

Envolvimento dos cidadãos na avaliação da contaminação atmosférica numa zona urbano-industrial

Ana Rita Rosa Justino

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientadores:

Doutora Susana Marta Lopes Almeida

Doutor Nuno Henrique Varela Canha

Júri

Presidente: Professora Maria Joana Castelo-Branco de Assis Teixeira Neiva Correia

Orientador: Doutora Susana Marta Lopes Almeida

Vogal: Doutora Ana Sofia Augusto

2020

"Doubt is the origin of wisdom"

- René Descartes

Agradecimentos

Quero expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas, que direta ou indiretamente, me ajudaram a completar esta dissertação.

Primeiramente, aos meus orientadores, a Dra. Marta Almeida e o Dr. Nuno Canha por toda a ajuda, dedicação e disponibilidade que me demonstraram, pela simpatia e à-vontade que me deram desde o primeiro dia. Em particular, à Marta Almeida por me ter dado a oportunidade de poder trabalhar neste projeto desde o início.

Ao Grupo de Qualidade do Ar do C2TN, por me terem recebido com muita simpatia e de braços abertos e prontos para ajudar sempre que fosse preciso, nomeadamente, a Isabel Dionísio, a Inês Lopes, a Carolina Correia, a Carla Gamelas, o Tiago Faria e a Vânia Martins. Durante esta dissertação, não posso também deixar de agradecer à minha companheira no projeto, a Leonor Abecasis, por todo o tempo passado juntas, pela boa atmosfera e por toda a ajuda.

Um agradecimento à Zsófia Kertész do Institute of Nuclear Research da Hungarian Academy of Sciences por toda a ajuda e celeridade nas análises desta dissertação. Este trabalho foi apoiado pelo projeto GINOP-2.3.3-15-2016-00029.

À Câmara Municipal do Seixal, na pessoa do presidente Joaquim Santos, e à União de Freguesia do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires, na pessoa do presidente António Manuel Oliveira dos Santos, o meu agradecimento por toda a ajuda e disponibilidade que tiveram para com este projeto.

Quero deixar também um grande agradecimento aos meus amigos de universidade, nomeadamente o André Vasconcelos, o Andy Lerens, a Beatriz Nunes, o Daniel Fernandes, o Daniel Pinheiro, a Filipa Garcia, o Frederico Neto, a Joana Vicente, o João Ascenção, o João Ramos, o Jorge Faria, o Mário Pinto Balsemão e o Rodrigo Costa. Por todo o companheirismo, noitadas a fazer trabalhos, gargalhadas e memórias inesquecíveis; que este grupo continue assim por muitos mais anos.

Ao Daniel Fernandes, por ser não só o melhor namorado, mas também um ótimo companheiro e o meu melhor amigo, por todo o apoio ao longo destes anos e especialmente nesta etapa. Por me ajudar a superar todas as adversidades e me manter positiva e acreditar em mim.

Quero agradecer à minha família por me apoiarem em todas as fases da minha vida. Contudo, tenho de agradecer em especial aos meus pais, por todo o carinho e amor que me transmitiram durante todos os anos, por me terem dado o seu apoio incondicional e estarem sempre ao meu lado.

Finalmente, quero agradecer ao projeto LIFE Index-air (LIFE 15 ENV/PT/000674) pela oportunidade e apoio na realização desta dissertação de mestrado.

Resumo

A poluição atmosférica tem-se tornado uma das grandes temáticas a gerar preocupação nos residentes de zonas urbano-industriais. Um exemplo dessa preocupação tem-se verificado no Concelho do Seixal, como resultado de vários eventos de deposição de partículas atmosféricas. Na sequência do aumento destes eventos, houve uma maior pressão da população, o que levou as autoridades locais a averiguar as fontes destes eventos e o seu impacto no ambiente e saúde.

Esta dissertação tem como objetivo avaliar a contaminação atmosférica no concelho do Seixal e identificar possíveis fontes de poluição. Numa primeira fase, foi avaliado o grau de preocupação e conhecimento da população relativo à poluição atmosférica, através da distribuição de um questionário que permitiu comparar a população do Seixal com a população de outros Municípios do país. De seguida, foram avaliadas partículas depositadas em superfícies num dos eventos e analisadas através de micro-PIXE. Finalmente, foram distribuídas plantas de morangueiro na União de Freguesias do Seixal, Arrentela e Paio Pires, que não só funcionaram como biomonitores (onde a sua caracterização química foi realizada através de micro-XRF), mas também permitiram envolver e capacitar a população da área de estudo.

Relativamente ao questionário, apesar de se ter verificado que para ambas as populações a qualidade do ar é uma das temáticas que merece maior preocupação, a população do Seixal demonstrou estar mais desperta para as questões da qualidade do ar e atribuiu uma pior classificação à qualidade do ar da sua região. Esta população evidenciou uma clara perceção das indústrias como a maior fonte poluidora, um maior conhecimento relativamente a poluentes atmosféricos, uma maior necessidade de informação e um maior impacto da poluição atmosférica no seu dia-a-dia.

Os resultados das partículas depositadas evidenciaram uma importante contribuição dos elementos Cr, Mn e Fe que se encontram associados à indústria do ferro e aço. Esta associação encontra-se ainda mais estabelecida devido ao facto de serem partículas grosseiras que têm um tempo de permanência na atmosfera baixo e que, por isso, indica uma origem local, ou seja, proveniente de zonas industriais circundantes.

Através da biomonitorização e do mapeamento das concentrações dos elementos mencionados acima, foi possível verificar que as concentrações mais elevadas se encontram na zona industrial da siderurgia. Foram comparadas as amostras de partículas depositadas em superfícies e das folhas de morangueiro e verificou-se a existência da mesma fonte, associada à indústria siderúrgica. Simultaneamente, determinou-se a evolução das concentrações de elementos em função da distância à siderurgia e verificou-se um decréscimo na concentração de Fe e Cr com o aumento da distância.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, biomonitorização, questionário, partículas, indústria

Abstract

Air pollution has become one of the major themes causing concern to residents of urban-industrial areas. An example of this concern is in the municipality of Seixal, as a result of multiple events of settled dust. In the sequence of these events, there was a bigger pressure of the population, which prompt local authorities to investigate the sources of these events and their impact on the environment and health.

This dissertation had the objective of assessing the atmospheric contamination in the Seixal municipality and identify possible pollution sources. In the first phase, it was evaluated the degree of concern and knowledge of the population regarding air pollution, through the distribution of a questionnaire allowing to compare the Seixal's population with the population of other municipalities. Next, the settled dust from one of the events was collected and analysed through micro-PIXE. Finally, strawberry plants were distributed in the Seixal, Arrentela and Aldeia de Paio Pires Parish that not only worked as biomonitors (their chemical content were assessed by micro-XRF) but also allowed to engage and capacitate the population of the study area.

Regarding the questionnaire, although it was found that for both populations air quality is one of the topics that deserve greater concern, the Seixal's population demonstrated a higher awareness to the air quality thematic and awarded a worse rating to the quality of the air in their neighbourhood. This population showed a clear perception of the industry as the main source pollution, higher knowledge of atmospheric pollutants, a bigger need for information and a greater impact of air pollution in their daily lives.

The results in the settled dust showed an important contribution of Cr, Mn and Fe, which are associated with iron and steel industry. This association is even more established due to the fact that those are coarse particles with a short lifetime and, thus, indicating a local origin, most likely from the nearby industrial area.

Through biomonitoring and mapping the concentrations of the elements mentioned above, it was possible to verify that the highest concentrations are located in the steelwork's area. The samples of strawberry leaves and settled dust were compared and the existence of the same source, associated with the steel industry, was verified. Simultaneously, the evolution of the elements' concentration as function to the distance of the steelwork was determined and it showed a decrease in the concentration of Fe and Cr with the increase in the distance.

Keywords: Air pollution, biomonitoring, questionnaire, particles, industry

Índice

Resumo	i
Abstract.....	ii
Índice	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	viii
Lista de Abreviaturas	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do tema e motivação	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Organização da dissertação	3
2. Estado de arte	4
2.1. Poluição atmosférica	4
2.1.1. Poluição atmosférica em áreas urbanas	8
2.2. Perceção de um indivíduo sobre qualidade do ar	12
2.3. Partículas atmosféricas	15
2.3.1. Dimensão e propriedades das partículas	16
2.3.2. Formação e remoção das partículas	17
2.3.3. Impactes das partículas atmosféricas	18
2.3.3.1. Impactes na saúde humana	18
2.4. Biomonitorização	20
2.4.1. Folhas como biomonitores	21
2.4.2. Biomonitorização e participação pública	22
3. Método.....	23
3.1. Caracterização da área de estudo	23
3.2. Questionário sobre a perceção da QA	24
3.3. Amostragem e caracterização de partículas	25
3.3.1. Amostragem	25
3.3.2. Caracterização química por micro-PIXE	26
3.4. Biomonitorização com morangueiros	27
3.4.1. Envolvimento da população e distribuição dos morangueiros	27
3.4.2. Preparação e análise das folhas de morangueiro	29
3.4.3. Caracterização química por micro-XRF	30
3.4.4. Sistema de Informação Geográfica	30
3.5. Testes estatísticos	31
4. Resultados e discussão.....	32
4.1. Avaliação da perceção dos cidadãos sobre a Qualidade do Ar.....	32

4.1.1.	Grau de preocupação	33
4.1.2.	Classificação de QA	36
4.1.3.	Fontes e poluentes	37
4.1.4.	Informação.....	40
4.1.5.	Afetados e alterações.....	41
4.1.6.	Implementação de medidas	43
4.2.	Avaliação da deposição de partículas atmosféricas nas superfícies	45
4.2.1.	Composição química	45
4.2.2.	Origem das partículas depositadas	46
4.2.3.	Fatores de enriquecimento	49
4.2.4.	Correlações de Spearman.....	50
4.2.5.	Dimensão das partículas e possíveis impactes na saúde	51
4.3.	Biomonitorização da QA através de folhas de morangueiros	53
4.3.1.	Distribuição espacial e rácios dos elementos	53
4.3.2.	Evolução da concentração dos elementos em função da distância à indústria	56
5.	Conclusões e recomendações	58
6.	Referências bibliográficas	60
Anexos.....		I
Anexo A – Questionário sobre a perceção da qualidade do ar em Portugal		I
Anexo B – Exemplo das notícias sobre a situação verificada no Seixal.....		VIII
Anexo C – Folheto informativo distribuído na sessão de esclarecimento		X
Anexo D – Caracterização demográfica e social do grau de preocupação com a Qualidade do Ar.....		XI
Anexo E – Caracterização demográfica e social da avaliação da Qualidade do Ar		XIV
Anexo F – Frações mássicas dos diferentes tipos de ambientes obtidos a partir da literatura		XVIII
Anexo G – Frações mássicas médias para as partículas depositadas na estrada		XIX
Anexo H – Frações mássicas médias dos elementos químicos nas amostras de folhas de morangueiro		XX

Lista de Figuras

Figura 1 – Estudos desenvolvidos pela Câmara Municipal do Seixal no âmbito da temática da qualidade do ar e apresentação dos estudos realizados nesta dissertação (a verde).....	2
Figura 2 – Emissões de poluentes atmosféricos e GHG na região da EEA-33 em 2017, por setor de atividade (valores em percentagem)	8
Figura 3 - Representação esquemática de um desenvolvimento típico de níveis de poluição do ar em áreas urbanas.....	9
Figura 4 – Representação esquemática do enquadramento legislativo relativamente à QA ambiente em Portugal e na EU, com indicação do seu objetivo e/ou parâmetro a analisar	11
Figura 5 – Mecanismos de formação e remoção das partículas de acordo com a sua dimensão.....	17
Figura 6 – Deposição da PM no sistema respiratório de acordo com a sua dimensão.....	19
Figura 7 – Classificação dos biomonitores.....	21
Figura 8 – Esquematização do procedimento adotado para o método	23
Figura 9 – Localização da área de estudo e delimitação da união de freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires (área a verde), localização da área de recolha de partículas em estudo (círculo a vermelho) e a localização da siderurgia (estrela a azul)	24
Figura 10 A) Local da recolha de partículas depositadas B) recolha de partículas utilizando um pincel e uma moldura de cartão C) detalhe da recolha de partículas D) armazenamento das partículas nos frascos de polietileno devidamente identificados	25
Figura 11 – Propriedades magnéticas das partículas recolhidas, através da utilização de um íman ..	26
Figura 12 – Representação esquemática da configuração externa da microssonda	26
Figura 13 A) Detalhe de uma das pastilhas criadas B) pastilhas de amostras na câmara de vácuo para análise de micro-PIXE	27
Figura 14 -Distribuição espacial das plantas de morangueiro na UFSAAPP (a verde) e fora da UFSAAPP (morangueiros de controlo) (a laranja): A) morangueiros distribuídos a 1 de fevereiro; B) morangueiros recolhidos a 16 de junho de 2020	28
Figura 15 A) apresentação do estudo de poluentes atmosféricos através da biomonitorização; B) entrega das plantas de morangueiro aos voluntários	28
Figura 16 A) lavagem das amostras; B) secagem das folhas de morangueiro; C) amostras embaladas e identificadas.....	29
Figura 17 A) moinho RETSCH B) detalhe da moagem C) pastilhador SPECAC e D) pastilha de uma amostra.....	30
Figura 18 – Grau de preocupação dos diferentes temas ambientais, na população geral	34
Figura 19 – Grau de preocupação dos diferentes temas ambientais na população UFSAAPP.....	34
Figura 20 – Avaliação da Qualidade do Ar, de acordo com os inquiridos da população geral e UFSAAPP	36
Figura 21 - Principais fontes de poluição atmosférica, de acordo com a população geral e UFSAAPP	38
Figura 22 – Grau de conhecimento de possíveis poluentes atmosféricos nos inquiridos da população geral e UFSAAPP	39

Figura 23 – Grau de informação sobre a qualidade do ar na área de residência da população geral e da população da UFSAAPP, com uma classificação que varia entre 1 (nada informado) e 5 (muito informado).....	40
Figura 24 – Fontes de informação da Qualidade do Ar para a população geral e população UFSAAPP	41
Figura 25 – Inquiridos afetados pela Qualidade do Ar na população geral e UFSAAPP	42
Figura 26 – Modo de afetação na população geral (a azul) e na população da UFSAAPP (a vermelho)	42
Figura 27 - Alterações feitas pelos inquiridos devido à degradação da QA, na população geral (anel exterior) e população UFSAAPP (anel interior).....	43
Figura 28 – Grau de prioridade das medidas de melhoria da QA na População Geral, com uma classificação que varia entre 1 (mínima) e 5 (máxima).....	44
Figura 29 – Grau de prioridade das medidas de melhoria da QA na População da UFSAAPP, com uma classificação que varia entre 1 (mínima) e 5 (máxima).....	44
Figura 30 – Mapa da distribuição dos elementos para a amostra A1	45
Figura 31 - Comparação das frações mássicas elementares entre as partículas depositadas na área de estudo (a preto) e as partículas PM ₁₀ para os diferentes tipos de ambientes	47
Figura 32 - Fator de enriquecimento para as partículas depositadas na área de estudo e estabelecimento do limite para fontes que não sejam da crosta terrestre (a vermelho)	50
Figura 33 – Distribuição espacial das concentrações dos elementos Cr, Fe, Mn e Zn medidos nas pastilhas das folhas de morangueiros expostos (em µg ⁻¹).....	54
Figura 34 - Relação entre os elementos Cr e Fe medidos nas folhas de morangueiros expostos (a cor dos pontos é referente à sua distância à siderurgia), com regressão linear (a azul) e rácio dos elementos nas partículas depositadas (a preto)	55
Figura 35 - Relação entre os elementos Zn e Fe medidos nas folhas de morangueiros expostos (a cor dos pontos é referente à sua distância à siderurgia), com regressão linear (a azul) e rácio dos elementos nas partículas depositadas (a preto)	55
Figura 36 - Relação entre os elementos Mn e Fe medidos nas folhas de morangueiros expostos (a cor dos pontos é referente à sua distância à siderurgia), com regressão linear (a azul) e rácio dos elementos das partículas depositadas (a preto)	56
Figura 37 – Distribuição dos pontos de morangueiros (pontos pretos) em raios de 1, 2 e 3 quilómetros (círculos verdes-a) com o centro do mesmo na siderurgia nacional (círculo preenchido azul)	56
Figura 38 – Concentração dos elementos de Cr, Fe, Mn e Zn em função da distância à Siderurgia (valores em µg.g ⁻¹)	57
Figura 39 – Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por faixa etária	XI
Figura 40 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por nível de educação	XI
Figura 41 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por condição de trabalho	XII
Figura 42 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por rendimento	XII

Figura 43 - Grau de preocupação da população geral relativamente à QA, discriminado por distrito de residência	XII
Figura 44 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por género	XIII
Figura 45 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por ser fumador	XIII
Figura 46 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por ter crianças no agregado familiar	XIII
Figura 47 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado pela presença de doenças	XIII
Figura 48 – Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por faixa etária	XIV
Figura 49 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por nível de educação	XIV
Figura 50 – Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por condição de trabalho	XV
Figura 51 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e UFSAAPP, discriminado por rendimento.....	XV
Figura 52 – Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral, discriminado por distrito de residência	XV
Figura 53 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por género.....	XVI
Figura 54 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por ser fumador	XVI
Figura 55 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por ter crianças no agregado.....	XVI
Figura 56 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado pela presença de doenças	XVI
Figura 57 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado pela presença de trânsito em que a classificação varia entre 1 (sem trânsito) e 5 (muito trânsito).....	XVII
Figura 58 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado pela presença de áreas verdes em que a classificação varia entre 1 (sem espaços verdes) e 5 (com muitos espaços verdes)	XVII

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Gases e partículas importantes para diferentes problemáticas relacionadas com atmosfera	6
Tabela 2 – Características demográficas dos participantes no questionário.....	33
Tabela 3 – Perfil de maior preocupação sobre a qualidade do ar	35
Tabela 4 – Frações mássicas médias das amostras de partículas depositadas, onde n representa o número de medições analisadas.....	46
Tabela 5 – Variabilidade (em percentagem) das frações mássicas entre as amostras de partículas recolhidas e os diferentes tipos de ambientes e partículas depositadas em estradas da República Checa (PDE1) e de Portugal (PDE2).....	48
Tabela 6 – Correlações de Spearman entre os elementos das partículas depositadas na área de estudo. Os valores a negrito e sombreados a cinzento são significativos (valor-p inferior a 0.05)	52
Tabela 7 – Frações mássicas dos diferentes tipos de ambientes obtidos a partir da literatura, onde n representa o número de artigos considerados.....	XVIII
Tabela 8 - Frações mássicas médias para as partículas depositadas na estrada em dois países diferentes, República Checa (PDE1) e Portugal (PDE2), onde n representa o número de amostras consideradas	XIX
Tabela 9 – Frações mássicas médias dos elementos químicos nas amostras de folhas de morangueiro, onde n representa o número de amostras analisadas para cada elemento	XX

Lista de Abreviaturas

σ	Desvio-padrão
AML	Área Metropolitana de Lisboa
CFC	Clorofluorcarbonetos
CMS	Câmara Municipal do Seixal
CH₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
EEA	Agência Europeia do Ambiente (em inglês: <i>Environmental European Agency</i>)
EF	Fator de enriquecimento (em inglês, <i>Enrichment factor</i>)
GHG	Gases de efeito de estufa (em inglês: <i>Greenhouse gases</i>)
HAP	Poluentes perigosos (em inglês: <i>Hazardous air pollutants</i>)
IDW	Interpolação por Distância Inversa (em inglês, <i>Inverse Distance Weighting</i>)
MAP	Poluentes tradicionais principais (em inglês: <i>Major air pollutants</i>)
NMVO	Compostos orgânicos voláteis não-metânicos (em inglês: <i>Non-methane Volatile Organic Compounds</i>)
NO_x	Óxidos de azoto
O₃	Ozono
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (em inglês: <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>)
PDE	Partículas depositadas em estradas
PIXE	Emissão de Raios-X Induzida por Partículas (em inglês, <i>Particle Induced X-Ray Emission</i>)
PM	Matéria Particulada (em inglês: <i>particulate matter</i>)
PM_{2.5}	Matéria particulada de diâmetro aerodinâmico inferior a 2.5 μm
PM_{2.5-10}	Matéria particulada de diâmetro aerodinâmico entre 2.5 e 10 μm
QA	Qualidade do Ar
SO_x	Óxidos de enxofre
UE	União Europeia

UFP	Partículas ultrafinas (em inglês: <i>ultrafine particles</i>)
UFSAAPP	União de Freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires
VOC	Compostos orgânicos voláteis (em inglês: <i>Volatile Organic Compounds</i>)
XRF	Fluorescência de Raio-X (em inglês, <i>X-Ray Fluorescence</i>)
X²	Qui-quadrado

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema e motivação

A qualidade do ar tem-se tornado cada vez mais um fator importante de monitorização devido aos riscos ambientais e aos seus efeitos na saúde humana e nos ecossistemas existentes (EEA, 2019a). Consequentemente, existe uma preocupação crescente não apenas por parte dos governos e municípios, mas também pelas comunidades e indivíduos (Calvo et al., 2012), devido à tomada de consciência relativamente à temática da qualidade do ar. Tal preocupação deve-se a um crescimento populacional, a um aumento da urbanização e produção industrial e a uma rápida expansão económica (Karagulian et al., 2015; Kothai et al., 2011), que conduzem à deterioração da qualidade do ar.

Em particular, nas áreas urbanas, caracterizadas como locais com elevadas concentrações de seres humanos, materiais e atividades (Fenger, 1999), existe um maior nível de poluição e de possíveis alvos que sofram com a mesma. Apenas 12% das cidades, a nível global, cumprem as diretrizes de qualidade do ar definidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), existindo cidades com níveis de poluição atmosférica cerca de 2 a 5 vezes superior aos limites estabelecidos (OMS, n.d.).

A matéria particulada (PM), o dióxido de azoto (NO_2) e o ozono troposférico (O_3) são considerados como os poluentes mais significativos no que diz respeito à saúde da população europeia (EEA, 2019a). A exposição à poluição atmosférica, em particular, à matéria particulada alerta para a possibilidade de implicações na saúde (Fromme et al., 2008), uma vez que existem estudos epidemiológicos que mostram uma correlação entre a poluição e variados efeitos na saúde da população (Dockery et al., 1993; Pope III et al., 2002); incluindo doenças cardiovasculares, doença pulmonar obstrutiva crónica, infeções respiratórias inferiores (como pneumonia, bronquite e bronquiolite), cancro de pulmão, entre outras doenças ainda em estudo (Prüss-Üstün et al., 2016).

Como resultado, existe um crescente interesse político, dos média e público em questões relacionadas com qualidade do ar e com o seu impacte na melhoria da qualidade de vida; pelo que as autoridades locais podem ter um papel determinante no planeamento e gestão dos recursos e numa maior interação entre a comunidade científica e as comunidades afetadas. O envolvimento da sociedade e a sua participação em torno dos desafios da qualidade do ar têm vindo a aumentar, incluindo iniciativas científicas com os cidadãos comprometidos em apoiar a monitorização de qualidade do ar e iniciativas com uma perspetiva de aumentar a consciencialização dos cidadãos e as mudanças comportamentais relacionadas com o tema (EEA, 2019a). Estas iniciativas podem contribuir para o desenvolvimento de novas políticas de qualidade do ar, através da sua influência sobre as autoridades locais e posterior transferência a outras dimensões, gerando melhorias na qualidade do ar a uma escala internacional (McDonald et al., 2002).

Uma intervenção eficaz para reduzir a poluição do ar e os seus impactes requer uma boa compreensão sobre a origem, transporte e transformação dos poluentes, bem como um bom conhecimento sobre a forma como os poluentes afetam os seres humanos, ecossistemas, clima e, subsequentemente, a sociedade e economia (EEA, 2019a).

Nesse sentido surge a motivação para a elaboração desta dissertação de mestrado. Com o aumento da conscientização das populações para a temática da qualidade do ar, existe uma maior necessidade de responder às problemáticas existentes nas suas regiões. Esta tese foca o caso da contaminação da qualidade do ar existente no concelho do Seixal, mais concretamente na Aldeia de Paio Pires, e do envolvimento da comunidade científica e da população residente nesta área urbano-industrial na resolução do problema ambiental. Os eventos de contaminação, caracterizados pela deposição de pó nas casas e veículos, alarmaram a população e a autarquia local, envolveram as autoridades regionais e nacionais e atingiram proporções consideráveis devido a uma grande divulgação por parte da comunicação social. Esta pressão levou a que a autarquia, juntamente com a comunidade científica, promovesse estudos para perceber a origem e os impactes dos eventos de contaminação atmosférica e ações que envolveram a população na resolução do problema resultando na sua capacitação na temática da qualidade do ar (Figura 1).

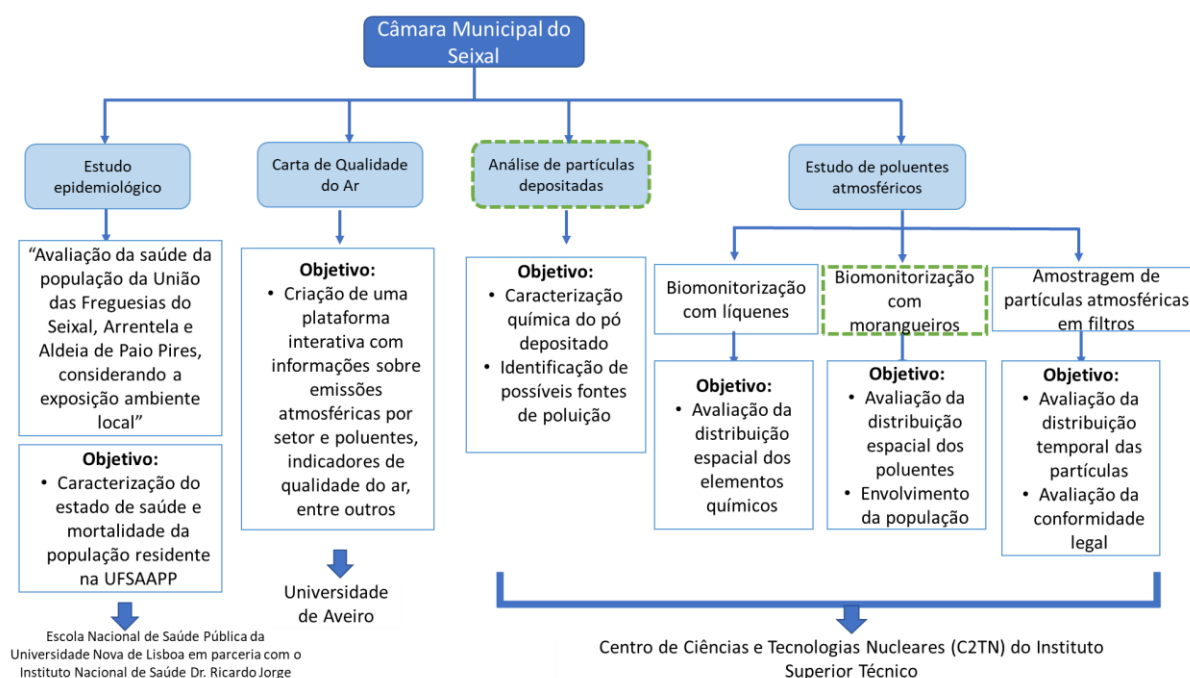


Figura 1 – Estudos desenvolvidos pela Câmara Municipal do Seixal no âmbito da temática da qualidade do ar e apresentação dos estudos realizados nesta dissertação (a verde)

1.2. Objetivos

Esta dissertação teve como principal objetivo envolver os habitantes da zona urbano-industrial do Seixal na avaliação da contaminação atmosférica, através da distribuição e exposição de morangueiros, com o intuito de identificar as principais fontes responsáveis pela degradação da qualidade do ar e, por outro lado, capacitar a população que tem sido alvo de episódios de poluição atmosférica.

