licença Ambiental	2011	—	4	FF1	Linha nº 1 de incineração de resíduos	Neutralização, redução não seletiva não catalítica, filtro de manga e adição de carvão ativo
						FF2	Linha nº 2 de incineração de resíduos	Neutralização, redução não seletiva não catalítica, filtro de manga e adição de carvão ativo
						FF3	Evacuação da humidade das escórias da linha nº 1	Aspiração do gás efluente através de um filtro de fibra de vidro
						FF4	Evacuação da humidade das escórias da linha nº 2	Aspiração do gás efluente através de um filtro de fibra de vidro
						FF5	Queima do biogás (sistema de tratamento de emissões atmosféricas) do Alvéolo Sul	11 poços de biogás
Indústrias Jomar - Madeiras e Derivados, S.A.	Matosinhos	Sem informação						

Unicer - Centro de Produção de Leça do Balio	Matosinhos	2º Aditamento à Licença Ambiental	2010	<a href="http://ladigital.ambiente.pt/6.4bii/Unicer%20Bebidas-Matosinhos/2%C2%BA%20Aditamento%20LA%2012%2006.pdf">http://ladigital.ambiente.pt/6.4bii/Unicer%20Bebidas-Matosinhos/2%C2%BA%20Aditamento%20LA%2012%2006.pdf</a>	28	FF5/6	Circuito de aspiração da ensilagem de malte em conjunto com o circuito de aspiração da moagem e pesagem de malte e pesagem de griz da Sala Ziemann-Meura	Filtro de Mangas
						FF7	Circuito de aspiração da ensilagem de griz	Filtro de Mangas
						FF22	Circuito de aspiração da pesagem de griz da Sala Nordon	Filtro de Mangas
						FF23/24/25	Circuito de pesagem e moagem de malte da Sala Nordon	Filtro de Mangas
						Existem 28 fontes pontuais, mas só há informação da existência de 4 Filtros de Mangas para as fontes a cima indicadas		
Central Termoelétrica de Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A.	Oliveira de Azeméis	Sem informação						

## Anexo C – Estações de Monitorização da Qualidade do Ar

Aglomerção / Zona	Nome da estação	Sigla	PM10		NO <sub>2</sub>	
			Média anual em 2012 (Base Diária) (µg/m <sup>3</sup> )	Eficiência (%)	Média anual em 2012 (Base Horária) (µg/m <sup>3</sup> )	Eficiência (%)
Porto Litoral	Antas - Espinho	ESP	23,3	98,6	21,6	99,8
	Avintes	AVI	23,3	94,3	21,6	95,9
	Custóias - Matosinhos	CUS	20	93,4	34	97,6
	D. Manuel II - Vermoim	VER	28,7	98,9	26,8	99,9
	Ermesinde - Valongo	ERM	25,4	85	28,2	96,3
	Francisco Sá Carneiro - Campanhã	FSC	26,6	94,8	44,7	96,6
	João Gomes Laranjo - S. Hora	SRH	26,9	99,7	40	99,9
	Leça do Balio - Matosinhos	LEC	25,6	81,2	26	91,8
	Meco - Perafita	PER	31,2	99,5	-	-
	Mindelo - V. Conde	VCO	24	99,2	15,8	96,4
	Sobreiras - Lordelo do Ouro	SOB	27,4	88,8	26,4	99,9
	Vila Nova da Telha - Maia	VNT	33,2	91,3	18,2	91,5
Vale do Sousa	Paços de Ferreira	PFE	22,5	89,9	13,1	88,2
	Pe. Moreira Neves – Castelões de Cepeda	PMN	19,7	88	28,1	98,5
Vale do Ave	Burgães – Santo Tirso	STR	12,7	97	17,9	99,7
	Cónego Dr. Manuel Faria – Azurém	AZU	19	84,7	41	97,1