Por forma a alcançar este objetivo principal, esta tese de mestrado teve os seguintes objetivos específicos:

- a. Avaliação do grau de conhecimento da população sensibilizada em comparação com uma população de referência através da implementação de um questionário.

- b. Amostragem e análise química de partículas depositadas por forma a fazer-se uma primeira identificação de fontes emissoras;
- c. Desenvolvimento de ações de capacitação e envolvimento da população sobre a problemática da qualidade do ar;
- d. Identificação de participantes e distribuição dos morangueiros pela população envolvida no projeto por forma a esta dar apoio na exposição das plantas aos poluentes atmosféricos;
- e. Avaliação da contaminação atmosférica e identificação de fontes emissoras através da análise química das folhas de morangueiro e posterior mapeamento de poluentes;

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, tal como se especifica de seguida. O capítulo atual, o capítulo I, corresponde à Introdução, onde é feito o enquadramento do tema, e a explicação da motivação juntamente com a definição dos objetivos.

O capítulo II, Estado de Arte, apresenta o enquadramento teórico onde é realizada uma revisão da literatura e encontra-se dividido em 4 capítulos: poluição atmosférica, perceção da qualidade do ar, partículas atmosféricas e biomonitorização.

No capítulo III, Método, são identificados todos os pontos relevantes para a preparação e elaboração da parte experimental. Começando pela caracterização da área de estudo, seguido da apresentação das técnicas de medição, amostragem e análise.

No capítulo IV, Resultados e Discussão, consiste na descrição e análise dos resultados obtidos nas várias fases da dissertação.

Por fim, no capítulo V, Conclusões e Recomendações, são apresentadas as conclusões desta dissertação bem como as suas limitações e possíveis melhorias para trabalhos futuros.

2. Estado de arte

Neste capítulo pretende-se apresentar uma contextualização teórica dos conceitos necessários à realização desta dissertação.

Primeiramente, realizar-se-á uma abordagem à temática da poluição atmosférica dando especial atenção às partículas atmosféricas e aos impactes na qualidade de vida. Posteriormente, focar-se-á a perceção da qualidade do ar e quais os fatores que influenciam essa mesma perceção. Por fim, a técnica de biomonitorização utilizada nesta mesma dissertação é exposta.

2.1. Poluição atmosférica

A atmosfera da Terra é constituída por uma mistura de gases e partículas, sendo que mais de 99% das moléculas gasosas do ar correspondem a moléculas de azoto e oxigénio (78% e 21%, respetivamente), bem como pequenas quantidades de outros gases, tais como árgon, dióxido de carbono ou vapor de água (Ahrens, 2008; Godish, 2004). O azoto e o oxigénio são responsáveis por manter a pressão, a temperatura e a densidade da atmosfera da Terra (Jacobson, 2002).

A OMS estabeleceu a importância de uma boa qualidade do ar na vida humana instituindo que *“o ar limpo é considerado como um requisito básico para a saúde e bem-estar humano”* (WHO, 2000). O ar difere dos restantes recursos naturais por não existir a possibilidade de escassez, no entanto, a sua deterioração é um facto (APA, 2018a). À medida que existe um crescimento populacional, um aumento do uso de recursos associado a avanços tecnológicos, a atmosfera vê-se afetada pelas atividades antropogénicas.

A poluição, na sua definição geral, é considerada como uma degradação, perda de qualidade ou uma contaminação do meio ambiente (Godish, 2004). De uma forma geral, a poluição atmosférica pode ser definida quando gases ou partículas de aerossol, emitidas por atividades antropogénicas, se acumulam em concentrações altas o suficiente para que a atmosfera ao nível local, regional ou global possa causar danos diretos e indiretos a seres humanos, sistemas biológicos, ecossistemas, estruturas e materiais (Jacobson, 2002). A qualidade do ar é utilizada para verificar o estado da poluição do ar (Monks et al., 2009) e esta é um produto da interação de um intrincado conjunto de fatores tais como a perigosidade dos poluentes, o volume das emissões, a topografia, as condições meteorológicas que lhes estão associadas, entre outras (APA, 2018a).

Apesar da poluição atmosférica ter como foco as emissões antropogénicas existem também emissões naturais que aumentam a deterioração da qualidade do ar e que necessitam de ser consideradas, nomeadamente, o caso das emissões geogénicas, como por exemplo, as emissões vulcânicas, o spray oceânico e fogos florestais e das emissões biogénicas, como os compostos orgânicos voláteis (VOC) a partir das florestas ou o metano proveniente dos pântanos (Daly & Zannetti, 2007; Talwar et al., 2016). No entanto, a atividade humana também pode contribuir para o aumento deste tipo de emissões, como o uso de fertilizantes à base de azoto nas atividades agrícolas (Talwar et al., 2016), o que irá influenciar as emissões biogénicas e até geogénicas, conduzindo assim à alteração da superfície da Terra por meio de atividades antropogénicas (Daly & Zannetti, 2007). No entanto, as emissões por fontes naturais

têm uma menor relevância em termos de implicações para a saúde e efeitos no bem-estar, devido ao seu nível de contaminantes ser tipicamente baixo, até porque, habitualmente, existe uma grande distância física entre as fontes de poluição de origem natural e os grandes aglomerados populacionais. Além disso, os casos de poluição de maior dimensão como fogos florestais, poeiras dos desertos ou emissões vulcânicas são episódicos e temporários (Godish, 2004).

Para além da distinção entre a sua origem (antropogénica ou natural), os poluentes podem ser ainda classificados dependendo da sua fonte de emissão, sendo de fonte fixa ou móvel.

Fontes fixas são aquelas que permanecem num local e estão associadas a estruturas fixas como edifícios, complexos industriais e centrais elétricas e frequentemente emitem um nível de poluentes, em qualidade e quantidade que permanecem razoavelmente constantes (Zunckel et al., 2008). As fontes de emissão fixas podem ainda ser subdivididas em: a) fontes pontuais que são geralmente associadas a uma fonte individual de poluição fixa em termos espaciais, como a chaminé de uma indústria (Jacobson, 2002); ou b) fontes de área que estão associadas a fontes relacionadas com áreas residenciais, campos agrícolas ou complexos industriais, em que corresponde a uma área com fontes fixas de baixa emissão de poluentes, amplamente distribuídas, mas que produz um efeito cumulativo de emissões. Por conseguinte, estas fontes são consideradas como uma área e as suas emissões são representadas como um valor coletivo (Jacobson, 2002; Zunckel et al., 2008).

As fontes móveis são consideradas como fontes individuais em movimento e encontram-se associadas ao setor dos transportes, como por exemplo o escape de um veículo a motor ou um avião (Jacobson, 2002).

Para concluir a classificação dos poluentes, estes podem ainda ser classificados como poluentes primários e secundários. Os poluentes primários são poluentes que são emitidos diretamente para a atmosfera, a partir de uma fonte fixa ou móvel, enquanto que os secundários são os poluentes que são formados na atmosfera, através de reações químicas entre poluentes primários e outros constituintes da atmosfera, como é o caso do ozono (Ahrens, 2008; Godish, 2004; Zunckel et al., 2008).

A poluição do ar e a classificação dos seus poluentes torna-se um aspeto importante não apenas na perspetiva ambiental, mas também em termos sociais, uma vez que é uma matéria que tem gerado preocupação devido ao número crescente de episódios de casos agudos em muitas cidades do mundo; afetando a economia e qualidade de vida das pessoas. Segundo a OMS (2016), a poluição do ar é considerada como uma emergência de saúde pública, uma vez que é responsável por uma a cada nove mortes anualmente. Apenas a poluição do ar ambiente mata cerca de 4.2 milhões de pessoas por ano (OMS, 2018a). Esta temática, para além de complexa, coloca diferentes desafios em termos de gestão e mitigação destes poluentes (EEA, 2017a). Como resultado, existe uma necessidade de monitorizar estes poluentes e recolher dados sobre a qualidade do ar. Na Tabela 1 podem ser observados os principais poluentes atmosféricos.

**Tabela 1 – Gases e partículas importantes para diferentes problemáticas relacionadas com atmosfera
Adaptado de Jacobson (2002)**

Poluição do ar interior	Poluição do ar exterior	Chuvas ácidas	Redução do ozono estratosférico	Alterações climáticas globais
Gases				
Dióxido de azoto	Dióxido de azoto	Ácido clorídrico	Ácido clorídrico	CFC-11 e CFC-12
Dióxido de enxofre	Etileno	Ácido nítrico	Ácido nítrico	Dióxido de carbono
Formaldeído	Monóxido de carbono	Ácido sulfúrico	CFC-11 e CFC-12	Metano
Gases orgânicos	Óxido de azoto	Dióxido de azoto	Nitrato de cloro	Óxido nitroso
Monóxido de carbono	Ozono	Dióxido de carbono	Óxido nítrico	Ozono
Radão	Tolueno	Dióxido de enxofre	Ozono	Vapor de água
Partículas				
Alergénios	Amónia	Cloreto	Cloreto	Amónia
Amianto	Carbono negro	Nitrato	Nitrato	Carbono negro
Amónia	Chumbo	Sulfato	Sulfato	Matéria orgânica
Carbono negro	Matéria orgânica			Nitrato
Esporos de fungos	Nitrato			Poeiras
Fumo de tabaco	Partículas de pneus			Spray oceânico
Matéria orgânica	Poeiras			Sulfato
Nitrato	Spray oceânico			
Pólen	Sulfato			
Sulfato				

Na realidade, existem demasiados poluentes na atmosfera para que todos possam ser monitorizados, pelo que foram selecionados os poluentes principais e estabelecidas amplas redes de monitorização em toda a Europa para avaliar a qualidade do ar e verificar se os seus níveis se encontram em conformidade com as diferentes normas legais e diretivas aprovadas, tanto pela União Europeia como pela OMS (EEA, 2015). Estas estações medem os poluentes atmosféricos que podem ser divididos em duas categorias, segundo estabelecido por Fenger (1999): os poluentes tradicionais principais (MAP, do inglês Major Air Pollutants) e os poluentes perigosos (HAP, do inglês Hazardous Air Pollutant).

Em relação aos MAP, estes compreendem:

- a. o dióxido de enxofre (SO₂) é considerado como um poluente clássico associado à queima de combustíveis fósseis contendo enxofre (como o carvão e óleo), em que as suas principais fontes estão relacionadas com refinarias de petróleo, produção de energia ou sistemas de aquecimento (como se pode observar na Figura 2); sendo que este também pode ter uma origem natural através das erupções vulcânicas;

- b. os óxidos de azoto (NO_x) são formados através da oxidação do azoto que se encontra na atmosfera durante a combustão (Fenger, 1999), com cerca de 40% das suas emissões a provir do setor dos transportes (EEA, 2015);
- c. o monóxido de carbono (CO) é um poluente primário cuja característica principal é ser um gás incolor e inodoro que se forma durante o processo incompleto da combustão. Apesar da sua fonte ser predominantemente a combustão interna de veículos a motor, qualquer combustão à base de carbono tem potencial de libertar CO como, por exemplo, o uso doméstico de biocombustíveis, queima de biomassa e incineração de resíduos sólidos (Ahrens, 2008; Zunckel et al., 2008), como se pode verificar na Figura 2;
- d. a matéria particulada (PM) refere-se às partículas que se encontram suspensas na atmosfera, como as poeiras, fuligem, pólen, aerossóis (EEA, 2015) e são uma combinação de partículas que podem ter diferentes origens, composição e distribuição granulométrica (Calvo et al., 2012). A PM resulta predominantemente das emissões de tráfego automóvel, atividades industriais e aquecimento doméstico, como a queima de biomassa (APA, 2018b).
- e. o chumbo (Pb) era um aditivo da gasolina, antes deste mesmo ter sido eliminado gradualmente até 2000; pelo que, atualmente, as suas emissões se devem à incineração de resíduos sólidos, bem como a certas atividades industriais relacionadas com a combustão de materiais com chumbo (Daly & Zannetti, 2007). Devido à retirada do chumbo dos combustíveis, atualmente os níveis de chumbo têm-se mantido abaixo dos valores legislados.
- f. o ozono troposférico (O_3) é um poluente secundário formado a partir de NO_x , VOC e luz solar. Assim, o O_3 não tem nenhuma fonte direta mas encontra-se associado às emissões dos gases precursores como, por exemplo, os resultantes do setor dos transportes em relação à emissão de NO_x (Daly & Zannetti, 2007).

Relativamente aos HAP, estes têm esta denominação devido a serem poluentes que se suspeita ou são conhecidos por causarem cancro ou outros efeitos graves à saúde, como defeitos congénitos ou complicações reprodutivas (EPA, 2017a). Estes poluentes encontram-se na atmosfera em menores concentrações e aparecem mais localizados. Nesta categoria encontram-se os VOC que, em condições de temperatura e pressão ambiente, se encontram no estado gasoso ou que vaporizam facilmente e entram na atmosfera (EEA, 2017c). Os VOC incluem compostos como o metano (CH_4), com cerca de 80% das suas emissões provenientes do setor da agricultura (EEA, 2015). Os compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC) resultam, maioritariamente, do setor dos transportes, processos industriais e uso de solventes orgânicos, como é o caso do benzeno (EEA, 2017c). Contudo, nem todos os VOC são à partida prejudiciais, mas devido ao facto de serem precursores de poluentes secundários podem levar à criação de poluentes prejudiciais à saúde (Ahrens, 2008). Outros compostos importantes no âmbito do ar urbano são os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), em concreto o benzo- α -pireno que é produzido através da combustão incompleta de combustíveis sólidos (carvão, madeira e biomassa) e resíduos agrícolas (EEA, 2017a; Fenger, 1999). Por fim, nos HAP encontram-se também incluídos os metais pesados como o cádmio, níquel e mercúrio.

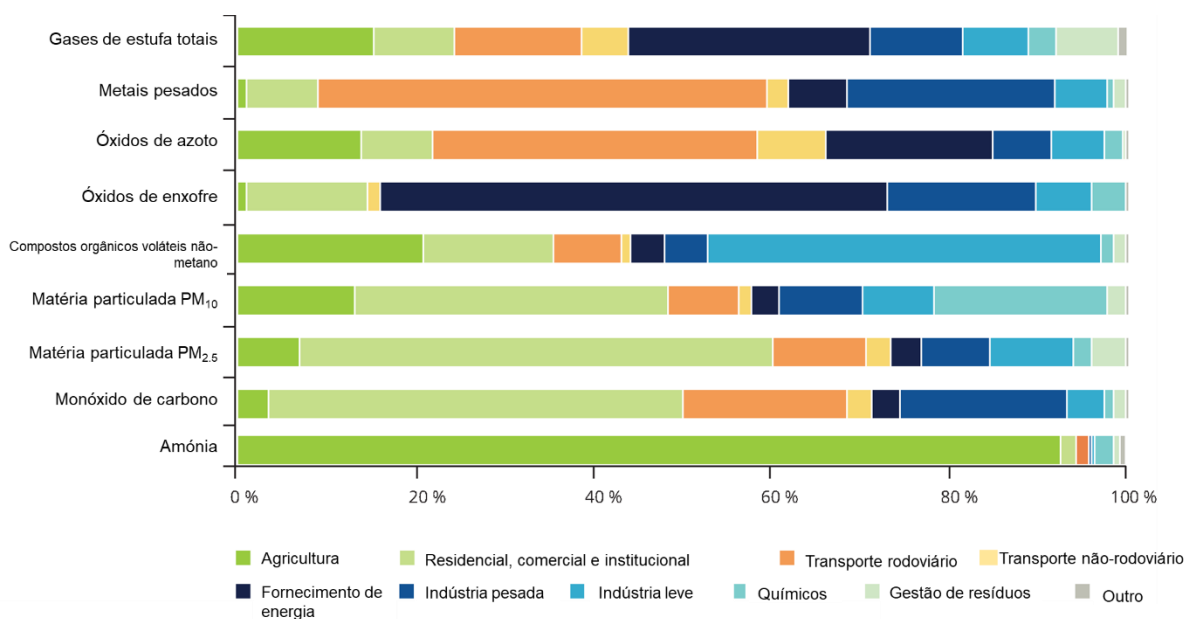


Figura 2 – Emissões de poluentes atmosféricos e GHG na região da EEA-33 em 2017, por setor de atividade (valores em percentagem)
Adaptado de EEA (2019b)

A poluição atmosférica não é apenas determinada pelo tipo e intensidade das emissões, mas também por diversos fatores que influenciam a sua dispersão na atmosfera. A meteorologia e o clima, bem como a topografia da região ou a altura da emissão exercem uma grande influência na dispersão dos poluentes (EEA, 2016). Durante a dispersão, os poluentes passam por uma ampla variedade de alterações e a diluição ocorre devido à sua mistura com o ar. Alguns poluentes também podem ser removidos por meio do processo de deposição, causando um movimento descendente dos poluentes que acaba por dirigi-los para a superfície do solo e inclui fenômenos como a precipitação, intercepção por parte de plantas ou por sedimentação (Watson et al., 1988). Devido à complexidade dos padrões de dispersão e dos processos que envolvem, especialmente em ambientes urbanos caracterizados por um grande número de fontes de emissões e de variações nas condições meteorológicas, existe uma grande dificuldade em modelar e medir tendências de poluentes e, por sua vez, prever os níveis de exposição humana (EEA, 2016).

2.1.1. Poluição atmosférica em áreas urbanas

Desde a era do Império Romano, existem relatos da poluição atmosférica ter sido considerada como um incômodo público para os habitantes das suas cidades (Chen et al., 2007). Os cidadãos queixavam-se da nuvem de fumo, que se referiam como “*gravioris cal*” (céu pesado), que rodeava a cidade devido à queima de madeira nas casas, nas olarias e noutras indústrias que escureciam a atmosfera (Mosley, 2014).

Anterior ao século XX, a maioria dos problemas de poluição atmosférica advinha da queima de madeira, carvão e outras-matérias primas sem controlo de emissões. Sendo que as primeiras tentativas de regular as emissões remontam a 1307, ao reinado de Eduardo I de Inglaterra, que, irritado pela persistente camada de fumo, proibiu a queima de carvão importado (Chen et al., 2007). No entanto, foi na primeira Revolução Industrial que se verificou um maior efeito e aumento da poluição, com a

transição da madeira para carvão no uso industrial e doméstico, dando início ao período que ficou conhecido como a “era do fumo” (Mosley, 2014), resultando em cidades continuamente com fumo e problemas de saúde para a população.

No entanto, foi no século XX que dois tipos de poluição à escala urbana foram identificados. O smog, característico pelo Grande Nevoeiro de Londres (Great Smog) em 1952, durante o qual as emissões se encontravam acopladas ao nevoeiro e foram responsáveis por várias mortes (Jacobson, 2002) e também, em Los Angeles, devido ao aumento do uso de automóveis que na presença de luz solar originava o smog fotoquímico (Ahrens, 2008; Jacobson, 2002).

Visto numa perspetiva temporal (Figura 3), a poluição atmosférica numa área urbana em desenvolvimento tem tendência para primeiramente aumentar e, após uma estabilização do desenvolvimento, acaba por baixar e regularizar os níveis de poluição até a um nível aceitável que permite cumprir os níveis legislados. Uma das principais razões para haver um aumento da poluição atmosférica numa área urbana é devido a um rápido crescimento da população (Kanakidou et al., 2011) e com a procura de maiores rendimentos. Como tal, este estímulo incentiva a um aumento da migração da população da zona rural para a urbana pela procura de melhores ofertas de trabalho, educação e serviços (Baklanov et al., 2016). Em 2007, a população urbana global excedia pela primeira vez a população rural global (Baklanov et al., 2016) e, neste momento, 55% da população vive em áreas urbanas (UN, 2018). Com o crescimento da população urbana, dá-se o aumento do uso de veículos e do consumo de energia e, conseqüentemente, observa-se o aumento das emissões e o decréscimo da qualidade do ar (Zhou et al., 2018). O planeamento e ordenamento do território nas zonas urbanas pode ter uma grande influência na emissão de poluentes, em particular os relacionados com o setor dos transportes. Por exemplo, um desenvolvimento urbano fragmentado traduz-se numa zona urbana com uma maior dependência de carros, que resulta numa diminuição da qualidade do ar (Cárdenas Rodríguez et al., 2016). Deste modo, a poluição atmosférica tornou-se uma preocupação, sendo necessário implementar medidas de controlo de emissões. Quanto mais cedo essas melhorias forem implementadas, menores serão os valores máximos a que a poluição chegará. No instante em que as medidas se tornem eficazes, observa-se uma diminuição dos níveis de poluição para valores aceitáveis e dentro da conformidade legal (Figura 3).

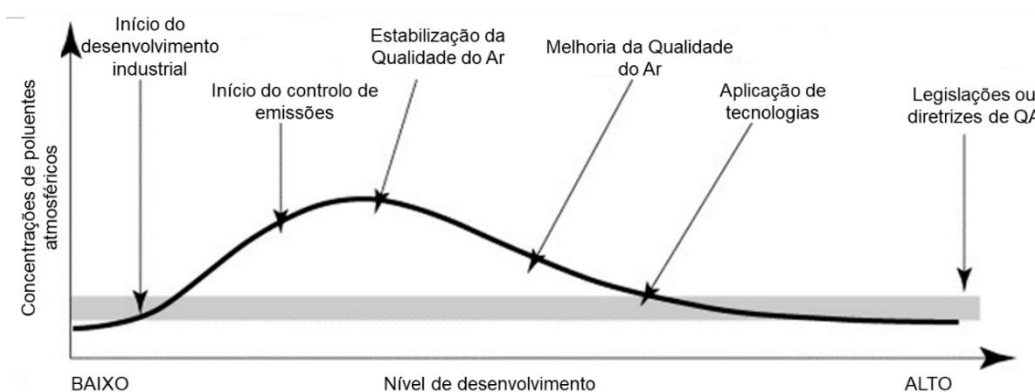


Figura 3 - Representação esquemática de um desenvolvimento típico de níveis de poluição do ar em áreas urbanas
Adaptado de Fenger (1999)

A exposição à poluição atmosférica afeta não apenas as gerações atuais, mas também as futuras e tem uma escala global. Por esse motivo, é necessária ação das autoridades públicas a um nível local, regional, nacional e internacional com uma abordagem multissetorial, envolvendo setores como a agricultura, transportes, indústria e outros para a implementação de políticas que visam a redução dos riscos associados a esta temática (OMS, 2018b). Como tal, foram estabelecidas legislações a diferentes níveis e que se encontram em vigor para avaliar e gerir a qualidade do ar ambiente. Este é o caso das diretivas europeias (2008/50/CE, 2004/107/CE). Estes diplomas estabelecem e definem os valores limite legais para cada poluente ou classes de poluentes (European Commission, 2019a) e a obrigação de implementar planos e medidas aquando a excedência desses mesmos limites (EEA, 2019b). Também se encontra em vigor as diretivas 2015/1480/EC alterando as regras relativas aos métodos de referência, validação de dados e localização de pontos de amostragem nas diretivas acima referidas e, por fim, a diretiva 2011/850/UE que estabelece um intercâmbio recíproco de informações e de dados entre os Estados-membros (European Commission, 2019a).

Posteriormente, estas diretivas podem ser transpostas para um nível nacional, como é o caso de Portugal com a criação do Decreto-Lei nº. 102/2010 que transpôs a diretiva 2008/50/CE e a quarta diretiva filha (2004/107/CE), permitindo estabelecer objetivos relativamente à qualidade do ar ambiente para os poluentes segundo as normas, orientações e programas da OMS (Nogueira & Mesquita, 2018), com o intuito de prevenir e reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente (APA, n.d.). É de salientar que em 2015 e 2017, o Decreto-Lei nº. 102/2010 foi alterado pelo Decreto-Lei nº. 43/2015 e Decreto-Lei nº. 47/2017, respetivamente, para introduzir as diretivas europeias mais recentes enunciadas acima. A Figura 4 apresenta uma representação esquemática do enquadramento legislativo em Portugal em relação à qualidade do ar ambiente.

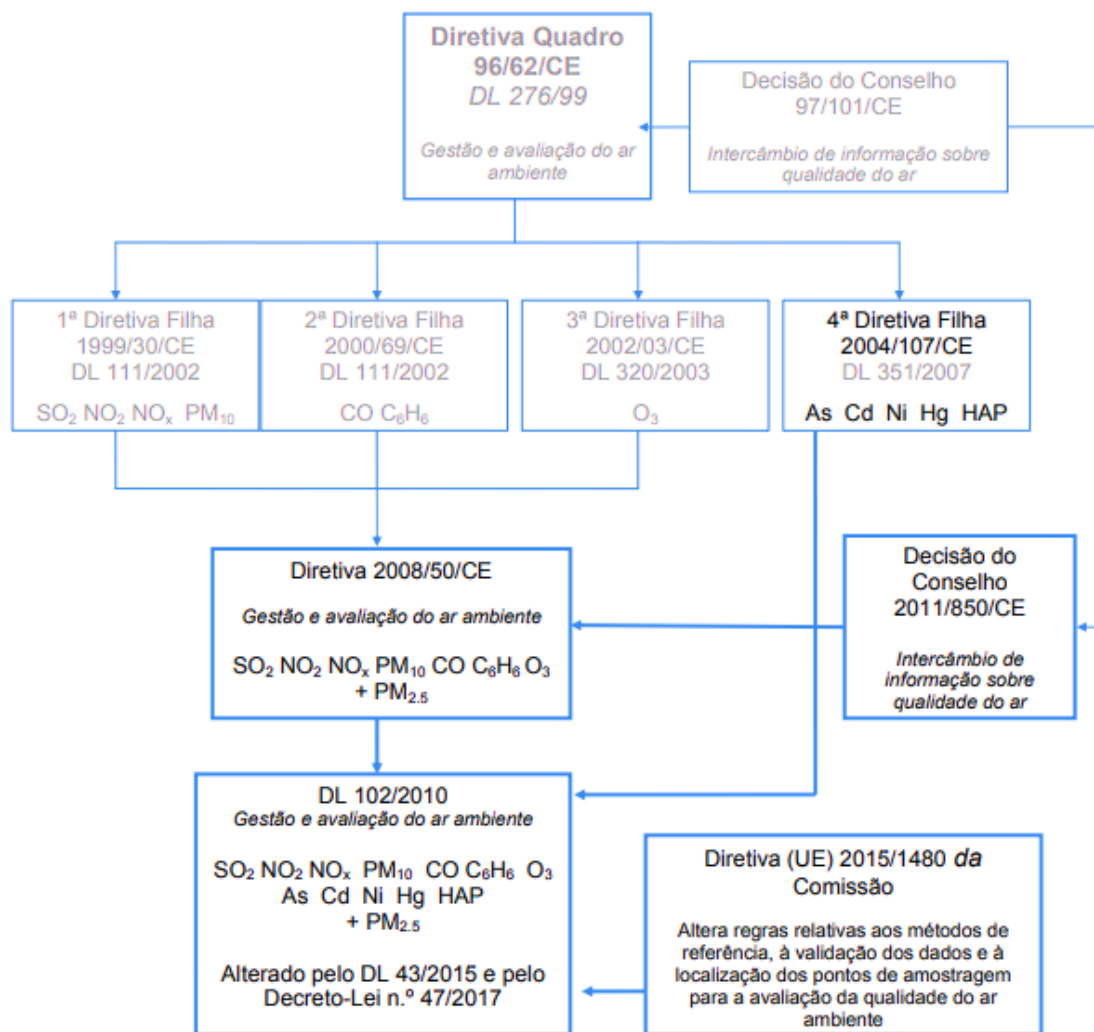


Figura 4 – Representação esquemática do enquadramento legislativo relativamente à QA ambiente em Portugal e na EU, com indicação do seu objetivo e/ou parâmetro a analisar

Fonte: Nogueira & Mesquita (2018)

A implementação destas legislações permite um combate à poluição atmosférica, mas também um contributo, direto ou indireto, para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pelas Nações Unidas (EEA, 2017a). Uma vez que a poluição atmosférica é usada como um marcador de desenvolvimento sustentável (OMS, 2016), as preocupações com esta temática também se encontram refletidas nos seguintes objetivos:

- ODS 3 – “Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”. Em que o foco é a redução de mortes e doenças por contaminação e poluição do ar (ODS 3.9);
- ODS 7 – “Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos”. Em particular, o acesso a combustíveis e tecnologias limpas ao nível doméstico;
- ODS 11 – “Tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis”, ao reduzir o impacto ambiental negativo per capita nas cidades, inclusive prestando atenção à qualidade do ar uma vez que esta é um indicador de desenvolvimento urbano sustentável (ODS 11.6) (EEA, 2017c; OMS, 2016; UN, 2015).

2.2. Perceção de um indivíduo sobre qualidade do ar

“*Fumifigium: or the inconveniencie of the aer and smoke of London dissipated*” de John Evelyn é um dos relatos contemporâneos mais reconhecidos do século XVII, sendo considerado pelos historiadores como um dos primeiros exemplos de preocupação ambiental e o primeiro documento a lidar com a poluição atmosférica por PM (Calvo et al., 2012). No entanto, foi durante os anos de 1960-1970 que começaram a existir vários estudos para avaliar o nível de perceção e conhecimento da poluição do ar, em particular nos Estados Unidos da América e Reino Unido (Bickerstaff & Walker, 2001). O desenvolvimento destes estudos tinha como intuito diminuir a discrepância observada entre as perceções do público leigo e as dos especialistas científicos e políticos e melhorar as suas estratégias de comunicação (Bickerstaff, 2004). Como tal, a compreensão e resposta da população em relação à poluição do ar pode ter variadas implicações nas sucessivas intervenções e medidas tomadas com o objetivo de proteger a saúde dos residentes (Oltra & Sala, 2016), uma vez que as relações entre a exposição ambiental (poluição do ar) e a saúde (por exemplo, efeitos respiratórios) podem ser mediados pela perceção da exposição (qualidade do ar), sendo que esta, por sua vez, é influenciada por variados fatores individuais e contextuais (Elliott et al., 1999). Portanto, a perceção de um indivíduo em relação à qualidade do ar envolve as suas crenças, atitudes e emoções, bem como as suas disposições culturais e sociais que adotam em relação ao risco, isto é, ao equilíbrio entre os possíveis benefícios e perigos (Bickerstaff, 2004). Logo, não existe um conjunto de regras universais de perceção que possam ser aplicadas ao público em massa (Bickerstaff, 2004), devendo ser ajustado à população alvo.

No entanto, de acordo com Oltra & Sala (2014), os fatores determinantes principais na perceção de um indivíduo da qualidade do ar são:

1. Consciência

Apesar de historicamente existir um aumento da consciência para a temática da poluição atmosférica, a consciencialização espontânea da poluição do ar ainda é baixa entre os indivíduos, mesmo naqueles que moram em áreas poluídas (Oltra & Sala, 2014). Em relação ao nível de informação que os indivíduos têm acerca da poluição atmosférica, segundo o relatório Eurobarometer 497 (2019), seis em cada dez europeus não se sentem informados sobre questões de qualidade do ar (54%) e, em termos nacionais, esse número aumenta para cerca de oito em cada dez portugueses (75%). Em relação ao conhecimento dos níveis padrão de qualidade do ar estabelecidos pela UE, cerca de 31% dos inquiridos tinha conhecimento da existência dos mesmos, havendo um aumento entre este estudo e o anterior (2012), onde apenas 25% dos inquiridos referiu ter conhecimento dos níveis padrão (European Commission, 2019b).

A QA tem vindo a melhorar nas últimas décadas na UE com uma diminuição das emissões dos poluentes atmosféricos entre os 10% e os 70% (consoante o tipo de poluente), apesar da maioria dos inquiridos acreditar que existiu uma deterioração da QA (58%) (European Commission, 2019b).

2. Percepção sensorial

A percepção sensorial tem-se apresentado como um dos fatores críticos na formação da percepção relacionado com a qualidade do ar. Como tal, os aspetos sensoriais da poluição (como os odores, sujidade, contrastes nas paisagens) são componentes chave para aumentar a percepção de um indivíduo nesta temática (Oltra & Sala, 2014). Na identificação de episódios de poluição atmosférica, sinais visuais e olfativos foram os indicadores mais comuns após os efeitos na saúde (Bickerstaff & Walker, 2001; Smallbone, 2010). Num estudo austríaco, apesar dos níveis de poluentes atmosféricos estarem de acordo com as diretrizes da OMS, existia uma percepção de má qualidade do ar por parte da população devido à presença de fumos com cheiros desagradáveis, poeira visível e sintomas como fadiga ou irritação nos olhos (Lercher et al., 1995).

3. Conhecimento

A compreensão e o conhecimento sobre a qualidade do ar e/ou poluição são também fatores importantes para a percepção de um indivíduo, uma vez que estes contribuem para formar as percepções sobre o nível de poluição tendo em consideração o aglomerado de possíveis fontes de poluição, como por exemplo, aglomerados de indústrias e estradas congestionadas (Saksena, 2011).

Em relação a fontes de poluição do ar, os estudos indicam que, na sua maioria, a população entende como as principais fontes em zonas urbanas, o tráfego automóvel e as indústrias (Liao et al., 2015; Smallbone, 2010) e, de acordo com Liao et al. (2015), esta percepção é associada ao seu nível de educação e, maioritariamente, ao seu local de residência. Inversamente, não existe muito conhecimento de fontes de poluição em áreas rurais, sendo essas zonas percecionadas como um “espaço limpo” (Oltra & Sala, 2014; Smallbone, 2010).

Relativamente a tipos de poluentes, existe uma menor percentagem de indivíduos com conhecimento. Segundo o estudo de Smallbone (2010), apenas 51% dos inquiridos conseguia nomear um ou mais poluentes atmosféricos; sendo os mais comuns o monóxido de carbono e o dióxido de carbono (que se encontra associado à temática das alterações climáticas).

4. Emoções

As emoções de um indivíduo são um elemento importante na sua percepção, uma vez que estas podem afetar ou sobrecarregar os nossos juízos e percepções (Yang et al., 2018). O stress e aborrecimento encontram-se associados a indivíduos que experienciam ambientes em condições adversas (Oltra & Sala, 2014). As partículas finas têm um efeito de degradar a visibilidade nas áreas urbanas e influenciar a percepção, com o estudo de Yang et al. (2018) a comprovar que à medida que a poluição por PM_{2.5} aumentava, as reações desagradáveis dos participantes iam-se intensificando e vice-versa.

5. Confiança e comunicação

A percepção dos indivíduos em relação ao risco e o seu sentido de tomar medidas significativas encontram-se relacionadas com a confiança e fiabilidade nas instituições reguladoras e controladoras (Bickerstaff, 2004). Sendo que as pessoas têm a tendência a indicar como responsáveis pelos problemas de poluição atmosférica o governo e a indústria, simultaneamente existe uma falta de

confiança de que estas instituições cumpram os seus deveres sociais (Bickerstaff, 2004; Oltra & Sala, 2014).

De acordo com Johnson (1999), existem três fatores que influenciam a confiança nas instituições: competência, atenção e valores consensuais. Estes fatores refletem como uma pessoa ou instituição é considerada como possuindo conhecimento e capacidade para gerir, é vista como honesta e a agir de acordo com interesse público, tendo os mesmos valores que as restantes pessoas.

A receptividade de um indivíduo à informação é moldada pelo nível de confiança que este tem no comunicador. No estudo de Smallbone (2010), verificou-se que organizações que não se encontravam relacionadas com o governo central receberam um maior nível de confiança, por exemplo, organizações não governamentais ou os conselhos locais foram considerados como fontes de informação mais confiáveis. Contudo, a confiança nas autoridades locais encontra-se dependente da experiência pessoal de cada indivíduo.

6. Perceção de risco

A perceção de risco varia de acordo com o seu alvo, género, sistema de valores e a forma como os diferentes riscos são apresentados a um indivíduo. As reações aos riscos dependem consoante o tipo de riscos: voluntários (fumar) ou involuntários (exposição a poluição), naturais ou antropogénicos ou outro tipo de características (OMS Regional Office for Europe, 2013).

Segundo a fórmula de Sandman (1993), a perceção de risco é um julgamento subjetivo em relação às características e severidade do risco e é composto por dois componentes: o perigo (aspeto mais científico relacionado com a probabilidade de um certo evento ocorrer) e a indignação (aspeto mais subjetivo focado na situação em oposição à extensão dos riscos) (OMS Regional Office for Europe, 2013).

Apesar da perceção dos riscos associados à qualidade ter aumentado ao longo dos anos, o fator da “invisibilidade” da poluição atmosférica tem um efeito desencorajador nas pessoas a associar a poluição atmosférica à saúde (Oltra & Sala, 2014) e isso é comprovado pelo estudo de van den Elshout (2007) que constatou que a maioria da população considera a poluição atmosférica como um risco impessoal, sem efeitos diretos (de curto prazo) na saúde e, conseqüentemente, a poluição do ar não é considerada para aqueles com boas condições de saúde como sendo de alta relevância pessoal.

Para além destes fatores mais individuais, o que se verificou pelos estudos é que a perceção da qualidade do ar tende a variar com fatores demográficos: idade, género, etnia, nível de educação, presença de filhos, ocupação profissional (Elliott et al., 1999; Liao et al., 2015; Liu et al., 2016; Schmitz et al., 2018). O contexto social e cultural em que um indivíduo se insere também influencia a perceção de risco através do capital social, apego ao local ou lembranças (Bickerstaff & Walker, 2001; Wakefield et al., 2001). Por fim, temos uma questão mais institucional e contextual como o facto de se viver em ambiente rural/urbano ou com proximidade a indústrias (Brody et al., 2004). Todos estes fatores vão moldar a perceção de um indivíduo sobre a poluição atmosférica.

2.3. Partículas atmosféricas

Um aerossol pode ser definido como uma suspensão composta por partículas sólidas e/ou líquidas num gás (Seinfeld & Pandis, 2016). No entanto, são as partículas nesses mesmos aerossóis que requerem um maior conhecimento. Segundo a Agência Europeia do Ambiente, PM pode ser definida como (EEA, 2017b):

“Um nome coletivo para partículas finas sólidas ou líquidas adicionadas à atmosfera por processos que ocorrem na superfície da Terra”

Também a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América, define PM como (EPA, 2017b):

“Uma mistura complexa de partículas extremamente pequenas e gotículas”

Como tal, a PM é uma combinação de partículas que podem ter diferentes origens, composições químicas, distribuições granulométricas (Calvo et al., 2012) e mecanismos de formação (El-Fadel & Massoud, 2000), sendo considerada como um dos poluentes com maior impacto na saúde humana (Martinelli et al., 2013), bem como com impacto nos ecossistemas, na degradação da visibilidade e alterações no clima ao nível local e global (Godish, 2004; Kothai et al., 2011; Zhang et al., 2015).

A composição química das partículas atmosféricas é diversa e pode conter iões inorgânicos (como o sulfato, nitrato, amónio, potássio, cálcio, magnésio e cloretos), compostos orgânicos (como os PAH), água, metais (incluindo ferro, cobre, níquel, zinco e vanádio) e também material carbonáceo consistindo em carbono orgânico e elementar (Kim et al., 2015; Seinfeld & Pandis, 2016). As partículas carbonáceas são componentes principais na emissão de PM (Hester et al., 2016), sendo que o carbono elementar, também identificado como carbono negro, é emitido predominantemente por processos de combustão (Seinfeld & Pandis, 2016).

A PM pode ter a sua origem a partir de uma fonte antropogénica (por exemplo, tráfego, atividade industrial, processos de combustão, etc.) ou por uma fonte natural como o spray oceânico, poeiras transportadas pelo vento (tal como acontece em Portugal, provenientes do deserto do Sahara), pólen, entre outros (Almeida et al., 2005; APA, 2018b; Calvo et al., 2012). Estas podem ser emitidas diretamente como partículas (poluente primário) ou como poluente secundário (na forma gasosa) que, através da ação de processos de conversão, se transforma em partícula (Seinfeld & Pandis, 2016).

A origem da PM possibilita a determinação de propriedades cruciais para a sua identificação como a sua dimensão, forma e composição química; todos estes parâmetros afetam a toxicidade das partículas e tem efeitos tanto na saúde como nos ecossistemas (Diapouli et al., 2017). Contudo, o estudo das PM ainda é uma tarefa complexa que requer conhecimento e compreensão de todos os fatores envolvidos: a emissão de poluentes para a atmosfera (por fonte antropogénica ou natural), o seu transporte, a sua composição química e propriedades físicas além da sua deposição e, finalmente, o seu efeito sobre os ecossistemas e seres vivos (Calvo et al., 2012).

2.3.1. Dimensão e propriedades das partículas

Uma das características mais distintivas das partículas atmosféricas é a sua dimensão. Os tamanhos das partículas variam em várias ordens de magnitude, o que influencia a vida útil das partículas em suspensão na atmosfera e, por conseguinte, a extensão espacial da sua influência (Heal et al., 2012).

A forma e morfologia da PM apresenta uma grande variedade, desde esferas, fragmentos cristalinos até outras formas irregulares (Godish, 2004), sendo que um conjunto de partículas pode não ter apenas um único formato (Heal et al., 2012). Como tal, o tamanho das partículas é baseado no diâmetro aerodinâmico equivalente, ou seja, considera-se uma partícula esférica de densidade unitária (1g/cm^3) com uma velocidade de deposição idêntica à da partícula considerada (Godish, 2004; Seinfeld & Pandis, 2016). Portanto, a classificação relacionada com o dimensionamento das PM tem em atenção o modo como são formadas e o seu potencial para causar algum dano ao ser humano, em particular, em relação à sua deposição nas vias respiratórias (Anderson et al., 2012; Heal et al., 2012).

As partículas atmosféricas podem ter dimensões que variam entre as dezenas de angstroms (\AA) e as centenas de micrómetros (μm) (Seinfeld & Pandis, 2016). Em termos de dimensões estas encontram-se geralmente classificadas como: partículas grosseiras ($\text{PM}_{2.5-10}$) e partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$), consoante o seu diâmetro aerodinâmico (Seinfeld & Pandis, 2016). As partículas grosseiras encontram-se associadas a processos mecânicos como moagem e abrasão de superfícies e suspensão de poeiras (Adar et al., 2014; Martinelli et al., 2013), spray oceânico, fontes biológicas (por exemplo, pólen, fungos, etc.) (Seinfeld & Pandis, 2016). Por outro lado, as partículas finas resultam principalmente de processos de combustão, incluindo emissões de veículos a motor, produção de energia e processos industriais (Kothai et al., 2011; Martinelli et al., 2013).

Esta classificação pode ser ainda mais pormenorizada, considerando as partículas ultrafinas (UFP), cujo diâmetro aerodinâmico é inferior a $0.1\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{0.1}$) (Godish, 2004). Até recentemente, estas seriam as categorias utilizadas, no entanto, na categoria das UFP encontra-se também as nanopartículas ($\text{PM}_{0.05}$), que de acordo com Vallero (2014) podem-se distinguir pelo facto das nanopartículas serem consideradas como partículas que foram formadas intencionalmente, ao contrário das UFP que são subprodutos não intencionais de certas atividades, como a combustão de diesel.

As PM também se podem distinguir devido aos seus tempos de sedimentação: enquanto que as $\text{PM}_{2.5-10}$ se depositam num curto período de tempo (Seinfeld & Pandis, 2016), as $\text{PM}_{2.5}$, devido à sua dimensão menor, tendem a ficar suspensas na atmosfera por longos períodos de tempo (semanas ou meses) e podem ser transportadas por vários quilómetros (Godish, 2004; Kim et al., 2015).

As quantidades relativas de partículas presentes em cada fração são expressas pela concentração de massa ($\mu\text{g/m}^3$), no caso de $\text{PM}_{2.5}$ e PM_{10} (Hester et al., 2016). As UFP, por apresentarem uma massa negligenciável, são normalmente expressas através da concentração numérica (PNC) (Zhang et al., 2015). Sendo assim, numa amostra ambiental, o número total de partículas aumenta à medida que o diâmetro da partícula diminui, enquanto a massa total das partículas da amostra diminui exponencialmente com a diminuição do diâmetro equivalente das partículas (Anderson et al., 2012). De acordo com Godish (2004), o rácio entre partículas grosseiras e finas em zonas urbanas e não-

urbanas é 1:1 e 3:1, respetivamente. No entanto, mudanças na velocidade e direção do vento, bem como a precipitação, podem conduzir a uma modificação no rácio entre frações e na concentração numérica de PM (Kim et al., 2015; Yue et al., 2009).

2.3.2. Formação e remoção das partículas

As partículas finas e grosseiras, genericamente, têm modos de formação diferentes e são removidos da atmosfera por mecanismos distintos, como se verifica na Figura 5 (Seinfeld & Pandis, 2016), baseando-se no seu volume, número e área de superfície.

Considerando a concentração numérica de partículas, existem dois modos que dominam esta distribuição em áreas urbanas e rurais: o modo de nucleação e o modo *Aitken*. O modo de nucleação inclui partículas com diâmetros aerodinâmicos até 10 nm (Seinfeld & Pandis, 2016) e são caracterizadas por serem partículas criadas *in-situ* através de processos de condensação de vapores durante o processo de combustão e/ou a partir da nucleação de espécies atmosféricas (Godish, 2004; Seinfeld & Pandis, 2016; Zhang et al., 2015), dependendo das condições atmosféricas para a sua formação. Sendo que as partículas no modo de nucleação têm um tempo de vida útil muito curto devido à sua tendência a unirem-se a outras partículas através da coagulação, formando partículas de dimensão superior (Seinfeld & Pandis, 2016) ou devido a impactos aleatórios com superfícies (Alfarra, 2004).

O modo *Aitken* compreende as partículas finas de dimensões entre os 10 e 100 nm (0.1 μm), ou seja, na categoria das UFP (Seinfeld & Pandis, 2016), e apresenta o mesmo processo de produção que o modo de nucleação. Os núcleos de *Aitken* iniciam a sua vida atmosférica como partículas primárias e existe condensação de material secundário sobre as partículas à medida que estas são transportadas na atmosfera (Pandis, 2004).

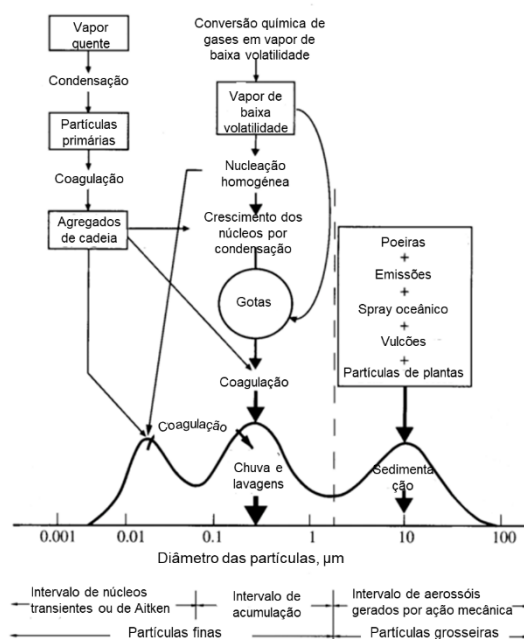


Figura 5 – Mecanismos de formação e remoção das partículas de acordo com a sua dimensão Adaptado de Seinfeld & Pandis (2016)

Relativamente à distribuição de partículas em termos de massa e volume, esta é dominada pelos restantes dois modos: o modo de acumulação e modo grosseiro. O modo de acumulação refere-se a partículas com diâmetro aerodinâmico entre 0.1 e 2.5 μm e forma-se a partir da coagulação das partículas dos núcleos de *Aitken* e da condensação de vapores nas partículas existentes e a sua taxa de crescimento depende do número de partículas, da sua velocidade e área de superfície (Godish, 2004). A denominação deste modo deve-se ao facto dos processos de remoção de partículas serem ineficientes neste regime, causando uma acumulação das partículas (Alfarra, 2004; Godish, 2004; Seinfeld & Pandis, 2016).

O modo grosseiro corresponde a partículas cujo diâmetro corresponde ao das partículas grosseiras ($\text{PM}_{2.5-10}$) e, como previamente mencionado, são formadas a partir de processos mecânicos e introduzidas diretamente na atmosfera (Seinfeld & Pandis, 2016).

A remoção da PM na atmosfera pode ser efetuada através de dois mecanismos: a deposição seca, através da deposição das partículas na superfície da Terra por ação da força gravitacional; e a deposição húmida, através da incorporação em gotas de água durante a formação e nuvens ou precipitação (Alfarra, 2004; Pandis, 2004).

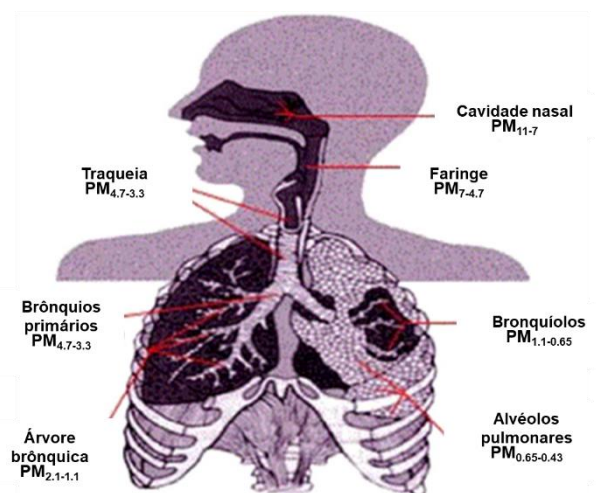
2.3.3. Impactes das partículas atmosféricas

A boa qualidade do ar é um aspeto importante na qualidade de vida, existindo a necessidade de proteger a saúde humana, mas também o ambiente e os recursos naturais que nos concede, fazendo parte do património cultural (EEA, 2019b). Sendo que quatro em cada cinco habitantes na UE veem as questões ambientais como tendo efeito direto na sua vida e saúde (EEA, 2018), a poluição do ar é entendida como a segunda maior preocupação ambiental, após as alterações climáticas (EEA, 2019a). A PM é um componente crucial da poluição atmosférica e tem impactes adversos na população, tendo já sido classificada pela Agência Internacional de Pesquisa para o Cancro (IARC) como carcinogénica para os humanos (Costa et al., 2014). $\text{PM}_{2.5}$ e PM_{10} diferenciam-se nos seus impactes na saúde uma vez que as propriedades físicas da PM, em concreto o seu diâmetro aerodinâmico, afetam o transporte e a deposição das partículas no sistema respiratório e a composição química determina o seu efeito (Adar et al., 2014; El-Fadel & Massoud, 2000).

2.3.3.1. Impactes na saúde humana

No ano de 2017, cerca de 17% da população dos 28 Estados-Membro (EU-28) esteve exposta a níveis de PM_{10} acima do valor-limite diário e 8% da população em relação ao limite médio anual referente a $\text{PM}_{2.5}$ (EEA, 2019a). Cada ser humano inala cerca de 10 m^3 de ar por dia, representando uma potencial exposição aos efeitos nocivos da matéria particulada (APA, 2018b). Existem diversos estudos epidemiológicos a relacionar a PM com efeitos adversos na saúde humana, como a mortalidade prematura e a morbilidade relacionada com problemas respiratórios e cardiovasculares (Dockery et al., 1993; Pope III et al., 2002; Timonen & Pekkanen, 1997) e, também, a relacionar a PM com os tempos de exposição de indivíduos à $\text{PM}_{2.5-10}$ e $\text{PM}_{2.5}$, em curto prazo (horas a dias) ou longo prazo (meses ou anos) (Costa et al., 2014; EEA, 2019a).

Os efeitos adversos na saúde relacionados com a exposição à PM são iniciados após a inalação das partículas (Costa et al., 2014). Contudo, o efeito da exposição à PM depende das características físicas do indivíduo, como o modo de respiração, frequência e volume (Kim et al., 2015). De um modo geral, quanto menor a partícula mais profundamente penetrará no trato respiratório. Relativamente à inalação de partículas, através de respiração nasal, o muco e os cílios atuam como um filtro eficaz para a maioria das partículas com diâmetro superior a 10 μm (Kim et al., 2015). Tal como se verifica na Figura 6, as partículas grosseiras ($\text{PM}_{2.5-10}$) depositam-se nas passagens nasais e nas maiores vias respiratórias, contudo estas partículas são expelidas através da tosse ou espirros (Jang, 2012). As partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$) penetram no trato respiratório inferior, particularmente na região traqueobrônquica e também nos alvéolos pulmonares (Guarnieri & Balmes, 2014; Kim et al., 2015), apresentando uma proporção três vezes superior à concentração de partículas grosseiras (Martinelli et al., 2013). Considerando as UFP, estas comportam-se de uma maneira semelhante às moléculas de gás e, por conseguinte, penetram na região alveolar e entram na corrente sanguínea (Kim et al., 2015).



**Figura 6 – Deposição da PM no sistema respiratório de acordo com a sua dimensão
Adaptado de Kim et al. (2015)**

Além de efeitos adversos no sistema respiratório, a PM afeta a saúde humana em muitos aspetos, como vários estudos têm demonstrado. Pope III et al. (2002) verificaram que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas finas na atmosfera contribui para o aumento do risco de mortalidade cardiorrespiratória e de cancro do pulmão em cerca de 6% e 8%, respetivamente. Os diabetes também se encontram associados à matéria particulada, especialmente $\text{PM}_{2.5}$. Bowe et al. (2018) verificaram que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ resultava num risco de aumento de diabetes com uma taxa de risco de 1.5%. Além disso, foi atribuído cerca de 3.2 milhões de casos de diabetes e 8.2 milhões de anos de vida perdidos devido à exposição a $\text{PM}_{2.5}$ no ano de 2016 (Bowe et al., 2018). Tem existido cada vez mais estudos a demonstrar a associação entre PM e doenças cardiovasculares, em que estas apresentam-se na forma de um aumento de internamentos e mortes (Gautam & B. Bolia, 2020). De acordo com Shah et al. (2013), a $\text{PM}_{2.5}$ e a PM_{10} está positivamente associada à hospitalização e mortalidade por insuficiência cardíaca com 2.12% e 1.63%, respetivamente. A exposição prolongada a PM encontra-se também fortemente relacionada com a mortalidade atribuída a cardiopatia, isquemia, disritmia cardíaca e paragens cardíacas (Pope III et al., 2003).

Os efeitos na saúde podem variar dependendo da intensidade e duração da exposição, mas também consoante a idade e o estado de saúde do indivíduo (Molina & Molina, 2004). Alguns grupos são considerados de risco e podem desenvolver efeitos mais severos quando expostos – como por exemplo, idosos, crianças, mulheres grávidas e pessoas com doenças subjacentes - ou então, certos grupos podem encontrar-se mais expostos a níveis de poluição alta, como pessoas em determinados grupos ocupacionais ou socioeconómicos (OMS Regional Office for Europe, 2016). Consequentemente, os efeitos na saúde associados à poluição atmosférica resultam de uma combinação entre condições ambientais, exposição a essas mesmas condições e suscetibilidade individual (EEA, 2018).

2.4. Biomonitorização

O grau e a extensão das mudanças ao nível da qualidade do ar conduziram a uma nova urgência e relevância à deteção e compreensão das mesmas, existindo uma necessidade de monitorizar as alterações na qualidade do ar (Hoodaji et al., 2012).

Segundo Wolterbeek (2002), a informação sobre os poluentes atmosféricos pode ser obtida através da modelação da sua dispersão e deposição, tendo por base fontes de emissão conhecidas à priori (base centrada na fonte), ou por medições de ocorrências atmosféricas atuais e/ou deposição (base centrada no recetor). Sendo que as medições no recetor são consideradas essenciais e necessárias para a validação dos modelos de dispersão e deposição, de modo a ser possível a identificação de fontes desconhecidas (Wolterbeek, 2002).

Nesse sentido, os métodos de amostragem de referência para a monitorização das partículas atmosféricas são baseados, por norma, em métodos de amostragem ativa utilizando bombas de ar, de modo a recolher a PM em filtros (Canha et al., 2014; Protano et al., 2017). Contudo, esta metodologia apresenta desvantagens como a necessidade de equipamentos sofisticados e caros, da adição de acessórios (por exemplo, fonte de alimentação, bomba) (Canha et al., 2014) e de pessoal técnico especializado. Existe assim uma limitação do número de amostradores, não permitindo uma monitorização simultânea e uma vasta cobertura da área afetada (Almeida et al., 2012; Winkler et al., 2020). Nesse sentido, a biomonitorização pode ser utilizada como um complemento às amostragens ativas, oferecendo vantagens como a capacidade de realizar um grande número de amostragens, na escala espacial desejada, com baixo custo e pouca necessidade de manutenção (Boonpeng et al., 2017; Gür & Yaprak, 2011).

Um bioindicador é um organismo que contém informação acerca da qualidade do ambiente, enquanto um biomonitor é um organismo que contém informações sobre os aspetos quantitativos da qualidade do ambiente (Markert et al., 2003). Sendo assim, um biomonitor é sempre um bioindicador, mas o contrário pode não ocorrer. A informação que os biomonitores fornecem deve-se à sua resposta a diferentes níveis de poluição e pode ser analisada através de mudanças no comportamento (como por exemplo, morfologia, desempenho fisiológico e/ou ecológico) ou através das concentrações de substâncias nos biomonitores (Wolterbeek, 2002).

Os biomonitorios podem ser classificados como sensíveis e acumuladores consoante a forma como estes reagem aos níveis de poluição (Figura 7), (Conti & Cecchetti, 2001; De Temmerman et al., 2004; Gür & Yaprak, 2011). Os biomonitorios sensíveis (ou reativos) são utilizados como integradores do stress causado por contaminantes e podem ser utilizados como aviso preventivo (Conti, 2008), uma vez que se verifica o efeito dos poluentes no biomonitorio através de alterações morfológicas na espécie e no seu funcionamento fisiológico e ecológico (Hoodaji et al., 2012). Por outro lado, os biomonitorios acumuladores têm a capacidade de acumular os contaminantes nos seus tecidos, permitindo posteriormente a sua análise para avaliação da concentração dos contaminantes no meio ambiente (Conti & Cecchetti, 2001). Relativamente à sua origem, estes podem ser categorizados como ativos e passivos. O primeiro termo refere-se a biomonitorios que são recolhidos num local específico e transplantados para a área de estudo por um período definido, enquanto que o segundo termo refere-se a organismos nativos e que permitem avaliar a sua reação aos poluentes que possam existir (Markert et al., 2003).

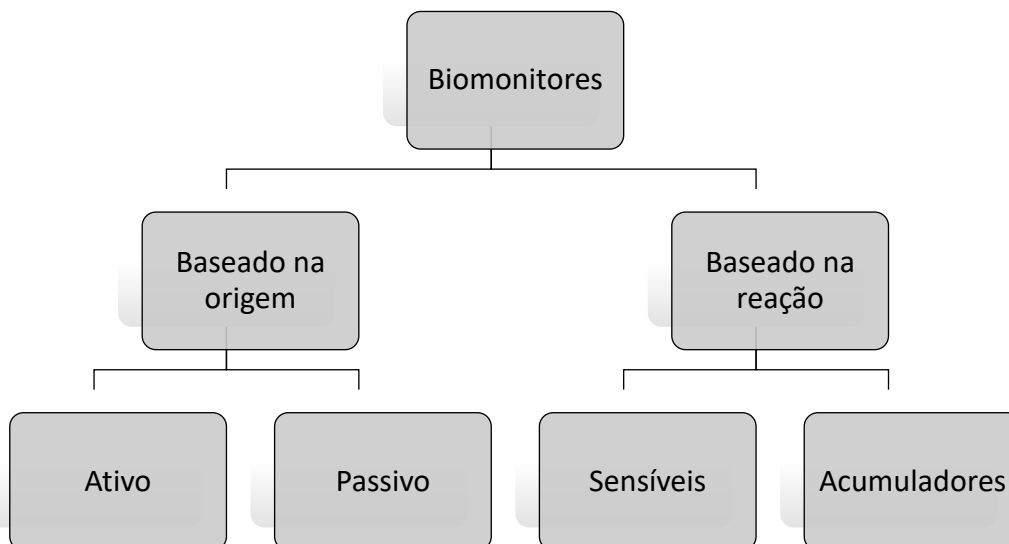


Figura 7 – Classificação dos biomonitorios
Adaptado de Hoodaji et al. (2012)

2.4.1. Folhas como biomonitorios

Os biomonitorios mais comumente utilizados são líquenes, musgos, cascas de árvore e folhas por serem imóveis e mais sensíveis a reações fisiológicas do que os animais ou seres humanos (Hoodaji et al., 2012). Estes conseguem acumular contaminantes consoante as suas características (como a espécie ou idade), temperatura ou humidade (Conti & Cecchetti, 2001).

Focando nas folhas como biomonitorios, estas têm sido utilizadas de forma recorrente como abordagem rápida e confiável para explorar a qualidade do ar em meios urbanos (Castanheiro et al., 2020) por apresentarem uma maior área superficial específica (densidade de área foliar) e permitirem ser um eficiente coletor de partículas atmosféricas urbanas (Hofman et al., 2017). A eficiência da acumulação de partículas varia entre as espécies, influenciadas pela sua fenologia (caduca vs. perene), densidade da área foliar e características das folhas, por exemplo, rugosidade da micro-superfície, presença de

tricomas (ou seja, características semelhantes a cabelos nas superfícies da folha) ou até mesmo a camada de cera presente nas mesmas (Hofman et al., 2017; Kardel et al., 2011).

2.4.2. Biomonitorização e participação pública

Para além das vantagens previamente estabelecidas, a biomonitorização também pode servir de elo entre a comunidade científica e as comunidades das áreas de estudo. Uma participação pública eficiente deve ser genuína e educativa, de modo a envolver todas as partes interessadas (McDonald et al., 2002).

A ciência cidadã é descrita como uma prática que envolve cidadãos e profissionais nos seus projetos, sendo esses mesmos projetos adaptados para dar um papel aos cidadãos, seja para benefício educacional ou do próprio projeto (Constant, 2018). Segundo Cunha et al. (2017), a ciência cidadã tem o potencial de gerar capital social suficiente para criar uma ação coletiva que possa resolver problemas ambientais e favorecer mudanças comportamentais nos indivíduos.

O benefício da ciência cidadã baseia-se no facto da participação dos indivíduos nos projetos melhorar os processos de decisão ao nível das autoridades locais, companhias ou instituições (Cunha et al., 2017), mas também ter um efeito de aprendizagem e de maior perceção para os temas ambientais (Constant, 2018). A ciência cidadã pode resultar na proteção da saúde pública e do meio ambiente, ao fornecer às comunidades melhores dados sobre a poluição na sua área, reduzindo os custos da monitorização da poluição atmosférica (Constant, 2018). Quando uma comunidade assume a responsabilidade de recolher dados sobre o ambiente local, esta pode ser designada como monitorização baseada na comunidade (Conrad & Hilchey, 2011).

Na biomonitorização, a ciência cidadã já começa a ser utilizada como complemento para os estudos de poluição atmosférica. Um dos casos de estudo foi um projeto educacional envolvendo estudantes da região Central de Itália, com o propósito de biomonitorizar o ozono troposférico através de sementes de tabaco (Lorenzini & Nali, 2004; Nali & Lorenzini, 2007). Outro projeto mais recente é o projeto AIRbezen na Antuérpia que tem o objetivo de avaliar a poluição do ar e quantificar a poluição relacionada com partículas provenientes do tráfego automóvel recorrendo a plantas de morangueiro distribuídas pela população local (University of Antwerp, 2020).

3. Método

No presente capítulo, pretende-se caracterizar a área de estudo e descrever todos os processos de seleção, obtenção e tratamento de dados e mostrar as técnicas utilizadas para a obtenção dos mesmos. Na Figura 8 apresenta-se a esquematização do procedimento adotado.

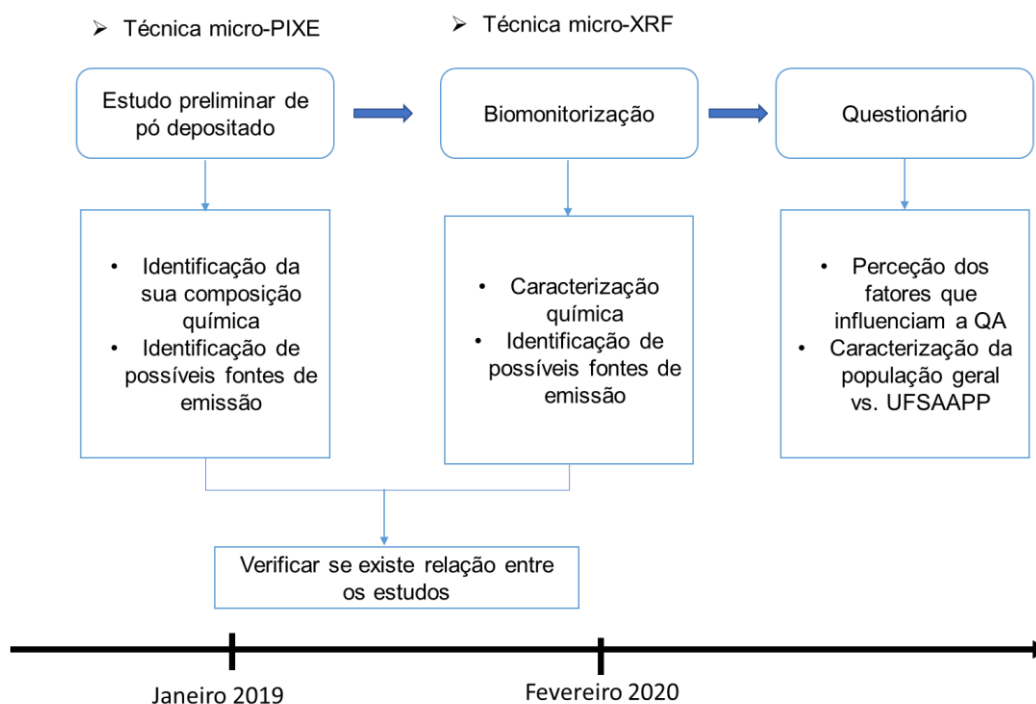


Figura 8 – Esquematização do procedimento adotado para o método

3.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi o concelho do Seixal, mais especificamente a União de Freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires (UFSAAPP) localizada na Península de Setúbal e nas margens do rio Tejo (Figura 9). O concelho de Seixal é composto por 4 freguesias e possui uma área de 95.5 km², com uma população de cerca de 166 403 habitantes no ano de 2018, perfazendo uma densidade populacional de 1 743 hab/km², sendo aproximadamente 15 vezes superior à densidade populacional em todo o território português (Pordata, 2018).

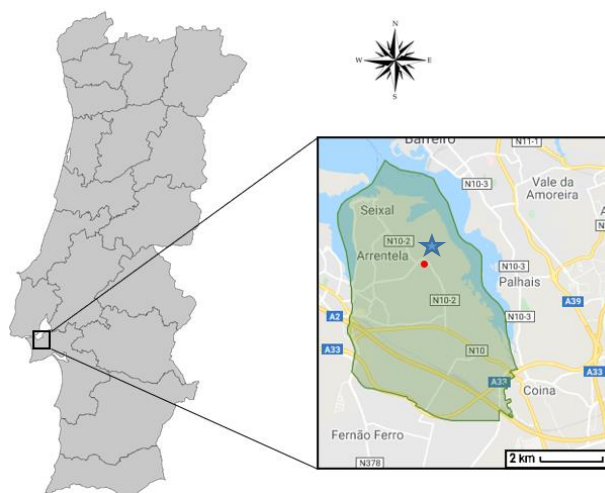


Figura 9 – Localização da área de estudo e delimitação da união de freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires (área a verde), localização da área de recolha de partículas em estudo (círculo a vermelho) e a localização da siderurgia (estrela a azul)

Devido à sua localização geográfica e acessibilidades relativamente a Lisboa, o município do Seixal apresenta uma grande fixação de indústrias em comparação com a média na Área Metropolitana de Lisboa (AML). Em termos de densidade de empresas, o concelho do Seixal e a AML exibem uma média de 155.8 e 117.5 empresas por km², respetivamente (Pordata, 2017). A fixação destas empresas e serviços centrou-se em fábricas de lanifícios e têxteis, indústria transformadora (relacionada com a indústria de ferro e aço) e, em particular, a Siderurgia Nacional.

3.2. Questionário sobre a perceção da QA

Um dos objetivos desta dissertação foi avaliar a perceção dos cidadãos residentes em Portugal em relação à qualidade do ar, e comparar os resultados obtidos para a população residente na área de estudo, que está alerta para os problemas da QA e que foi envolvida no estudo de avaliação da QA, com a população residente noutros locais do país.

Como tal, foi distribuído um questionário com o intuito de verificar a perceção dos cidadãos residentes em Portugal em relação à qualidade do ar, presente no Anexo A e baseado no questionário de Schmidt & Guerra (2013). Este questionário encontra-se dividido em 6 partes, compostas primeiramente por uma caracterização do participante, seguido de uma secção relacionada com a perceção da qualidade do ar, os efeitos da QA, informação sobre a QA, controlo da poluição atmosférica e, por último, participação no projeto dos morangueiros, que tem um foco nos inquiridos que colaboraram no estudo de biomonitorização descrito na secção 3.4. .

Este questionário foi distribuído online e respondido de forma anónima, tendo estado disponível entre 1 de fevereiro e 26 de junho de 2020. Durante este período foram recolhidas 1134 respostas, de participantes com idades compreendidas entre os 15 e 77 anos, de todos os distritos e regiões de Portugal.

3.3. Amostragem e caracterização de partículas

3.3.1. Amostragem

Em diversos momentos, a população residente no Seixal manifestou o seu descontentamento devido à queda de um pó (branco e preto) nas suas residências e automóveis, atribuindo culpa à Siderurgia Nacional. Este descontentamento foi amplamente divulgado na comunicação social (Anexo B) e mereceu a atenção das autoridades locais, regionais e nacionais. Por forma a dar resposta a este problema, a Câmara Municipal do Seixal (CMS) promoveu o desenvolvimento de vários estudos (Figura 1).

Um dos estudos realizados pelo IST centrou-se na amostragem das partículas depositadas e na sua caracterização química, por forma a efetuar-se uma primeira identificação da fonte emissora. Assim sendo, a 15 de janeiro de 2019, na sequência de um episódio de aumento da deposição de partículas atmosféricas na Aldeia de Paio Pires, procedeu-se à ida ao local com o objetivo de recolher amostras de partículas depositadas em superfícies.

De maneira a avaliar os eventos de deposição de partículas recentes, foram recolhidas amostras nas campas do cemitério paroquial da Aldeia de Paio Pires. A escolha do local de amostragem deveu-se ao facto das campas apresentarem uma superfície horizontal cuja sua limpeza tinha sido efetuada até a um máximo de 24 horas antes da ocorrência do evento, garantindo que o pó recolhido seria referente ao evento estudado. O pó foi recolhido com a assistência de um pincel e de uma moldura de cartão para uniformizar a área de amostragem e, subsequentemente, colocado em tubos de polietileno (como se mostrado na Figura 10). Um total de 7 amostras (de A a E) foi recolhido (uma amostra por cada campas, sendo que numa das campas se recolheram 3 amostras - A1, A2 e A3), como se pode verificar em Justino et al. (2019).



Figura 10 A) Local da recolha de partículas depositadas B) recolha de partículas utilizando um pincel e uma moldura de cartão C) detalhe da recolha de partículas D) armazenamento das partículas nos frascos de polietileno devidamente identificados

No laboratório, verificou-se que as partículas depositadas nas campas apresentavam propriedades magnéticas através de um teste com um íman (Figura 11).

A caracterização química das partículas foi realizada no Institute for Nuclear Research da Hungarian Academy of Sciences através da técnica micro-Emissão de Raios-X Induzida por Partículas (micro-PIXE).



Figura 11 – Propriedades magnéticas das partículas recolhidas, através da utilização de um íman

3.3.2. Caracterização química por micro-PIXE

A técnica de micro-Emissão de Raio-X Induzida por Partículas (do inglês, micro-PIXE) é reconhecida como uma técnica não destrutiva e eficiente para a determinação da fração mássica de um elevado número de constituintes elementares (Koltay et al., 2011). Esta técnica multi-elementar foi utilizada na determinação quantitativa da composição elementar das sete amostras recolhidas no cemitério paroquial da Aldeia de Paio Pires.

O micro-PIXE consiste na exposição de amostras a um feixe de partículas que gera radiação no comprimento de onda raio-X. A correspondência exclusiva entre as linhas de energia dos raios-X característicos e os números atômicos dos átomos excitados permitem a identificação dos elementos (Koltay et al., 2011). Na Figura 12, pode observar um esquema do sistema utilizado para a análise das amostras na área de estudo.

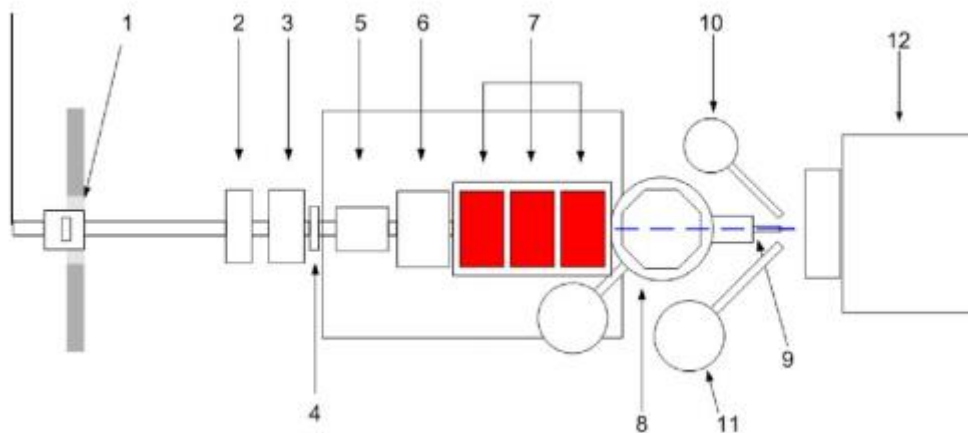


Figura 12 – Representação esquemática da configuração externa da microsonda
Fonte: Török et al. (2015)

Para tal, foi utilizada uma microsonda nuclear de varrimento instalada na linha de luz a 0° do acelerador Van Graff de 5MV do Institute for Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, na Hungria. As amostras foram irradiadas com um feixe focalizado de H⁺ com uma energia de 2.5 MeV e entre 200-300 nA e com um tamanho de 3 µm x 3 µm.

Para cada amostra, foi criada uma pastilha com 5 mm de diâmetro a partir do pó recolhido, utilizando uma prensa de aço inoxidável sem a adição de qualquer agregado (Figura 13A) e, seguidamente, essas mesmas pastilhas foram fixadas num suporte de amostras (Figura 13B) colocado na câmara de vácuo da microsonda nuclear, representado pelo número 8 na Figura 12. Relativamente à medição, em cada

amostra foi selecionada uma área aleatória de 1 mm x 1 mm, com uma carga acumulada em cada ponto de medição entre 120-150 nC.

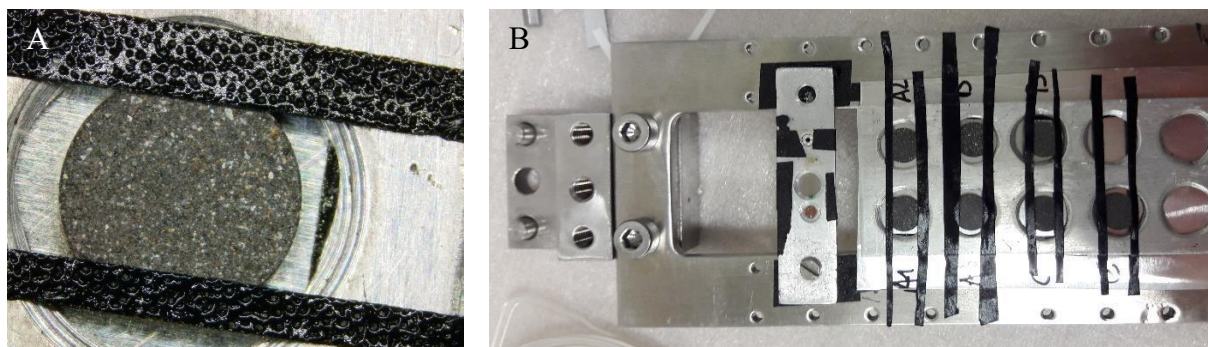


Figura 13 A) Detalhe de uma das pastilhas criadas B) pastilhas de amostras na câmara de vácuo para análise de micro-PIXE

As amostras foram posicionadas no ponto de foco na câmara de vácuo com a assistência de dois lasers. Os espectros de micro-PIXE e os mapas elementares foram registrados em todas as áreas medidas, existindo dois detectores de raios-X colocados a 135° em relação ao feixe de incidência com o objetivo de recolher os raios-X característicos emitidos das pastilhas, representados pelos números 10 e 11 na Figura 12. Um detector SDD foi utilizado para medir os raios-X de baixa e média energia (0.2 – 12 keV, $Z > 5$) e o outro detector de raios-X de Si(Li) foi aplicado para detectar os raios-X de média e alta energia (3-30 keV, $Z > 19$). A descrição completa da configuração do sistema encontra-se descrita em detalhe em Kertész et al. (2009).

O espectro de micro-PIXE foi avaliado com o programa GUPIXWIN (Campbell, Boyd, Grassi, Bonnick, & Maxwell, 2010) e as amostras foram tratadas como amostras espessas. As frações mássicas de 29 elementos químicos foram determinadas, com uma incerteza associada de 2-5% para elementos majoritários e de 10-15% para elementos-traço. Os elementos analisados foram: Al, Ba, Br, Ca, Cd, Cl, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, K, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, S, Se, Si, Sr, Ti, V, Zn e Zr.

3.4. Biomonitorização com morangueiros

No seguimento da análise das partículas depositadas nas superfícies, prosseguiu-se para a análise dos poluentes atmosféricos através da técnica da biomonitorização com morangueiros, que permitiu envolver os cidadãos, criar uma partilha de conhecimento sobre a temática da qualidade do ar e avaliar a distribuição espacial de poluentes atmosféricos na área de estudo.

3.4.1. Envolvimento da população e distribuição dos morangueiros

Para garantir uma distribuição o mais uniforme possível das plantas de morangueiro, foi criada uma grade de amostragem de 6.87 km x 4.56 km em toda a área da UFSAAPP (Figura 14).

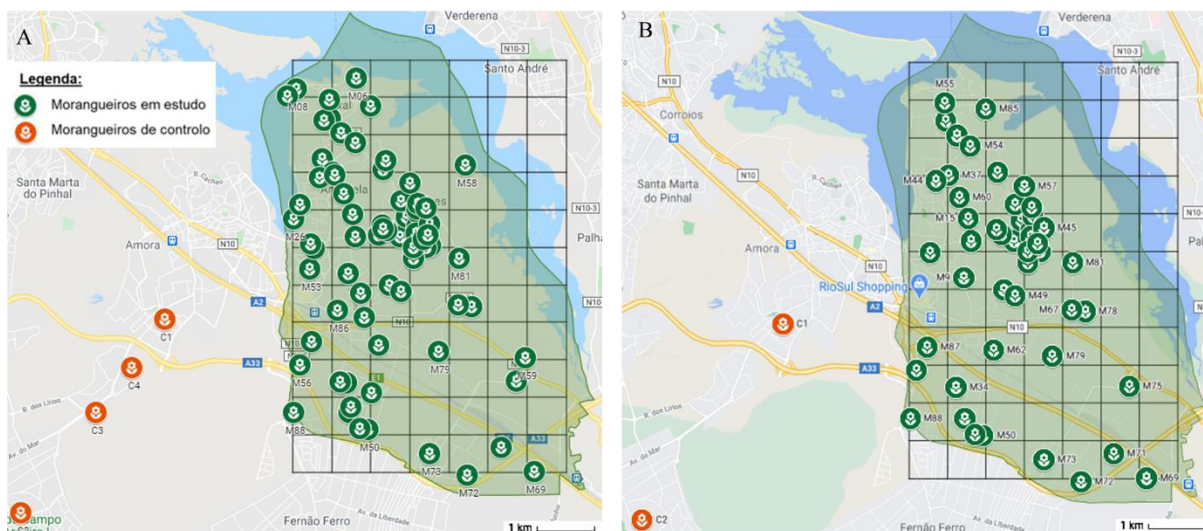


Figura 14 -Distribuição espacial das plantas de morangueiro na UFSAAPP (a verde) e fora da UFSAAPP (morangueiros de controle) (a laranja): A) morangueiros distribuídos a 1 de fevereiro; B) morangueiros recolhidos a 16 de junho de 2020

A 1 de fevereiro realizou-se uma sessão do Fórum Seixal (Figura 15), uma iniciativa da CMS, cujo objetivo se centrou na apresentação à população da UFSAAPP do estudo de poluentes atmosféricos e da técnica de biomonitorização com morangueiros (da espécie *Fragaria ananassa*). No final da sessão, entregou-se a todos os voluntários uma planta de morangueiro, um envelope para recolha das folhas após a exposição e um panfleto com todas as informações acerca dos cuidados e processo de recolha das folhas (ver no Anexo C). A Figura 14A representa a distribuição das amostras na UFSAAPP, que compreendeu um total de 78 morangueiros. Quatro plantas de morangueiros adicionais foram colocadas fora da grelha da área de estudo para funcionarem como controle.



Figura 15 A) apresentação do estudo de poluentes atmosféricos através da biomonitorização; B) entrega das plantas de morangueiro aos voluntários

Após a sua distribuição, os morangueiros ficaram expostos por um período de 4 meses para absorção dos poluentes atmosféricos. Os morangueiros foram colocados num parapeito de uma janela ou varanda, situada num rés-do-chão ou 1º andar para evitar uma variação vertical entre amostras. Os morangueiros foram regados de maneira a manterem as suas raízes húmidas, sem nunca receberem água nas folhas que retêm os poluentes atmosféricos. Para além disso, mantiveram-se nos seus vasos originais, sem receber nenhum tipo de fertilizantes para não influenciar os resultados.

No fim do tempo de exposição, 5 ramos de cada morangueiro foram recolhidos e guardados em envelopes de papel pelos voluntários. Os voluntários tiveram o cuidado de escolher as folhas maiores e de não tocar na superfície das folhas.

3.4.2. Preparação e análise das folhas de morangueiro

Após o período de exposição, parte das amostras foram recolhidas pela equipa do projeto e as outras foram entregues na Junta de Freguesia em Paio Pires pelos participantes. Na Figura 14 B, é possível observar a distribuição dos morangueiros recolhidos no final do período de exposição, tendo havido uma diminuição do número de amostras para um total de 50.

Em laboratório, as amostras foram sujeitas a um processo de limpeza que consistiu na lavagem das amostras com água destilada durante 15 segundos, secagem, colocação em pequenos sacos de plástico identificados para posterior congelamento (Figura 16).

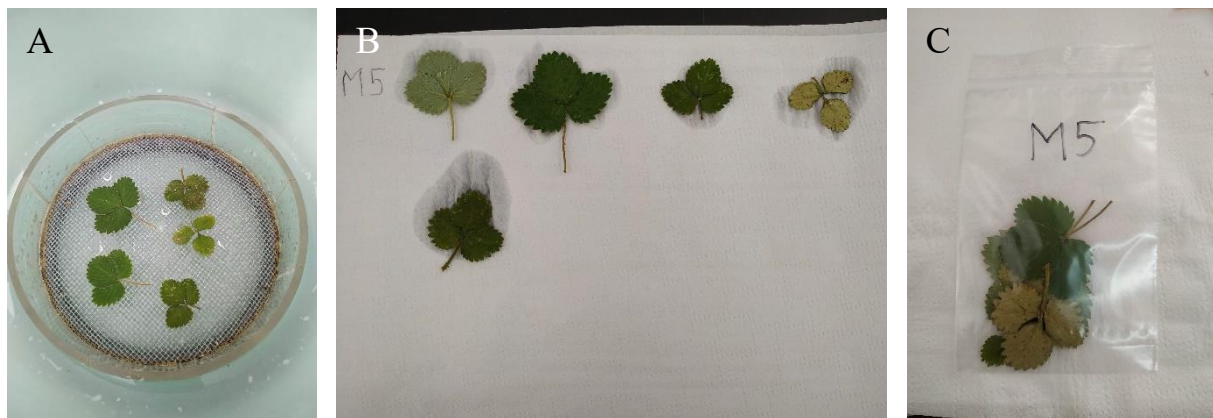


Figura 16 A) lavagem das amostras; B) secagem das folhas de morangueiro; C) amostras embaladas e identificadas

Depois de congeladas, as amostras foram colocadas num liofilizador *Edwards Modulyo* durante 2 dias, permitindo que toda a água presente nas mesmas fosse removida.

Seguidamente, as amostras sofreram um processo de moagem (Figura 17 A) com recurso a um moinho *RETSCH* em que cada amostra foi sujeita a uma rotação de aproximadamente 65 rpm durante 7 minutos num recipiente de teflon com o auxílio de duas esferas de teflon, para promover a moagem.

Depois de moídas, as amostras foram prensadas com um pastilhador *Specac* (Figura 17 B) que produziu pastilhas com 12 mm de diâmetro (Figura 17 D).

Finalmente, as pastilhas foram enviadas para análise no Institute for Nuclear Research da Hungarian Academy of Sciences.



Figura 17 A) moinho RETSCH B) detalhe da moagem C) pastilhador SPECAC e D) pastilha de uma amostra

3.4.3. Caracterização química por micro-XRF

O método de micro-fluorescência de raio-X (micro-XRF) é uma técnica não-destrutiva utilizada para determinar a composição química elementar e tem sido um dos métodos preferenciais para determinar a composição química de matéria particulada (Talbi et.al, 2018). O micro-XRF mede o raio-X fluorescente (ou secundário) emitido pela amostra quando esta é excitada por uma fonte primária de raio-X. Cada elemento presente na amostra produz um conjunto de raios-X fluorescentes característicos e que são únicos para aquele elemento específico (ThermoFisher Scientific, 2020).

Este método foi utilizado para determinar a composição química dos elementos nas amostras das folhas de morangueiro recolhidas na área de estudo. A medição das amostras foi feita a partir de uma área de 7 mm x 7mm. O micro-XRF foi ajustado com as seguintes condições: (1) fonte de excitação foi um tubo de Rh definido com 50 kV e uma corrente de 600 mA, o (2) comprimento do feixe foi de 20 mm, focado com ótica policapilar, (3) os raios X foram detetados com um sistema duplo de detecção que consistiu em 2 30 mm² SDD detetores de raios X.

Com a técnica de micro-XRF foi possível medir os seguintes 25 elementos químicos: Al, As, Ba, Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Se, Si, Sr, Ti, Zn e Zr. A incerteza associada às frações mássicas dos elementos analisados foi de, aproximadamente, 2-5% nos elementos principais e de 10-15% para os elementos traço.

3.4.4. Sistema de Informação Geográfica

Com o intuito de avaliar a distribuição espacial das concentrações de elementos químicos na área em estudo, utilizou-se um sistema de informação geográfica. Nesta dissertação, o software ArcGIS 10.5 foi utilizado para fazer a interpolação dos dados através do método de interpolação IDW (do inglês, Inverse Distance Weighting). Este método estima os valores das células fazendo uma média dos pontos de dados na vizinhança. Quanto mais próximo um ponto estiver da célula que está a ser estimada, maior a sua influência.

Para garantir a uniformização de todos os mapas, foram determinadas 5 classes a partir dos seus percentis, ou seja, a primeira classe tem valores entre o percentil 0 até 20, a segunda classifica entre o percentil 20 (exclusive) até ao percentil 40 e assim consecutivamente.

3.5. Testes estatísticos

A análise estatística dos dados foi realizada através do *software* STATISTICA versão 13 (StatSoft, Inc.) para avaliar a variância de resultados e, considerando a não normalidade dos dados, realizar correlações de Spearman (com um nível de significância de 0.05) para entender a associação entre os elementos químicos determinados nas partículas depositadas (secção 4.2).

Foi também utilizado o suplemento XLSTAT para o *Microsoft Excel* que permitiu realizar testes de independência do qui-quadrado e examinar se a idade, género, rendimento, nível de educação e outros fatores se encontravam relacionados com o nível de preocupação da qualidade do ar e com a avaliação da QA. Tomou-se como alfa o valor de 0.05 e todos os valores inferiores foram considerados estatisticamente significativos.

4. Resultados e discussão

No presente capítulo pretende-se expor e analisar os resultados obtidos ao longo do estudo. Primeiramente, são apresentados e analisados os resultados da percepção da qualidade do ar da população do Seixal e de outros municípios portugueses obtidos através do questionário divulgado. De seguida, são analisados os resultados obtidos através da caracterização química das amostras das partículas depositadas na área em estudo, com o objetivo de avaliar potenciais fontes destes eventos. Por fim, é avaliada a caracterização química dos biomonitores (folhas de morangueiro), de modo a efetuar o mapeamento de poluentes na zona de estudo e determinar zonas com um maior impacto de poluição local.

4.1. Avaliação da percepção dos cidadãos sobre a Qualidade do Ar

Na secção que se segue são expostos e avaliados os resultados consequentes do questionário online relativo à percepção da qualidade do ar. Como avançado anteriormente, foram obtidas 1134 respostas, compreendendo indivíduos de todos os distritos e regiões de Portugal.

As características dos indivíduos inquiridos encontram-se resumidas na Tabela 2. Este questionário abrangeu 702 indivíduos do sexo feminino e 425 indivíduos do sexo masculino e, de um modo geral, a maioria dos participantes pertencia ao grupo etário dos 41-45 anos (18.2%), possuía uma escolaridade ao nível do ensino secundário (30.7%) ou licenciatura (47.4%), com uma situação laboral ativa (78.0%) e com um rendimento mensal médio de 1001-2000€ (36.2%).

Tal como indicado na Metodologia, este questionário (disponível no Anexo A) é composto por seis secções que permitirão analisar as características dos indivíduos inquiridos, bem como a sua percepção sobre a qualidade do ar e conhecimentos sobre esta temática. Numa primeira abordagem, foi analisado o grau de preocupação e percepção sobre algumas temáticas ambientais, em particular a qualidade do ar e comparou-se os resultados entre a população geral e a população que se encontra na área de estudo. Como tal, considerou-se “População Geral” como todos os indivíduos inquiridos à exceção dos participantes cuja residência se encontrava na UFSAAPP (n = 1005), sendo que estes últimos foram designados como a categoria “População UFSAAPP” (n = 129).

Tabela 2 – Características demográficas dos participantes no questionário

Género	n	%	Nível de educação	n	%	Rendimento	n	%
Feminino	702	61.9	Sem grau de instrução	0	0.0	<300€	17	1.5
Masculino	425	37.5	1º Ciclo do Ensino Básico	6	0.5	301-635€	74	6.5
Prefiro não responder	7	0.6	2º Ciclo do Ensino Básico	11	1.0	636-900€	204	18.0
			3º Ciclo do Ensino Básico	36	3.2	901-1000€	143	12.6
			Ensino Secundário	348	30.7	1001-2000€	410	36.2
			Licenciatura	538	47.4	2001-3000€	65	5.7
			Mestrado	171	15.1	>3000€	14	1.2
			Doutoramento	24	2.1	Não se aplica	131	11.6
						Prefiro não responder	76	6.7
Faixa etária	n	%	Condições perante trabalho		n	%		
<20	45	4.0	Estudante		161	14.2		
21-25	184	16.2	Ativo		884	78.0		
26-30	62	5.5	Reformado		49	4.3		
31-35	75	6.6	Desempregado		29	2.6		
36-40	109	9.6	Tarefas do Lar		2	0.2		
41-45	206	18.2	Outros		9	0.8		
46-50	159	14.0						
51-55	110	9.7						
56-60	106	9.3						
>60	78	6.9						

4.1.1. Grau de preocupação

Primeiramente, começou-se por avaliar o grau de preocupação que a população tem em relação às diferentes temáticas e a avaliação da sua importância, de modo a determinar qual o nível de apreensão que a qualidade do ar causa nos indivíduos. Os inquiridos utilizaram uma escala de 1 a 5, variando entre nenhuma preocupação (classificação 1) até muita preocupação (classificação 4).

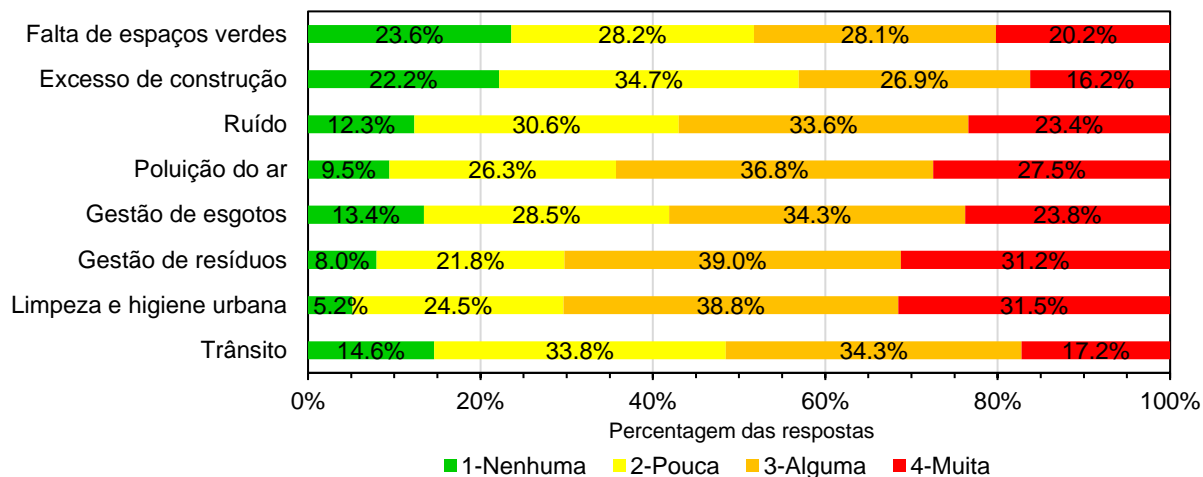


Figura 18 – Grau de preocupação dos diferentes temas ambientais, na população geral

Como se pode observar na Figura 18, a população geral considera que os maiores problemas na sua zona de residência estão relacionados com a gestão de resíduos e limpeza e higiene urbana. Verificou-se que 70% da população mostra ter alguma ou muita preocupação com estes dois temas ambientais. A poluição do ar encontra-se em terceiro lugar com 64.3% da população geral a demonstrar alguma ou muita preocupação.

Quando comparado com o grau de preocupação na população da UFSAAPP (Figura 19), verifica-se que as questões da poluição do ar assumem destaque com 94.6% da população a considerar alguma ou muita preocupação. A limpeza e higiene urbana (85.3%) e o ruído (82.2%) encontram-se em segundo e terceiro lugar no grau de preocupação da população em estudo. No caso do ruído este encontra-se associado à poluição do ar e ao facto de ambos terem as mesmas fontes (Science for Environmental Policy, 2016) e existir dificuldade em separá-las devido à sua grande correlação (Shepherd et al., 2016). Segundo Lercher et al. (1995), o incómodo causado pela poluição sonora encontra-se diretamente associado à percepção da qualidade do ar, o que pode indicar um valor alto de preocupação.

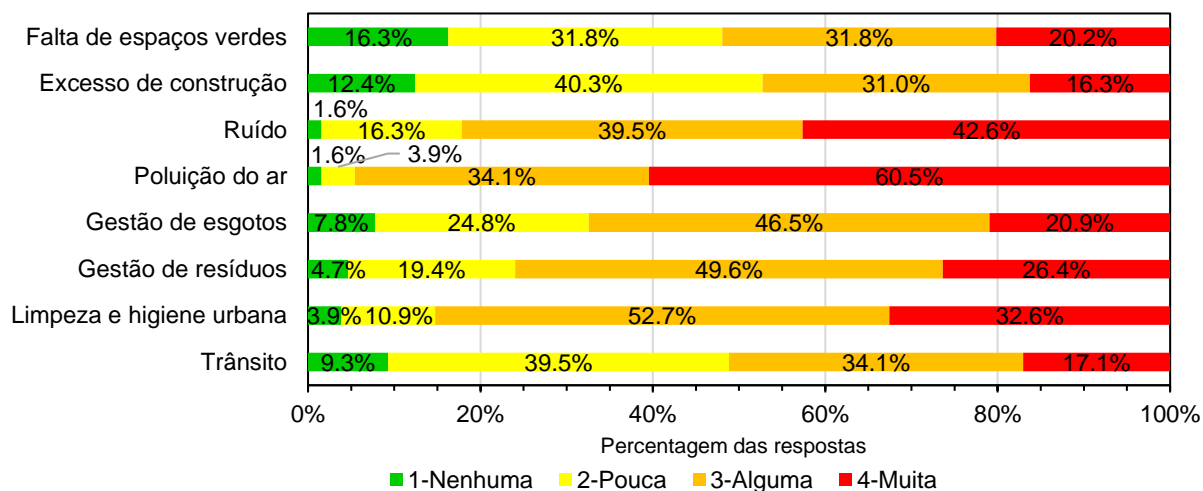


Figura 19 – Grau de preocupação dos diferentes temas ambientais na população UFSAAPP

Relativamente ao grau de preocupação da poluição do ar, averiguou-se se existia alguma dependência através do teste do qui-quadrado entre o grau de preocupação e as diferentes características demográficas e sociais dos inquiridos. No Anexo D, é possível verificar e comparar os gráficos entre as diferentes populações em estudo e o grau de preocupação da poluição do ar em função das características dos inquiridos.

Verificou-se que a população geral revelou dependência entre o grau de preocupação e o seu nível de educação ($X^2= 37.6$; $p=0.004$) e o seu distrito de residência ($X^2=138.7$; $p<0.001$). Os inquiridos com o 2º Ciclo de escolaridade apresentaram um grau de preocupação para a poluição do ar superior aos restantes grupos com cerca de 91% (considerando as respostas “alguma” e “muita”), enquanto os restantes graus de escolaridade apresentaram uma média de 66%. Relativamente ao distrito de residência dos inquiridos, verificou-se que os participantes cujos distritos de residência se encontravam no interior do país ou ilhas, apresentavam um menor grau de preocupação do que os distritos mais populosos como é o caso de Braga, Guarda, Lisboa e Setúbal sendo que este último apresentava o maior grau de preocupação, com cerca de 83.2% a considerar alguma ou muita preocupação.

Resumidamente, na Tabela 3 é possível verificar o perfil de maior preocupação relativamente à QA em função de cada característica demográfica e/ou social.

Relativamente ao género, verifica-se para a população geral que os inquiridos do sexo feminino têm uma maior preocupação com os problemas da poluição do ar (uma diferença de 5% entre os dois). Em termos da situação laboral, observa-se que em ambas as populações os inquiridos que exibem uma maior preocupação provêm de uma condição laboral de reformado ou desempregado.

Outro fator relevante na população da UFSAAPP é a presença de crianças no agregado familiar, verificando-se que 63.2% dos inquiridos com crianças sente alguma ou muita preocupação, enquanto que o valor para os participantes sem crianças desce para 59.2%. Relativamente à condição de fumador, observa-se, em ambas as populações, que os fumadores apresentam-se menos preocupados que os não-fumadores relativamente à QA, de acordo com o verificado por Nikolopoulou et al. (2011) que demonstraram que os fumadores encontram-se menos sensíveis à problemática da QA.

Tabela 3 – Perfil de maior preocupação sobre a qualidade do ar

	População Geral	População UFSAAPP
Género	Feminino	Não discriminatório
Idade	>50 anos	Não discriminatório
Educação	2º ciclo do Ensino Básico	Não discriminatório
Situação	Desempregado; Reformado	Desempregado; Reformado
Rendimento	1001-2000€	300-635€; 901-1000€; 2001-3000€
Fumador	Não	Não
Crianças no agregado	Não discriminatório	Maior preocupação
Doenças	Não discriminatório	Não discriminatório

4.1.2. Classificação de QA

O inquérito teve também como objetivo verificar como é que os inquiridos de ambas as populações classificavam a QA relativamente ao território nacional, concelho e bairro de residência, como indicado na Figura 23.

Para a população geral e considerando as três localizações, verificou-se que os participantes as classificaram de maneira similar; existindo apenas um pequeno aumento da classificação superior (“Muito boa”) à medida que se restringia à sua zona de residência. Em concreto, 52.1% dos inquiridos considerou o seu bairro com boa ou muito boa QA em comparação com o seu concelho e território nacional que obtiveram 42.6% e 30.7%, respetivamente, das respostas para a mesma classificação.

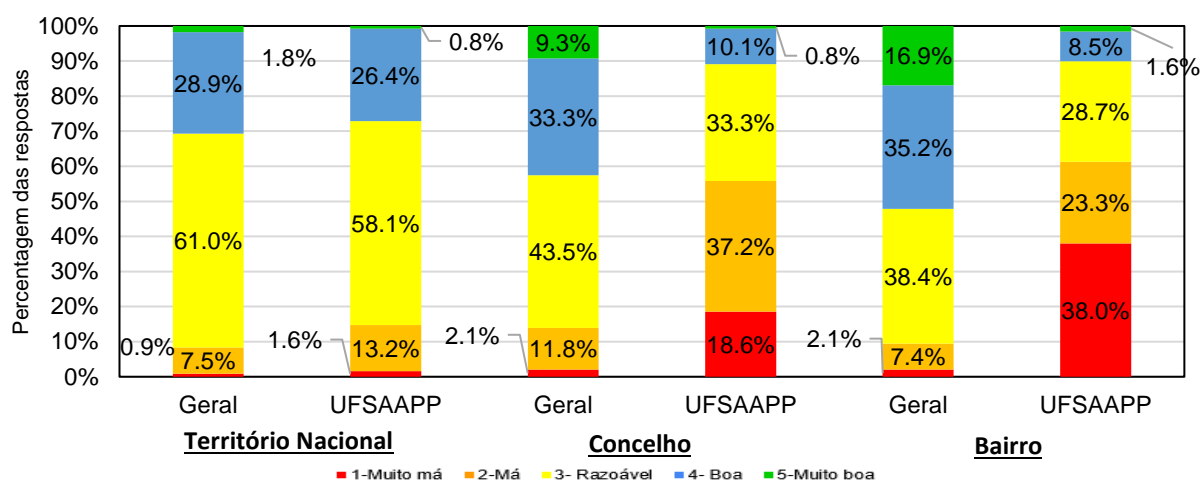


Figura 20 – Avaliação da Qualidade do Ar, de acordo com os inquiridos da população geral e UFSAAPP

Comparando com a população da UFSAAPP, observou-se que a avaliação da QA a nível nacional se encontra em congruência com a avaliação dada pela população geral. No entanto, os inquiridos parecem reconhecer o ambiente ao nível nacional com melhor QA e indicam uma crescente pior avaliação no caso do seu município e respetiva zona residencial. Em concreto, mais de metade dos inquiridos (61.3%) da população da UFSAAP considerou a qualidade do ar no seu bairro como má ou muito má. Deste modo, tal como expectável, quando questionados acerca das expectativas futuras para a qualidade do ar na sua zona residencial, 54% da população da UFSAAPP previu que a QA iria piorar, ao invés da população geral, onde apenas 26% da população deram a mesma resposta.

À semelhança da secção acima, analisou-se a avaliação da qualidade do ar no seu bairro em função das características demográficas e sociais dos inquiridos com o intuito de apurar a possibilidade de dependência entre variáveis. Esses gráficos encontram-se disponíveis para análise no Anexo E.

Através do teste de independência do qui-quadrado verificou-se que, para a população geral, existe uma dependência entre a classificação da QA e o género do inquirido, a sua situação laboral, o seu distrito de residência e a localização da sua casa relativamente ao trânsito e existência de áreas verdes. Já para a população da UFSAAPP a avaliação da QA apenas apresentou dependência com a proximidade da sua casa em relação ao trânsito.

Relativamente ao género na população geral ($X^2=12.7$; $p=0.013$), constatou-se que os indivíduos do sexo masculino têm uma maior tendência para classificar a QA como superior (cerca de 56.3% considera a QA boa ou muito boa), enquanto que esse valor reduz para os indivíduos do sexo feminino (49.4%).

Outra dependência na população geral verifica-se para a situação laboral ($X^2=36.3$; $p=0.014$). Excluindo as Tarefas do Lar que contém apenas um inquirido, observa-se que a situação laboral denominada como “Estudante”, “Ativo” e “Outros” avaliam a qualidade do ar como boa ou muito boa com uma média de 62.7% das respostas. Em comparação, verifica-se que para essa mesma classificação os “Reformados” e “Desempregados” apresentam uma diferença de mais de 20 pontos percentuais em relação aos anteriores.

Os inquiridos cuja sua residência contém mais espaços verdes apresentam uma classificação de QA superior (78.1% para boa e muito QA) e à medida que existe uma diminuição dos espaços verdes a sua classificação de QA começa a receber uma pior classificação. Verificando-se também uma dependência entre este fator e a classificação demonstrada através do teste do qui-quadrado com um valor- $p < 0.001$ ($X^2=165.2$).

Também se verificou uma relação entre o trânsito na zona de residência e a classificação da QA, tanto para a população geral ($X^2=173.3$; $p < 0.001$) como para a população da UFSAAPP ($X^2=26.6$; $p=0.046$). Verifica-se que os inquiridos cuja sua resposta confirmava um maior tráfego na sua região, têm tendência em atribuir uma menor classificação à QA. À medida que o tráfego na zona de residência diminui, a classificação de QA aumenta.

Ao observar-se o gráfico da classificação de QA e o seu distrito de residência ($X^2=250.9$; $p < 0.001$) verifica-se que, à semelhança do que aconteceu no grau de preocupação, os inquiridos residentes em Lisboa, Porto e Setúbal avaliaram a QA com uma pior classificação. Esta classificação pode ser devido à consciência da existência de mais fontes de poluição atmosférica e de uma maior concentração de focos de poluição.

4.1.3. Fontes e poluentes

Este questionário pretendeu averiguar também o nível de conhecimento sobre possíveis fontes de emissão de poluição e quais as que os inquiridos consideram ter uma maior influência na diminuição da QA. Esta pergunta foi feita em modo de pergunta aberta para que todos pudessem selecionar as fontes sem qualquer restrição.

Na Figura 21 é possível verificar as principais fontes de poluição de acordo com as duas populações em estudo. Na população geral, verificou-se que a principal fonte de poluição considerada foi o tráfego automóvel, perfazendo 52% do total das respostas. Este resultado está de acordo com vários estudos como Liao et al. (2015), Rajper et al. (2018) e Smallbone (2010), onde o tráfego automóvel é evidenciado como a principal fonte de emissão. Em detalhe, a distribuição do tráfego consistiu no automóvel como o principal contribuinte (24.6%), seguido dos autocarros (10.6%), camiões (9.5%) e por fim, os veículos motorizados (7.1%). A indústria e o tráfego aéreo foram considerados como a

segunda e terceira fonte de poluição mais selecionada, mas com valores substancialmente mais baixos (6.2% e 5.7%, respetivamente).

A localização dos inquiridos influenciou as respostas dadas visto que se verificou que os inquiridos, cujo distrito de residência é considerado interior, têm a tendência a mencionar fontes de poluição mais identificadoras de meios rurais, como é o caso das queimadas, incêndios ou lareiras.

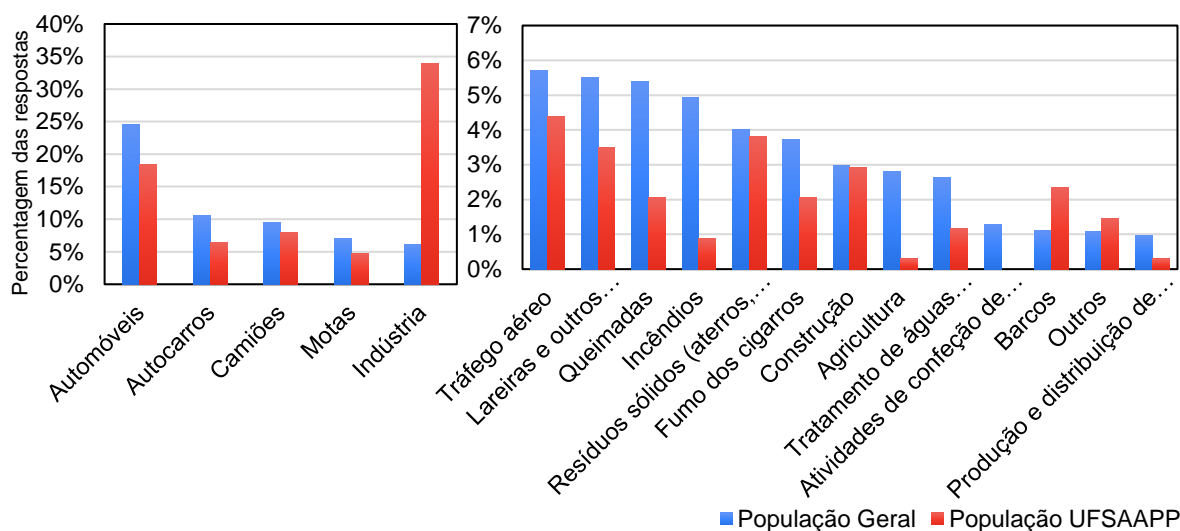


Figura 21 - Principais fontes de poluição atmosférica, de acordo com a população geral e UFSAAPP

As principais fontes de poluição para a população da UFSAAPP foram a indústria, em primeiro lugar, seguida do tráfego automóvel e, por último, o tráfego aéreo. Comparando com a população geral, observa-se uma grande diferença nas respostas em particular no que se refere à indústria. De novo, o tráfego automóvel, na sua totalidade, continua a ser a fonte de poluição mais identificada compreendendo 37% das respostas (divididas pelo automóvel, camiões, autocarros e motas, que apresentam os seguintes valores, respetivamente: 18.4%, 6.4%, 7.9% e 4.7%). Relativamente aos meios de transporte e comparando as duas populações em estudo, evidenciou-se um aumento nas percentagens obtidas pelos barcos como fonte de poluição (2.3%) para a população da UFSAAPP (sendo o dobro quando comparado com a população geral). Este aumento pode ser explicado pelo facto de 12% da população inquirida da UFSAAPP fazer a travessia do rio Tejo através deste meio de transporte.

Ao observar-se todas as fontes de poluição individualmente, a indústria (33.9%) evidencia-se como a fonte de maior preocupação para a população da UFSAAPP, sendo que cerca de 4% dos inquiridos identificou especificamente a Siderurgia Nacional como fonte de poluição da QA na região.

Este aumento de respostas por parte da população da UFSAAPP já era expectável, uma vez que o aspeto histórico e a recorrência de eventos tem influência na identificação da indústria como maior fonte de poluição, devido às associações que são fundamentais na perceção individual (Saksena, 2011), como por exemplo, a deposição de partículas na área em estudo. A proximidade à área industrial afeta a perceção, resultando numa maior preocupação quanto menor a distância à área industrial em questão (Howel et al., 2003). Outro fator é a poluição por fontes industriais apresentar uma maior

dificuldade em ser controlada ao nível individual o que resulta numa maior atenção a estas mesmas fontes e, conseqüentemente, a um aumento dos relatos de exposição (Saksena, 2011). Daí que, ao existir já previamente uma preocupação da população face às indústrias circundantes, é expectável que os residentes continuem a evidenciar essa preocupação.

Seguidamente, avaliou-se o conhecimento dos inquiridos sobre possíveis poluentes atmosféricos. Relativamente à identificação dos mesmos foram consideradas como principais categorias: CO, CO₂, PM, SO_x, NO_x, O₃ e CH₄. Os poluentes minoritários consideraram-se na categoria de “Outros”. Respostas deixadas em branco ou em que os inquiridos disseram que não sabiam são apresentadas como “NS/NR”. Nesta fase, foram também eliminadas todas as respostas cujas fontes foram consideradas como poluentes (por exemplo, viaturas, incêndios, siderurgia, etc.). Em relação à categoria PM, foram consideradas todas as respostas que se referiam às mesmas como partículas, micropartículas, poeiras, pó, aerossóis, carbono negro, PM_{2.5} e PM₁₀, entre outros.

Na Figura 22 é possível visualizar e comparar quais os principais poluentes que os inquiridos conhecem e relacionam com a poluição atmosférica. No caso da população geral, verificou-se um desconhecimento geral dos poluentes atmosféricos, com 50% a desconhecer qualquer tipo de poluente em comparação com a população da UFSAAPP em que apenas 39% da população não identificou um único poluente atmosférico. Esta diminuição entre as populações pode dever-se ao facto da população da UFSAAPP se encontrar descontente com a situação na sua região e tem tendência para investigar possíveis poluentes e ter mais conhecimento sobre esta temática.

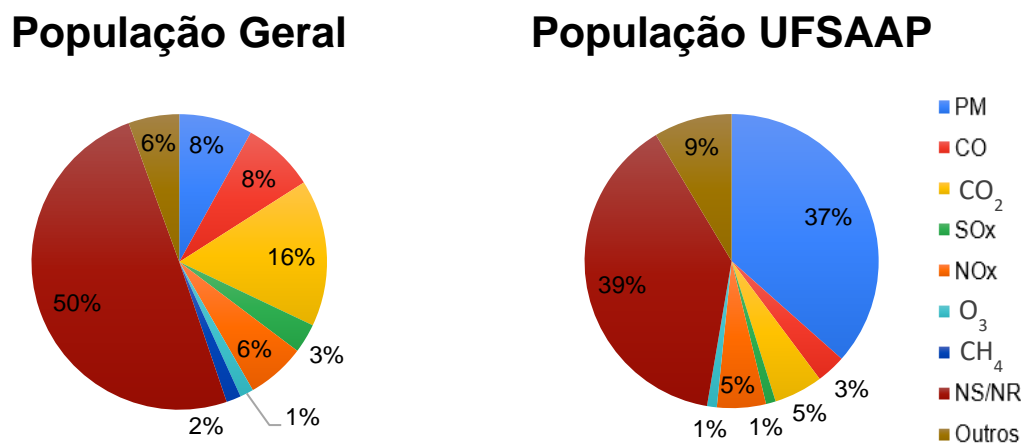


Figura 22 – Grau de conhecimento de possíveis poluentes atmosféricos nos inquiridos da população geral e UFSAAPP

Na população geral, o poluente mais reconhecido é o CO₂, com 16% da população a identificá-lo. Tal como em Smallbone (2010), o CO₂ comprovou ser o poluente atmosférico mais representado e muito se deve à comunicação social e às campanhas existentes sobre as alterações climáticas, bem como sobre a neutralidade carbónica. Os três poluentes identificados de seguida foram a PM (8%), CO (8%) e os NO_x (6%).

Na população da UFSAAPP, os poluentes maioritariamente identificados foram a PM (37%), seguida do CO₂ e NO_x (ambos com 5%, cada). Na UFSAAPP, é a PM que tem vindo a gerar o

descontentamento e preocupação entre os residentes. Verificou-se que os participantes do estudo de biomonitorização com morangueiros apresentaram um nível superior de conhecimento, visto que estes participaram numa ação de sensibilização sobre a PM. Efetivamente, 44% dos participantes no estudo dos morangueiros colocaram PM como um dos poluentes atmosféricos que conhecem em comparação com os 35% dos inquiridos que não participaram. Estes resultados indicam que a ação de sensibilização aumentou o conhecimento dos residentes.

4.1.4. Informação

Segundo Shooter & Brimblecombe (2009), a informação sobre a qualidade do ar e, em particular, sobre os índices de qualidade do ar, tem de ser fiável e compreensível a toda a população, uma vez que é através da publicação de informação fidedigna que se aumenta a conscientização do público relativamente a esta temática (Kelly & Fussell, 2015).

Na Figura 23, verifica-se que a população geral, por norma, tem um baixo nível de informação relativamente à qualidade do ar, com apenas 10% a responder que se sentem bem informados a respeito desta matéria (classificação 4 e 5). Observa-se na população da UFSAAPP um aumento dos inquiridos que se sentem informados sobre a QA na sua área de residência perfazendo um quarto das respostas. De acordo com o relatório do Eurobarómetro da Qualidade do Ar e comparando ambas as populações, apenas o nível de informação da população da UFSAAPP é semelhante ao apresentado no relatório para Portugal, com 25% a sentirem-se bem ou muito bem informados (European Commission, 2019b).

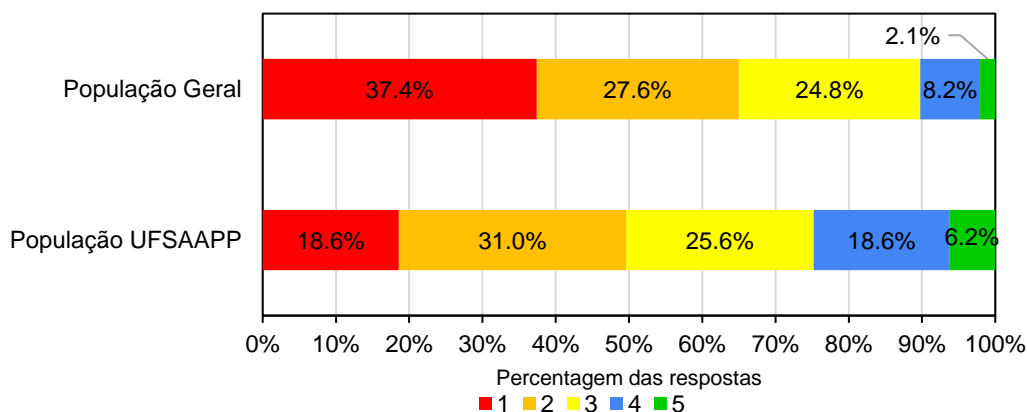


Figura 23 – Grau de informação sobre a qualidade do ar na área de residência da população geral e da população da UFSAAPP, com uma classificação que varia entre 1 (nada informado) e 5 (muito informado)

Relativamente à população geral, verificou-se que 0.7% da população não procura informação relativamente à QA e 13.7% não consegue ou sabe onde obter esse tipo de informação. Para a população da UFSAAPP verifica-se uma diminuição em ambos os valores, existindo apenas 4% a terem dificuldade em obter informação relativamente à QA e nenhum dos inquiridos assumiu que não ia à procura de informação. O método de acesso à informação mais usado, em ambas as populações, é a internet, com aproximadamente 26% das escolhas.

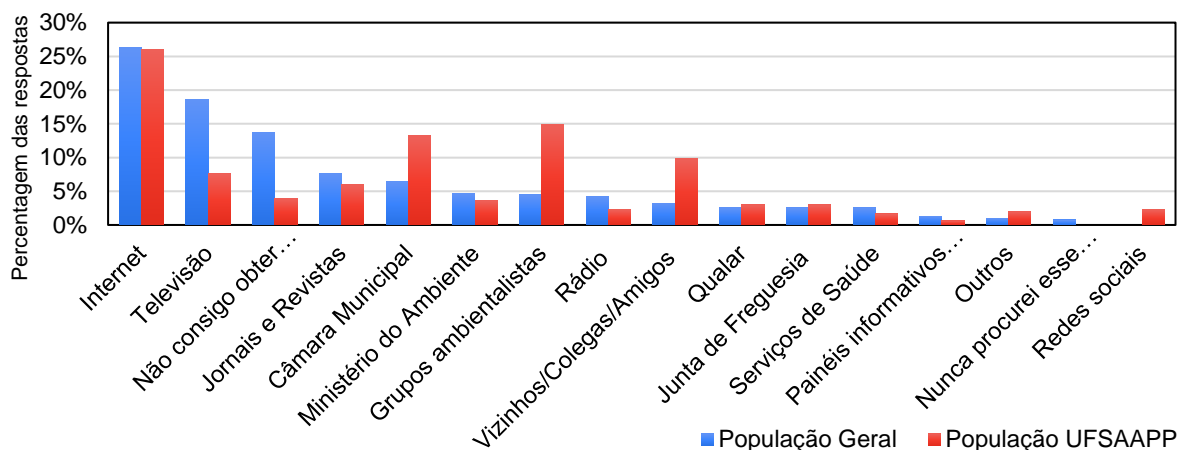


Figura 24 – Fontes de informação da Qualidade do Ar para a população geral e população UFSAAPP

Na população geral, a procura de informação relativamente à QA também se faz através dos *media*: pela televisão (18.6%) e jornais e revistas (7.6%), seguido pela Câmara Municipal (6.4%). O estudo de Liu et al. (2016) identificou a televisão/rádio como fonte primária de informação e também o uso de jornais, um pouco à semelhança da população geral. No caso de Smallbone (2010), as principais fontes de informação utilizadas foram a internet, a autarquia local e os *media*, mostrando uma certa semelhança nas fontes mais utilizadas para a população geral.

Em contraste, as fontes de informação de QA mais utilizadas pela população da UFSAAPP, para além da internet, são os grupos ambientalistas (14.9%), em particular o grupo “Os Contaminados” que partilham informação relativa à qualidade do ar e à problemática existente na área em estudo, seguido da Câmara Municipal (13.2%) e, por fim, a recolha de informações pelas relações de proximidade (Vizinhos/Colegas/Amigos) com 9.9%. Quando comparamos ambas as populações, geral e UFSAAPP, verifica-se que a primeira tem por norma fontes de informação mais gerais e impessoais enquanto a segunda baseia-se em fontes locais.

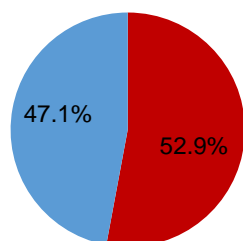
A maioria dos participantes (97% da população da UFSAAPP e 94% da população geral) reivindica a necessidade de mais informação.

4.1.5. Afetados e alterações

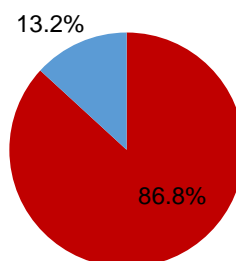
É interessante compreender como os inquiridos relacionam a má QA com a saúde, qualidade de vida e bem-estar.

Observando a Figura 25, verifica-se que 53% da população geral e 87% da população da UFSAAPP admitem terem-se sentido afetados de alguma forma pela poluição atmosférica. Em ambos os casos, trata-se de uma elevada percentagem que se sente afetada e que apresenta evidências para a escolha desta resposta como a presença de doenças, o facto de ser fumador ou ter crianças no agregado familiar.

População Geral



População UFSAAPP



■ Afetados
■ Não afetados

Figura 25 – Inquiridos afetados pela Qualidade do Ar na população geral e UFSAAPP

Dos inquiridos que afirmaram sentir-se afetados pela qualidade do ar, a população geral apresentou uma grande preocupação com a sua saúde (11%), seguida de irritação no nariz (9.4%) e espirros (9.0%), como se pode observar na Figura 26. A população da UFSAAPP também considerou como principal modo de afetação a preocupação com a sua saúde (12.5%), seguido da deposição de partículas nas varandas compondendo 11.9% e um cheiro desagradável no exterior da casa (11.5%). É de salientar que a degradação de bens materiais apresentou uma maior predileção nesta população com uma diferença de mais de 4 pontos percentuais, sendo que estas escolhas seguem em concordância com as suas reclamações.

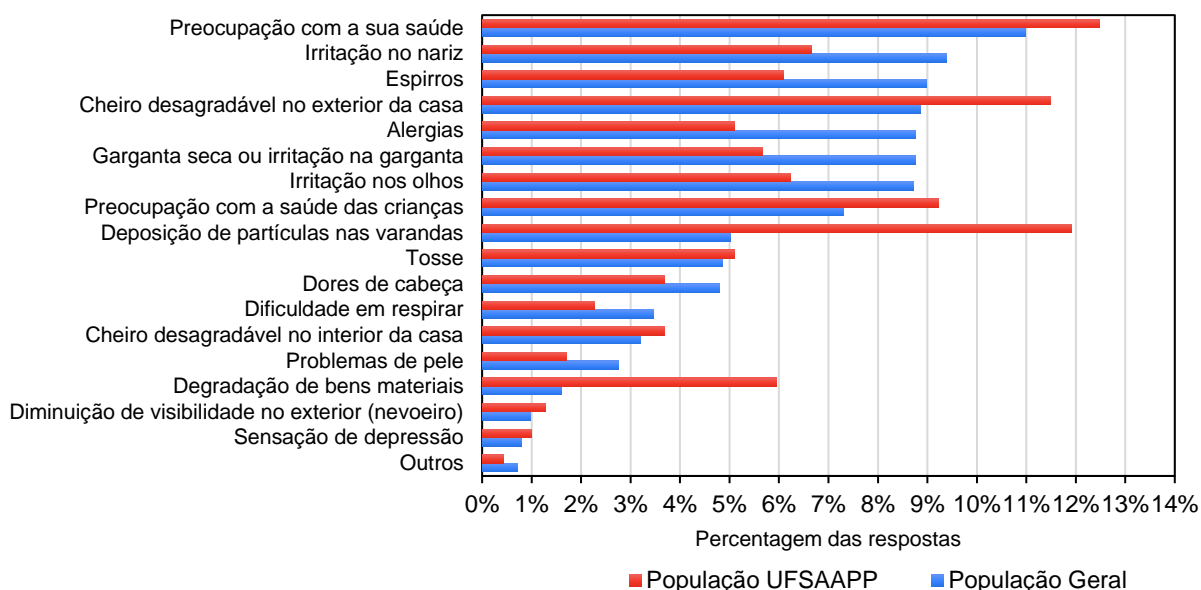


Figura 26 – Modo de afetação na população geral (a azul) e na população da UFSAAPP (a vermelho)

Uma vez que as pessoas se sentem afetadas pela degradação da QA, é normal que estas façam alterações ao seu estilo de vida de modo a tentar melhorá-lo ou a diminuir o contacto que possam ter com o ambiente exterior. Quando feita essa mesma questão, 31% da população geral e 69% da população da UFSAAPP responderam que fizeram alterações. Essas mesmas alterações podem ser observadas na

Figura 27. De acordo com os resultados expostos, é possível apurar que as alterações mais comuns para a população geral inclui evitar determinados horários para realizar atividades ao ar livre (14.6%), evitar abrir janelas (14.2%) e beber mais água (12.9%). No caso da população da UFSAAPP, as principais alterações consistem em evitar abrir as janelas de casa (21.0%), informarem-se sobre a QA (13.7%) e realizar menos atividades ao ar livre (12.4%). Verificou-se que a opção de permanecer mais tempo em casa e pensar em mudar de área de residência tem um aumento na população da UFSAAPP, sendo que estas alterações também foram indicadas pelos participantes aquando a realização da sessão de esclarecimento relativamente à participação no estudo de biomonitorização com morangueiros.

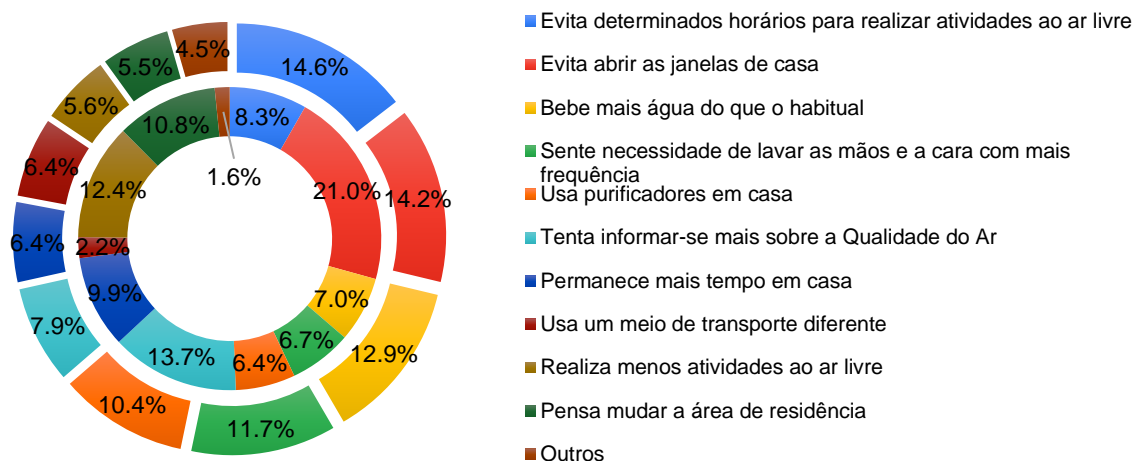


Figura 27 - Alterações feitas pelos inquiridos devido à degradação da QA, na população geral (anel exterior) e população UFSAAPP (anel interior)

4.1.6. Implementação de medidas

De acordo com o relatório da European Commission (2019), cerca de 67% da população portuguesa considera que as autoridades locais não fazem o suficiente para promover uma melhoria na QA no seu país. Nesse sentido, possíveis mudanças nas regulamentações e medidas com o objetivo da melhoria da QA também foram analisadas.

Segundo a Figura 28, verifica-se que a população geral apoia a implementação de medidas preventivas para a melhoria da QA. Entre as várias possíveis medidas e considerando o grau de prioridade superior (classificação 4 e 5), a população geral considerou a criação de espaços verdes (84%), melhoria dos transportes públicos (79%) e o aumento da fiscalização das leis existentes (78%) como as medidas com maior prioridade.

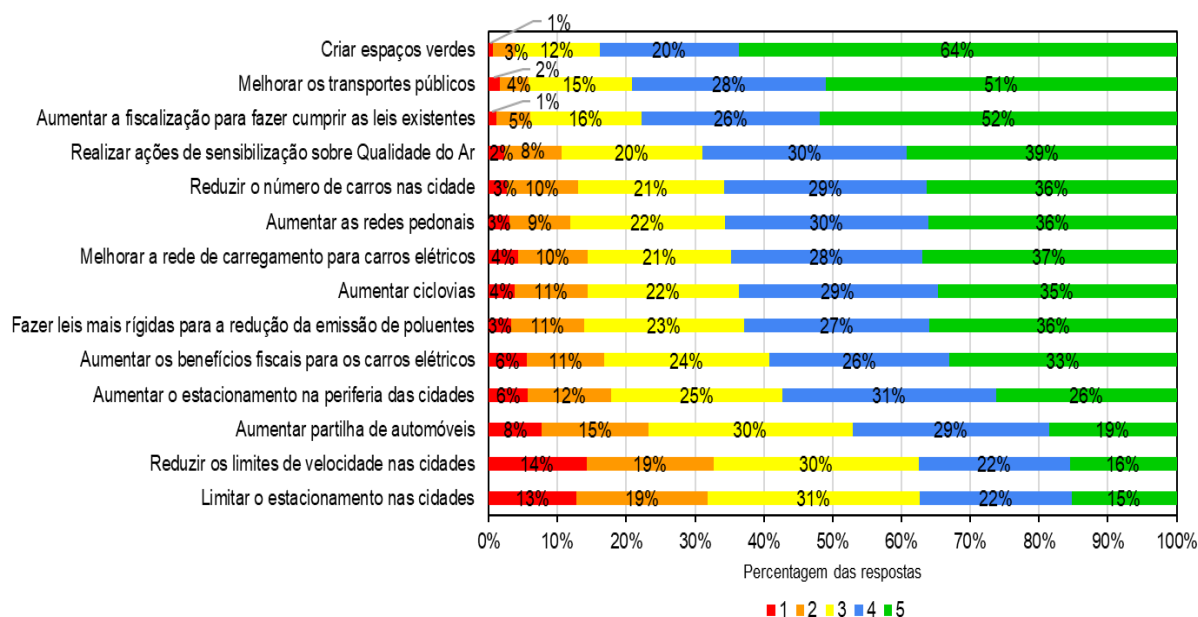


Figura 28 – Grau de prioridade das medidas de melhoria da QA na População Geral, com uma classificação que varia entre 1 (mínima) e 5 (máxima)

No caso da população da UFSAAPP, como se pode verificar na Figura 29, as mudanças essenciais centram-se no aumento da fiscalização das leis existentes (78%), na criação de espaços verdes (77%) e na realização de ações de sensibilização sobre QA (72%). Estas regulamentações escolhidas pela população em estudo têm muito a ver com o período e a problemática existente na população, pois têm em vista aumentar a fiscalização das indústrias circundantes e criar uma maior conscientização e conhecimentos para a problemática da QA.

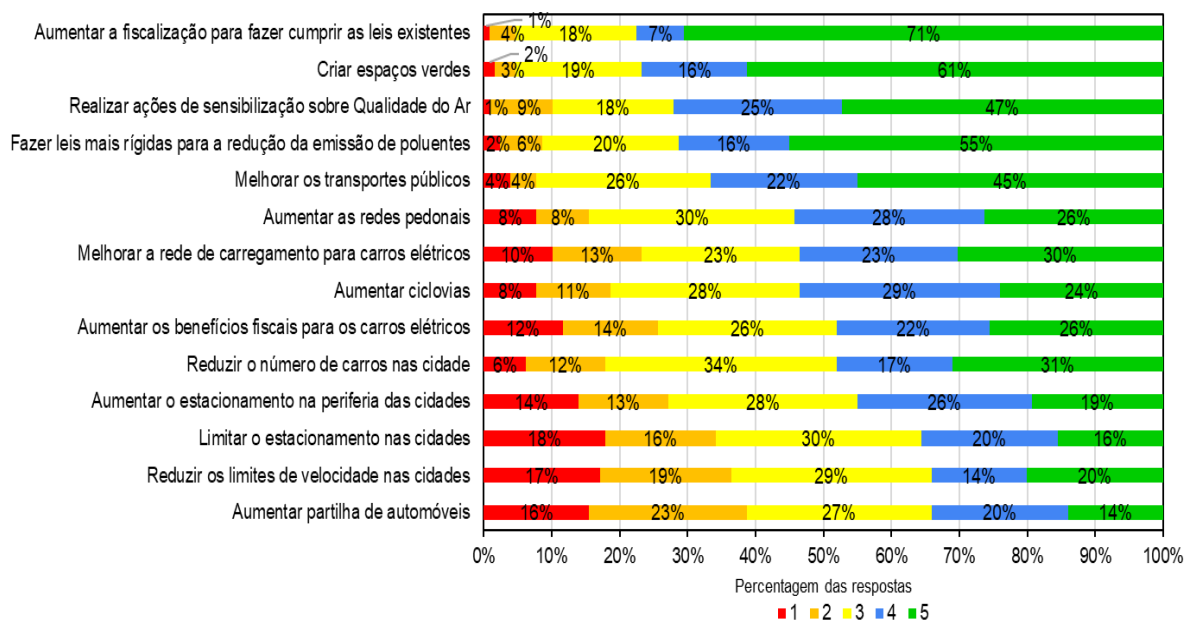


Figura 29 – Grau de prioridade das medidas de melhoria da QA na População da UFSAAPP, com uma classificação que varia entre 1 (mínima) e 5 (máxima)

4.2. Avaliação da deposição de partículas atmosféricas nas superfícies

De acordo com os dados obtidos pela Estação de monitorização da Aldeia de Paio Pires, pertencente à rede de Monitorização Nacional da Qualidade do Ar, a concentração de PM₁₀ no dia da amostragem de partículas atmosféricas depositadas foi de 88.5 µg/m³. Este valor está acima do valor limite diário de 50 µg/m³ definido pela legislação nacional e europeia. Verificou-se também que durante os 15 dias anteriores à recolha das partículas depositadas, 12 desses dias apresentaram igualmente valores superiores aos permitidos por lei (APA, 2020).

4.2.1. Composição química

A análise das partículas depositadas através da técnica de micro-PIXE permitiu apresentar a sua composição química e os mapas elementares para cada amostra analisada. Como exemplo, a Figura 30 representa o mapa elementar da amostra A1 durante a sua medição (de uma amostra de área de 1 µm x 1 µm). No geral, todas as amostras analisadas apresentaram um aspeto semelhante e verifica-se que as partículas de elementos Zn e K tiveram, geralmente, as maiores dimensões, entre 50-100 µm.

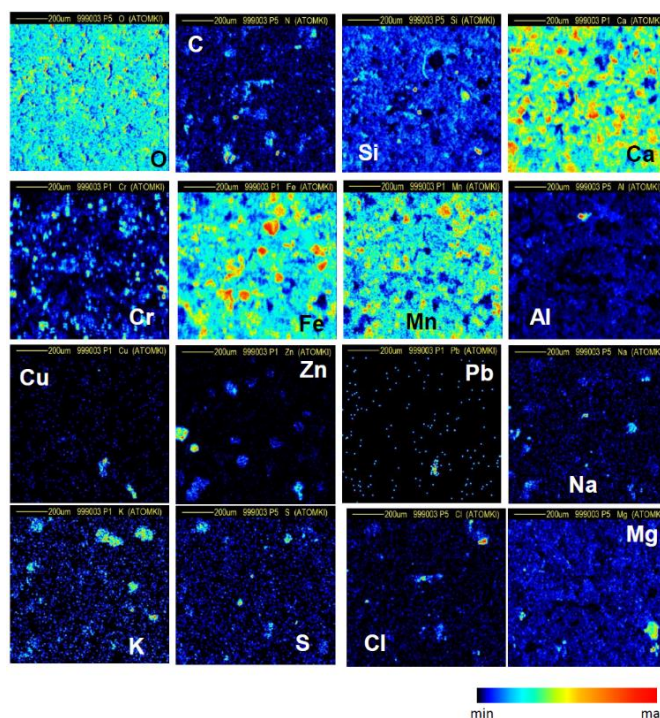


Figura 30 – Mapa da distribuição dos elementos para a amostra A1
Fonte: Justino et al. (2019)

A Tabela 4 apresenta as frações mássicas dos elementos maioritários e elementos-traço das amostras analisadas, podendo verificar-se que os elementos principais (com mais de 1% da fração mássica das amostras) são, por ordem decrescente, o Fe (32.4%), Ca (26.2%), Si (14.9%), Al (9.7%), Mg (6.3%), Mn (4.6%) e Cr (1.7%).

Tabela 4 – Frações mássicas médias das amostras de partículas depositadas, onde n representa o número de medições analisadas

Frações mássicas ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)						
Tipos	Elementos	n	Média $\pm \sigma$	Min	Máx	%
Principais	Fe	14	183000 \pm 14000	159000	209000	32.4
	Ca	14	148000 \pm 13000	133000	173000	26.2
	Si	14	83900 \pm 5400	79100	98500	14.9
	Al	14	54600 \pm 6000	45500	67900	9.67
	Mg	14	35700 \pm 2900	31000	40700	6.33
	Mn	14	26100 \pm 1600	22300	28300	4.62
	Cr	14	9460 \pm 680	8100	10500	1.68
Traço	Ba	13	801 \pm 155	570	1130	0.14
	Br	7	46.4 \pm 8.5	40.0	60.0	0.01
	Cd	10	375 \pm 82	245	540	0.07
	Cl	14	2520 \pm 1910	460	6580	0.45
	Co	14	682 \pm 101	530	910	0.12
	Cu	14	310 \pm 55	220	420	0.06
	Ga	12	32.1 \pm 9.9	15.0	45.0	0.01
	Ge	8	49.4 \pm 15.2	35.0	85.0	0.01
	Hf	7	153 \pm 51	85	230	0.03
	K	14	1180 \pm 660	350	2420	0.21
	Na	13	5360 \pm 6740	950	25000	0.95
	Nb	14	223 \pm 86	135	375	0.04
	Ni	14	105 \pm 46	45	220	0.02
	P	14	2010 \pm 320	1150	2400	0.36
	Pb	8	238 \pm 163	120	620	0.04
	S	14	2680 \pm 630	1940	3915	0.47
	Se	5	24.0 \pm 9.6	10.0	35.0	< 0.01
	Sr	14	263 \pm 56	150	360	0.05
	Ti	14	3230 \pm 340	2720	4000	0.57
	V	14	740 \pm 92	560	850	0.13
	Zn	14	2620 \pm 1100	960	4950	0.46
Zr	13	188 \pm 32	110	390	0.03	

4.2.2. Origem das partículas depositadas

De maneira a compreender o tipo de fontes que podem promover ou influenciar os eventos de deposição de partículas na zona em estudo, foi realizada uma revisão de artigos com o intuito de recolher valores médios da composição química de PM_{10} em diferentes tipos de ambientes e países, para fins de comparação. Foram definidos três tipos de cenários: áreas urbanas (Grécia (Amato et al., 2016), Itália (Amato et al., 2016), Portugal (Almeida, 2004; Amato et al., 2016), Espanha (Aldabe et al., 2011; Amato et al., 2016; Rodríguez et al., 2004) e Suíça (Hueglin et al., 2005)), áreas rurais (Espanha

(Aldabe et al., 2011; Rodríguez et al., 2004) e Suíça (Hueglin et al., 2005)) e áreas industriais com indústrias metalúrgicas (Austrália (Mohiuddin et al., 2014), França (Alleman et al., 2010; Sylvestre et al., 2017), Alemanha (Gladtko et al., 2009), Grécia (Voutsas et al., 2002), Polónia (Larsen et al., 2008), Espanha (Querol et al., 2007; Rodríguez et al., 2004) e Turquia (Yatkin & Bayram, 2008)). É de realçar que os valores obtidos na revisão da literatura, considerada acima, referem-se a partículas em suspensão com um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm, enquanto que as amostras de partículas depositadas consideradas contêm uma dimensão granulométrica superior. Os valores médios para cada tipo de ambiente foram comparados com os obtidos nas partículas amostradas na Aldeia de Paio Pires, de maneira a identificar possíveis fontes comuns com as amostras de partículas recolhidas. No Anexo F, são apresentadas as médias das frações mássicas obtidas para os diferentes tipos de cenários, baseadas na literatura acima referenciada.

Na Figura 31, é possível observar a comparação das frações mássicas entre os diferentes tipos de ambientes e os valores obtidos nas amostras recolhidas na área de estudo. Tendo em atenção os sete elementos principais (>1%), é possível verificar que as frações mássicas das partículas depositadas são superiores a todos os ambientes. A propósito dos elementos principais, verifica-se que existe uma grande contribuição da indústria do ferro e aço (Calvo et al., 2012), através dos elementos de Fe, Cr e Mn. Sendo que, nos elementos principais, o Fe e Ca apresentam uma aproximação das frações mássicas com o ambiente industrial e o Si e Al apresentam uma maior aproximação aos valores do ambiente urbano, apresentado na Figura 31.

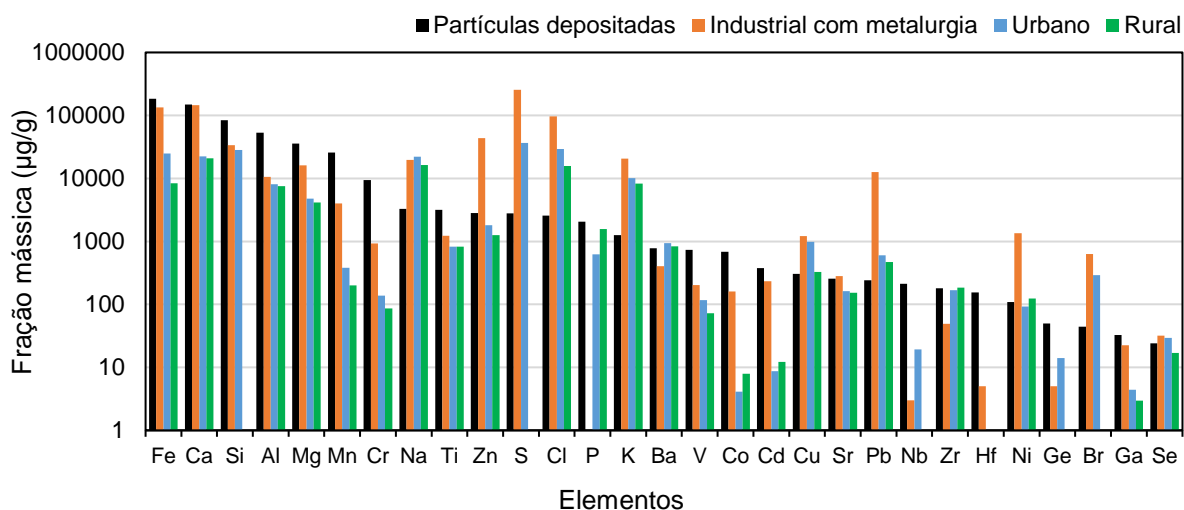


Figura 31 - Comparação das frações mássicas elementares entre as partículas depositadas na área de estudo (a preto) e as partículas PM₁₀ para os diferentes tipos de ambientes

Na Tabela 5 é apresentada a variabilidade, em percentagem, entre as frações mássicas de cada elemento das amostras de partículas e os diferentes tipos de ambientes. Para fins de comparação, foram também adicionados resultados de estudos relacionados com partículas depositadas em estradas (PDE), em dois países distintos: República Checa (Čabanová et al., 2019), designado por PDE1, e Portugal (Alves et al., 2018), designado por PDE2. As frações mássicas de PDE1 e PDE2 podem ser consultadas no Anexo G.

Tabela 5 – Variabilidade (em percentagem) das frações mássicas entre as amostras de partículas recolhidas e os diferentes tipos de ambientes e partículas depositadas em estradas da República Checa (PDE1) e de Portugal (PDE2)

Elementos	Urbano	Rural	Industrial	PDE1	PDE2
Fe	86	95	27	76	79
Ca	85	86	1	n/a	77
Si	66	n/a	60	-232	n/a
Al	85	86	81	n/a	40
Mg	87	88	55	n/a	93
Mn	99	99	85	94	99
Cr	99	99	90	94	99
Na	-313	-205	-269	n/a	-31
Ti	74	74	62	7	56
S	-1269	n/a	-9412	n/a	-16
Zn	31	52	-1564	90	47
Cl	-1065	-528	-3734	n/a	n/a
P	69	22	n/a	n/a	67
K	-763	-602	-1642	n/a	-1085
Ba	-17	-5	50	n/a	-15
V	84	90	73	91	97
Co	99	99	77	n/a	99
Cd	98	97	38	n/a	n/a
Cu	-216	-5	-290	67	-286
Sr	39	42	-7	n/a	80
Pb	-154	-99	-5218	87	5
Nb	91	n/a	99	n/a	91
Zr	11	1	74	n/a	47
Hf	n/a	n/a	97	n/a	97
Ni	12	-18	-1191	72	95
Ge	72	n/a	90	n/a	91
Br	-531	n/a	-1254	n/a	n/a
Ga	86	91	30	n/a	25
Se	-23	30	-33	n/a	n/a

■ variabilidade \geq -75%
■ -75% < variabilidade \leq -30%
■ -30% < variabilidade \leq 30%
■ 30% < variabilidade \leq 75%
■ variabilidade > 75%

Com base na Tabela 5, é possível comprovar que os níveis de Fe e Ca pertencentes às amostras das partículas recolhidas se encontram em concordância com os valores associados ao ambiente industrial com indústrias metalúrgicas (com variabilidade abaixo dos 30%).

De facto, existem possíveis fontes antropogénicas associadas a esses mesmos elementos como a indústria do ferro e aço para o elemento Fe e indústria de cimento ou emissões fugitivas relacionadas com a indústria metalúrgica no caso do Ca (Almeida et al., 2015; Calvo et al., 2012; Lage et al., 2016). Relativamente ao ambiente industrial com indústria metalúrgica, também foi encontrada uma boa

concordância entre os elementos Ga e Sr. Apesar destes elementos não serem tipicamente associados a atividades industriais, alguns estudos encontraram uma associação com a combustão de carvão e num menor grau à indústria cimenteira, no caso do Sr (Pekney et al., 2006; Widory et al., 2010).

Quando se compara com o ambiente urbano, verifica-se que os elementos com menor variabilidade são: Ba, Zn, Zr, Ni e Se. O Ba é um indicador de abrasão mecânica dos travões (Calvo et al., 2012) e é adicionado ao óleo lubrificante para prevenir a produção de fumos e a abrasão dos motores dos veículos a diesel (Lim et al., 2010). O Zn apresenta uma variabilidade de 31% e encontra-se associado à abrasão mecânica de pneus (Belis et al., 2013; Calvo et al., 2012; Canha et al., 2014). Estes dois elementos podem indicar uma contribuição do tráfego automóvel local para as partículas depositadas. Os restantes elementos, Ni, Se e Zr, encontram-se normalmente associados a atividades industriais, tais como a indústria do ferro, petroquímica, pesada e queima de óleo, queima de carvão e indústria cerâmica, respetivamente (Calvo et al., 2012).

Comparativamente ao ambiente rural, acresce os elementos P e Cu com variabilidades baixas. No caso do Cu este tem como possíveis fontes a abrasão mecânica dos travões mas também pode encontrar-se associado à indústria de metais não-ferrosos (Calvo et al., 2012). Quanto ao P, este pode ter origem em fontes naturais (como spray oceânico, poeiras, fontes biogénicas primárias, erupções vulcânicas) e antropogénicas (fertilizantes agrícolas, queima de biomassa e combustão de combustíveis fósseis) (Shi et al., 2019; Srinivas & Sarin, 2012).

Ao comparar as partículas depositadas na estrada com as amostras recolhidas, verifica-se também a existência de certos elementos com valores semelhantes. No caso da República Checa (PDE1), os valores de Ti apresentam uma variabilidade baixa (7%) e cuja sua fonte pode estar relacionada com indústria pesada ou queima de carvão (Calvo et al., 2012). Em relação a Portugal (PDE2), os elementos cujos valores apresentam baixa variabilidade compreendem S, Ba, Pb e Ga, tendo como possíveis proveniências o tráfego, queima de carvão ou atividades industriais.

4.2.3. Fatores de enriquecimento

O cálculo dos fatores de enriquecimento (EF) tem sido um método amplamente utilizado para identificar a origem de elementos na atmosfera (Belis et al., 2013; Canha et al., 2014; Canha et al., 2010), mais especificamente para analisar o grau de enriquecimento de um determinado elemento comparativamente à sua abundância relativa no material da crosta terrestre (Kothai et al., 2011). Neste estudo, o fator de enriquecimento (EF) foi calculado utilizando Si como elemento de referência da crosta terrestre (Calvo et al., 2012) e os valores de referência da composição de solos definido por Mason e Moore (1982). Os EF foram calculados com base na equação (1):

$$EF_x = \frac{\left(\frac{[X]}{[Si]}\right)_{particulas\ depositadas}}{\left(\frac{[X]}{[Si]}\right)_{crosta\ terrestre}} \quad (Equação\ 1)$$

Onde, $[X]_{partículas depositadas}$ é fração mássica do elemento X nas partículas; $[Si]_{partículas depositadas}$ é a fração mássica de Si nas partículas; $[X]_{crosta terrestre}$ é a fração mássica do elemento X na crosta terrestre e $[Si]_{crosta terrestre}$ é a fração mássica de Si na crosta terrestre.

Na Figura 32 são apresentados os fatores de enriquecimento para as amostras de partículas depositadas na área de estudo. Elementos cujo valor de EF se aproxima da unidade, ou seja 1, podem ser considerados como resultantes predominantemente de fontes de material de crosta terrestre, enquanto elementos que apresentam um valor de EF superior a 10 podem indicar que a sua proveniência deve-se principalmente a fenômenos locais, regionais e/ou de transporte prolongado oriundo de outras fontes naturais ou antropogénicas (Canha et al., 2014). Vários elementos apresentaram um fator de enriquecimento acima do valor de 10, nomeadamente, Ba, Fe, Ca, Vu, V, S, Ge, Cl, Nb, Pb, Zn, Mn, Br, Co, Hf, Cr, Se e Cd.

Relativamente às suas possíveis fontes antropogénicas, estas podem derivar da indústria pesada caracterizada por possuírem certos elementos característicos como o V, Cr, Co, Zn e Pb; indústria cimenteira identificada pela contribuição de Ca; indústria de ferro e aço através da contribuição de Mn, Cr, Fe e Zn; queima de combustíveis fósseis identificada pela contribuição de elementos como Fe, V, Se, S, Pb, Mn, Co e Cr; ou tráfego através da abrasão mecânica de pneus (Zn), veículos a diesel (S) e abrasão mecânica de travões (Cu e Ba) (Calvo et al., 2012). Esta conjugação de diferentes fontes antropogénicas das partículas depositadas em estudo, coincide com o local de amostragem uma vez que este é caracterizado por ser uma zona urbana com fortes atividades industriais na proximidade.

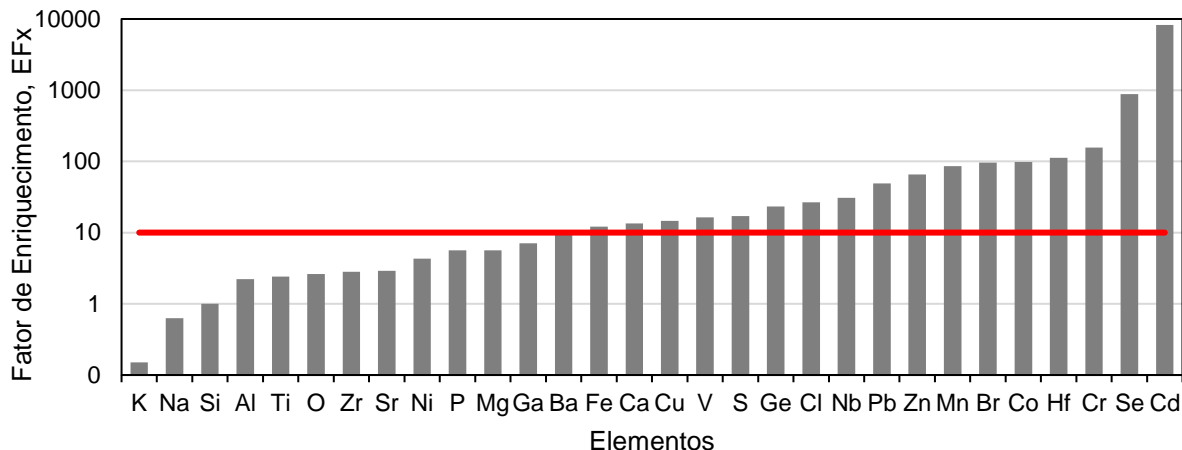


Figura 32 - Fator de enriquecimento para as partículas depositadas na área de estudo e estabelecimento do limite para fontes que não sejam da crosta terrestre (a vermelho)

4.2.4. Correlações de Spearman

Na Tabela 6, são apresentadas as correlações de Spearman entre os elementos analisados nas amostras de partículas depositadas. Foram encontradas correlações positivas significativas entre: (1) Ba e Ni ($r=0.65$) e Sr ($r=0.59$); (2) Cl e Na ($r=0.76$), que indicam uma fonte marinha; (3) Cr e Fe ($r=0.59$) e Mn ($r = 0.85$), indicando uma origem comum provavelmente a indústria de ferro e aço; (4) Ni e S ($r = 0.65$) que estão normalmente associados à queima de óleo; Nb e Sr ($p = 0.59$) e P e Ti ($p = 0.63$) que evidenciam a existência de processos de combustão (Alves et al., 2018; Calvo et al., 2012) .

4.2.5. Dimensão das partículas e possíveis impactes na saúde

O facto da dimensão das partículas amostradas ser grosseira indica que a emissão destas partículas é muito provavelmente local, uma vez que os tempos de permanência na atmosfera deste tipo de partículas são baixos. As características magnéticas e a análise química destas partículas também indicam que há uma forte probabilidade destas partículas estarem associadas a processos relacionados com a siderurgia.

O impacte das partículas amostradas na saúde humana não será muito relevante, uma vez que as partículas de dimensão grosseira tendem a não penetrar no aparelho respiratório. Contudo, existe a possibilidade de exposição a estas partículas por outro modo que não a inalação, como por exemplo através da ingestão, uma vez que as partículas podem depositar-se em alimentos ou água. Para além disso, é muito possível que para além das partículas amostradas existam outras de menor dimensão em suspensão na atmosfera, cuja monitorização é fulcral para garantir a segurança dos habitantes da região.

Tabela 6 – Correlações de Spearman entre os elementos das partículas depositadas na área de estudo. Os valores a negrito e sombreados a cinzento são significativos (valor-p inferior a 0.05)

Elementos	Al	Ba	Ca	Cl	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Nb	Ni	P	S	Si	Sr	Ti	
Al	1.00	-0.11	0.23	0.42	-0.46	0.15	-0.25	-0.54	-0.19	-0.09	0.44	0.54	0.29	-0.59	0.17	-0.89	0.15	0.21	0.42	
Ba		1.00	0.10	-0.49	-0.20	0.06	0.24	-0.06	-0.33	-0.24	-0.06	-0.26	0.32	0.65	0.18	0.21	0.02	0.59	0.06	
Ca			1.00	-0.08	-0.49	-0.47	-0.56	-0.62	0.13	-0.17	-0.20	-0.42	-0.02	0.06	0.31	0.06	0.52	0.09	-0.10	
Cl				1.00	-0.17	-0.11	-0.22	-0.04	0.52	0.08	0.05	0.76	-0.11	-0.32	0.17	-0.50	0.18	-0.36	0.08	
Co					1.00	0.28	0.09	0.37	0.05	0.42	0.08	-0.18	-0.12	0.17	-0.41	0.46	-0.24	-0.27	-0.44	
Cr						1.00	0.31	0.59	-0.68	-0.02	0.85	0.09	0.14	-0.17	0.31	-0.35	-0.77	-0.20	0.42	
Cu							1.00	0.35	-0.29	0.43	0.07	0.00	0.03	0.20	-0.22	0.06	-0.19	0.12	-0.01	
Fe								1.00	-0.24	-0.18	0.34	0.06	-0.17	0.15	0.32	0.17	-0.78	-0.53	0.22	
K									1.00	0.13	-0.75	0.10	-0.57	0.18	-0.30	0.32	0.50	-0.30	-0.43	
Mg										1.00	-0.08	-0.15	0.09	0.06	-0.56	0.14	0.36	0.14	-0.62	
Mn											1.00	0.27	0.44	-0.46	0.41	-0.59	-0.51	-0.16	0.44	
Na												1.00	0.19	-0.44	0.15	-0.72	-0.10	-0.09	0.40	
Nb													1.00	-0.14	-0.01	-0.29	0.19	0.59	-0.08	
Ni														1.00	0.10	0.65	0.02	0.21	-0.33	
P															1.00	-0.34	-0.44	-0.25	0.63	
S																1.00	0.17	-0.10	-0.66	
Si																	1.00	0.32	-0.62	
Sr																		1.00	-0.03	
Ti																				1.00

4.3. Biomonitorização da QA através de folhas de morangueiros

A população da UFSAAPP aponta a indústria como a principal fonte de poluição atmosférica na Aldeia de Paio Pires, em particular a Siderurgia, e isso foi evidenciado também nas respostas do questionário aplicado na presente tese.

Consequentemente, e por forma a perceber qual o impacte da siderurgia na UFSAAPP, recorreu-se a um estudo de biomonitorização da QA, utilizando morangueiros, por forma a mapear os elementos característicos da indústria do ferro e do aço, como o Cr, Fe, Mn e Zn (Calvo et al., 2012). À exceção do Zn, estes elementos já tinham sido identificados no estudo da deposição de partículas nas superfícies.

No Anexo H, pode consultar-se as frações mássicas médias obtidas não só para estes elementos, mas também para todos os elementos medidos por micro-XRF nas pastilhas das folhas dos morangueiros expostos.

4.3.1. Distribuição espacial e rácios dos elementos

Numa primeira análise, observou-se a distribuição espacial dos elementos Cr, Fe, Mn e Zn (Figura 33) e verificou-se que os quatro elementos apresentavam as concentrações mais elevadas na área industrial ocupada pela siderurgia. De acordo com Almeida et al. (2015), os elementos Fe e Mn são observados em todas as unidades de processamento numa siderurgia. O Fe apresentou uma segunda maior área de concentrações elevadas possivelmente devido a outra indústria do setor metalúrgico que se encontra mais a sul da grelha.

Uma vez que a distribuição espacial destes elementos apresenta um padrão semelhante e pode ser associada à indústria do ferro e aço, avaliou-se a relação entre pares de elementos e comparou-se essa relação com os rácios encontrados no estudo das partículas depositadas.

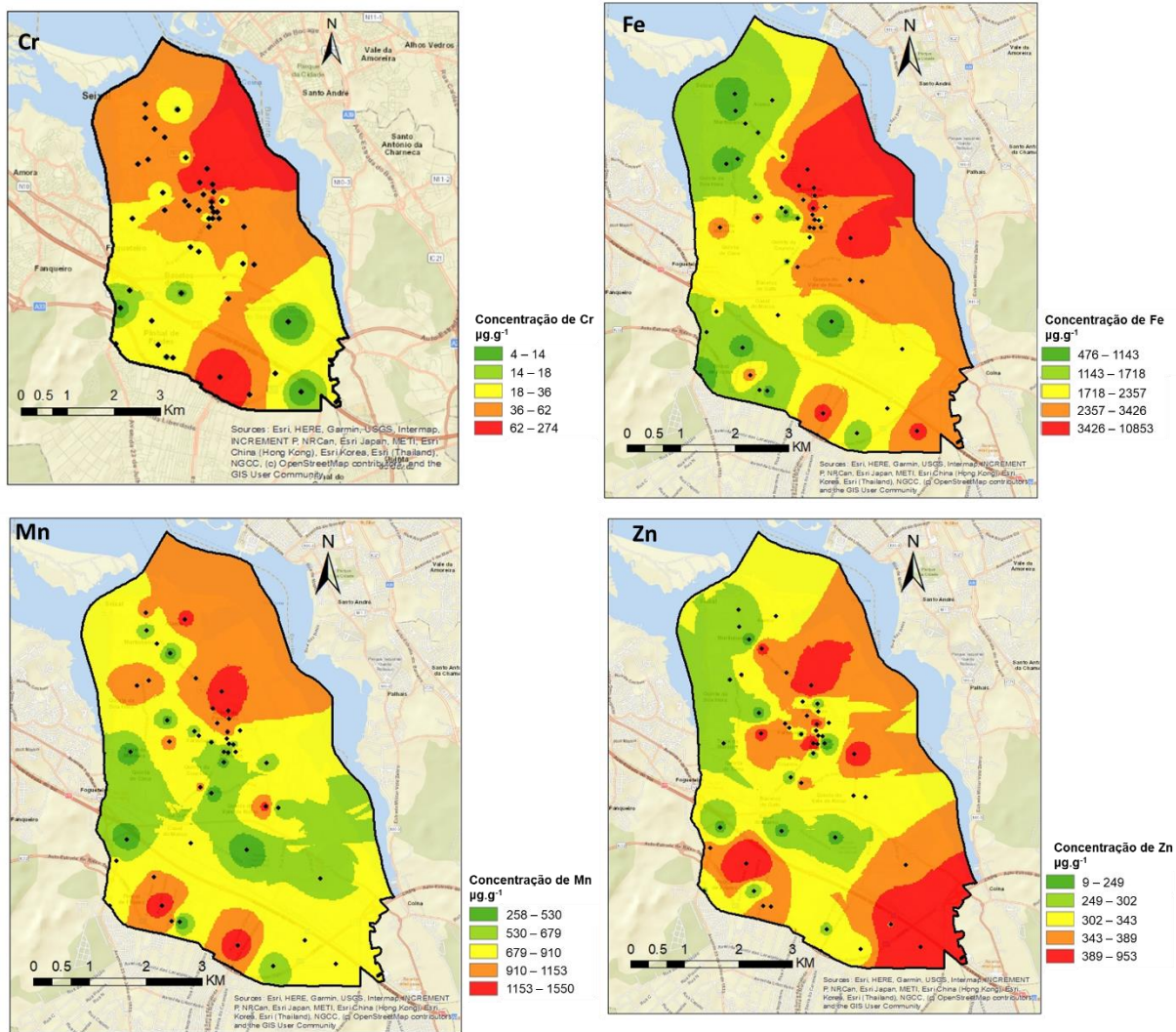


Figura 33 – Distribuição espacial das concentrações dos elementos Cr, Fe, Mn e Zn medidos nas pastilhas das folhas de morangueiros expostos (em μg^{-1})

Na Figura 34 observa-se a relação entre os elementos Cr e Fe registados nas folhas de morangueiro e o rácio entre esses mesmos elementos no estudo das partículas depositadas ($\text{Cr/Fe}=0.05$). A relação entre os elementos apresenta uma muito boa correlação ($r^2=0.85$), demonstrando a existência de uma fonte emissora comum a ambos os elementos. No caso do Cr e Fe, evidencia-se um desvio entre as duas linhas de tendência (partículas e morangueiros), o que pode indicar a influência de fontes adicionais, como por exemplo o solo que contribui para a emissão do Fe (Belis et al., 2013; Calvo et al., 2012).

A Figura 35 apresenta a relação entre os elementos Zn e Fe para as folhas de morangueiro e o rácio encontrado nas partículas depositadas ($\text{Zn/Fe}=0.01$). Observa-se que estes elementos apresentam uma correlação fraca ($r^2=0.14$) e a razão para as partículas depositadas indica que as amostras de morangueiros foram influenciadas por outra fonte que não a indústria siderúrgica. Uma das possíveis fontes de Zn é o tráfego que, numa área caracterizada como área urbano-industrial como a do presente estudo, tem necessária impactes significativos.

Na Figura 36 é apresentada a relação entre os elementos Mn e Fe registrados nas folhas de morangueiro e o rácio destes elementos encontrado nas partículas depositadas (Mn/Fe=0.14). Comparando a linha de tendência para as amostras de morangueiros com a razão obtida nas amostras das partículas depositadas, verifica-se que existe uma semelhança indicando a influência da mesma fonte para os biomonitores e partículas depositadas.

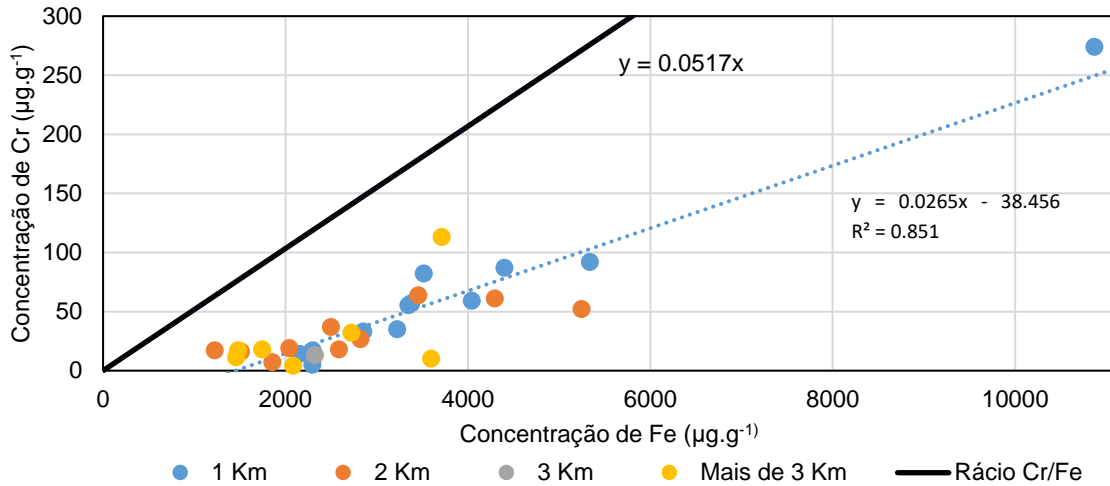


Figura 34 - Relação entre os elementos Cr e Fe medidos nas folhas de morangueiros expostos (a cor dos pontos é referente à sua distância à siderurgia), com regressão linear (a azul) e rácio dos elementos nas partículas depositadas (a preto)

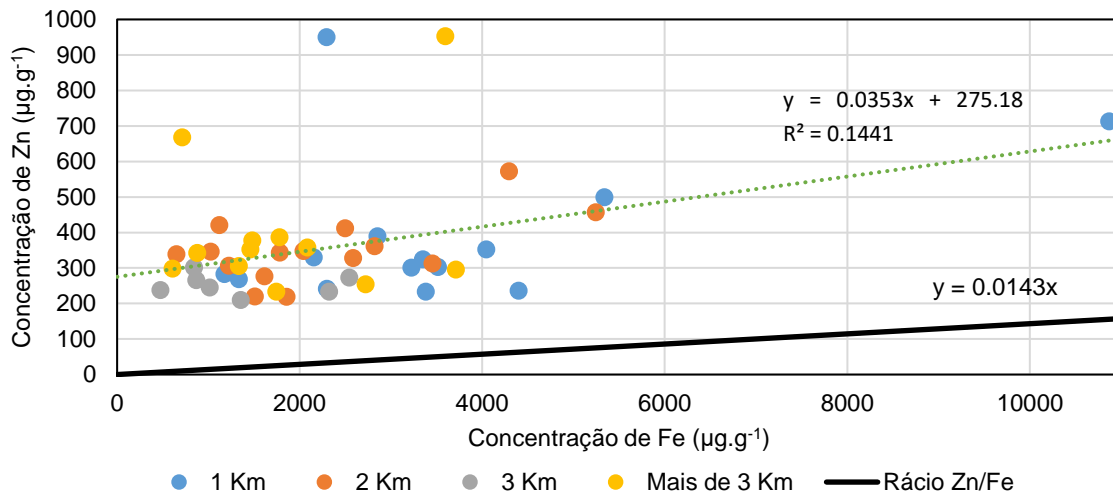


Figura 35 - Relação entre os elementos Zn e Fe medidos nas folhas de morangueiros expostos (a cor dos pontos é referente à sua distância à siderurgia), com regressão linear (a azul) e rácio dos elementos nas partículas depositadas (a preto)

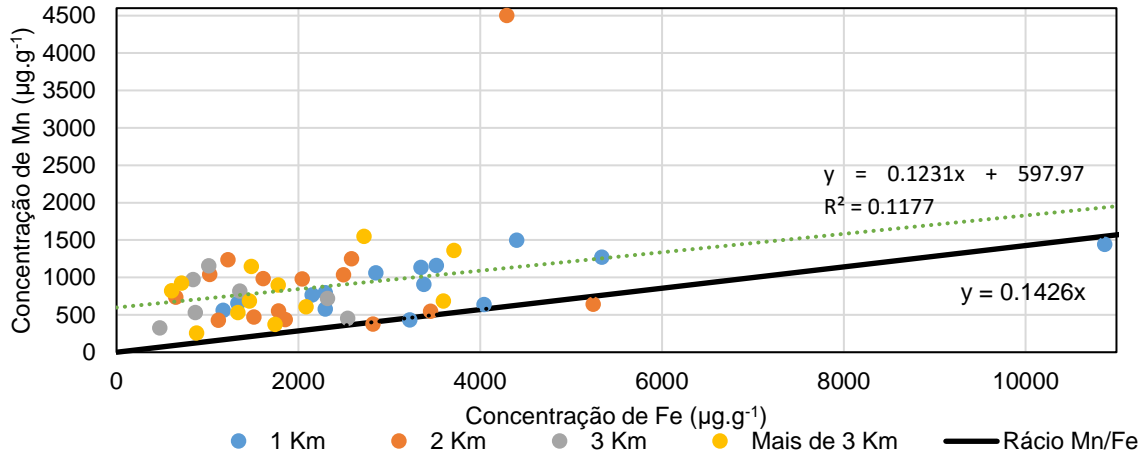


Figura 36 - Relação entre os elementos Mn e Fe medidos nas folhas de morangueiros expostos (a cor dos pontos é referente à sua distância à siderurgia), com regressão linear (a azul) e rácio dos elementos das partículas depositadas (a preto)

4.3.2. Evolução da concentração dos elementos em função da distância à indústria

Outro ponto interessante de verificar é a variação na concentração dos elementos em estudo à medida que a distância à indústria aumenta. Como tal, estipulou-se um ponto central na siderurgia nacional e determinou-se raios de 1 quilómetro, como se pode observar na Figura 37.

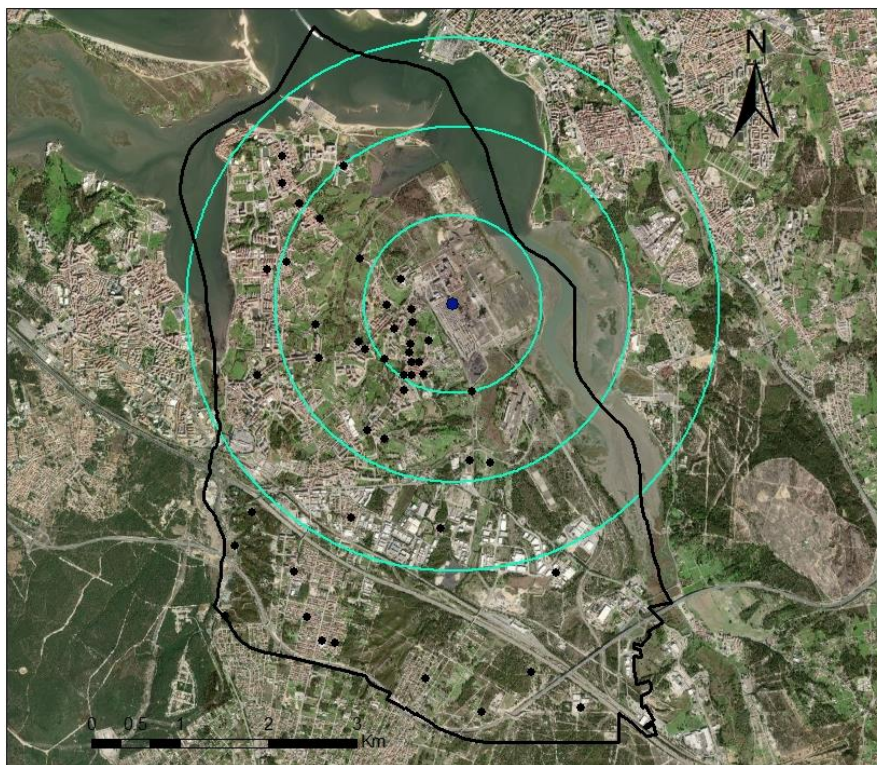


Figura 37 – Distribuição dos pontos de morangueiros (pontos pretos) em raios de 1, 2 e 3 quilómetros (círculos verdes) com o centro do mesmo na siderurgia nacional (círculo preenchido azul)

A Figura 38 apresenta a concentração dos elementos de Cr, Fe, Mn e Zn em função da distância à Siderurgia. Através da análise da Figura 38 é possível verificar um decréscimo acentuado na concentração do elemento Fe à medida que a distância à siderurgia aumenta (cerca de 49% entre as amostras no raio de 1 km e as amostras a mais de 3 km). Para além disso, a comparação entre os pontos no raio de 1 km e o morangueiro de controlo mais afastado (C2), mostra que há um enriquecimento na concentração de Fe de 4.6. O maior enriquecimento verificou-se entre o ponto do Clube do Pessoal da Siderurgia (que se encontra dentro da área da Siderurgia Nacional) e o controle C2 em que a razão entre locais atingiu um valor de 13.9.

A concentração do elemento Cr também diminuiu à medida que a distância aumentou (cerca de 57% entre as amostras mais próximas e as mais distantes), confirmando a associação entre o Cr e o Fe que foi observada anteriormente. O Mn manteve as suas concentrações praticamente constantes em função da distância, começando apenas a diminuir por volta do terceiro quilómetro.

Finalmente, para o elemento Zn verificou-se que a concentração aumentou em particular para distâncias superiores a 3 km. Este aumento é observado na sua distribuição espacial (Figura 33), pela presença de amostras com concentrações na classe mais elevada na parte sudeste da área de estudo. Este aumento pode ser explicado pela influência do tráfego, que também tem o Zn como elemento característico da abrasão mecânica de pneus e travões (Almeida et al., 2006; Belis et al., 2013), pois estes pontos encontram-se perto da autoestrada.

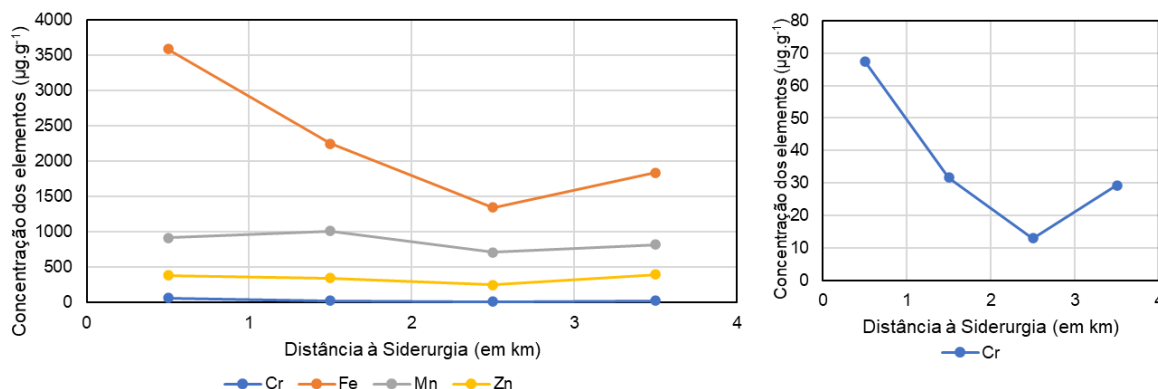


Figura 38 – Concentração dos elementos de Cr, Fe, Mn e Zn em função da distância à Siderurgia (valores em µg.g⁻¹)

5. Conclusões e recomendações

A exposição à poluição atmosférica tem sido uma problemática importante para a população do Seixal e tem causado preocupação e inquietação junto da comunidade. Assim, a presente dissertação teve como objetivos avaliar a contaminação atmosférica na UFSAAPP, através da análise de partículas depositadas e da técnica de biomonitorização com morangueiros, capacitar e envolver a população e avaliar o seu conhecimento nesta temática.

Na primeira fase do trabalho, foi aplicado um questionário sobre a perceção da qualidade do ar à população da UFSAAPP e à restante população portuguesa. Os resultados do questionário evidenciaram que a avaliação da QA, a perceção de risco e o conhecimento difere entre as duas populações. Cerca de 94.6% dos inquiridos na área de estudo considera a QA como a temática de maior preocupação, enquanto que apenas 64.3% da população geral dá prioridade à QA. A diferença entre o grau de preocupação nas diferentes populações influenciou também as restantes questões, ou seja, o aumento da preocupação sobre a temática originou uma maior necessidade de conhecimento sobre a mesma. Relativamente ao grau de conhecimento dos poluentes atmosféricos, metade da população geral não conseguiu identificar nenhum tipo de poluente atmosférico, enquanto que 61% dos inquiridos na UFSAAPP identificou pelo menos um, sendo o poluente mais identificado a matéria particulada (37% das respostas), que é a principal causa do descontentamento na área de estudo. Havendo a necessidade de maior conhecimento também o nível de informação é um fator importante, verificando-se, de novo, valores superiores por parte da população da UFSAAPP, com 24.8% a sentirem-se mais informados (uma diferença de 14.5% em relação à população geral). Apesar dessa diferença, a internet é o meio mais utilizado em ambas as populações. Também se evidenciou uma diferença significativa no que diz respeito ao grau de afetação pela QA e nas alterações de comportamentos. Outro aspeto importante foi a evidente perceção da indústria como a maior fonte de poluição para a população afetada, com cerca de 34% da totalidade das respostas.

Contudo, este questionário teve algumas limitações, em especial nos inquiridos da população da UFSAAPP, uma vez que não existiu uma boa representatividade de todos os grupos em termos sociais e demográficos o que pode ter levado à existência de alguns vieses nas respostas.

Na segunda fase do trabalho, foi realizada uma análise à composição química das partículas depositadas na área de estudo através da técnica de micro-PIXE. Esta análise contribuiu para a identificação de possíveis fontes de emissão através da sua comparação com perfis encontrados em partículas amostradas em diferentes tipos de ambientes (industrial com siderurgia, urbano, rural e deposição de partículas nas estradas). As características magnéticas das amostras de partículas depositadas, bem como a respetiva análise química e a granulometria, evidenciaram a relevância da contribuição de uma fonte local muito provavelmente relacionada com a siderurgia.

Por fim, tendo em conta os resultados obtidos no estudo das partículas depositadas, efetuou-se o mapeamento dos elementos Cr, Mn, Fe e Zn na área de estudo, recorrendo à técnica de biomonitorização através de folhas de morangueiros. Observou-se, através do mapeamento, que os elementos apresentaram concentrações elevadas perto da zona industrial onde se situa a siderurgia.

Verificou-se ainda um decréscimo mais acentuado na concentração de Fe (48%) e de Cr (57%) à medida que a distância à siderurgia aumentava, o que pode indicar a influência da zona industrial. No caso do Mn, este manteve-se relativamente constante, enquanto o Zn apresentou um ligeiro aumento que pode advir da contribuição do tráfego automóvel.

Existiram algumas limitações relativamente à biomonitorização com os morangueiros, devido ao facto destes biomonitores necessitarem de tratamento (exemplo rega, exposição solar). Não sendo este tratamento supervisionado pela equipa do projeto, não se pode garantir que tenha sido completamente uniforme para todas as plantas distribuídas. Outro fator importante foi o tempo de exposição coincidir com o confinamento da pandemia, o que levou à paragem de indústrias e de algumas atividades, pelo que os resultados obtidos poderão não ser representativos da situação normal.

Como trabalho futuro, seria interessante complementar este estudo com a amostragem de PM₁₀ e PM_{2.5}, possibilitando a comparação com a legislação estabelecida bem como a avaliação da sua composição química, com o intuito de identificar a contribuição das fontes de poluição através da aplicação de modelos de recetor. Com estas amostragens, iria ser também possível determinar o nível de risco para a população da área em estudo, relativamente à inalação de PM.

6. Referências bibliográficas

- Adar, S. D., Filigrana, P. A., Clements, N., & Peel, J. L. (2014). Ambient Coarse Particulate Matter and Human Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Environmental Health Reports*, 1(3), 258–274. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0022-z>
- Ahrens, D. C. (2008). *Meteorology today: Introduction to weather, climate and environment* (9th ed.). Cengage Learning.
- Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., ... Santamaría, J. M. (2011). Chemical characterisation and source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research*, 102(1–2), 191–205. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2011.07.003>
- Alfarra, M. (2004). *Insights into atmospheric organic aerosols using an aerosol mass spectrometer*. University of Manchester.
- Alleman, L. Y., Lamaison, L., Perdrix, E., Robache, A., & Galloo, J.-C. (2010). PM₁₀ metal concentrations and source identification using positive matrix factorization and wind sectoring in a French industrial zone. *Atmospheric Research*, 96(4), 612–625. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2010.02.008>
- Almeida, S. M. (2004). *Composição e origem do aerossol atmosférico em zona urbano-industrial*. Universidade de Aveiro. Retrieved from <https://ria.ua.pt/handle/10773/16520?mode=full>
- Almeida, S. M., Lage, J., Fernández, B., Garcia, S., Reis, M. A., & Chaves, P. C. (2015). Chemical characterization of atmospheric particles and source apportionment in the vicinity of a steelmaking industry. *Science of The Total Environment*, 521–522, 411–420. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.03.112>
- Almeida, S. M., Lage, J., Freitas, M. do C., Pedro, A. I., Ribeiro, T., Silva, A. V., ... Wolterbeek, H. T. (2012). Integration of Biomonitoring and Instrumental Techniques to Assess the air Quality in An Industrial Area Located in the Coastal of Central Asturias, Spain. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 75(22–23), 1392–1403. <https://doi.org/10.1080/15287394.2012.721173>
- Almeida, S. M., Pio, C. A., Freitas, M. C., Reis, M. A., & Trancoso, M. A. (2005). Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast. *Atmospheric Environment*, 39(17), 3127–3138. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.01.048>
- Almeida, S. M., Pio, C. A., Freitas, M. C., Reis, M. A., & Trancoso, M. A. (2006). Source apportionment of atmospheric urban aerosol based on weekdays/weekend variability: evaluation of road re-suspended dust contribution. *Atmospheric Environment*, 40(11), 2058–2067. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.046>
- Alves, C. A., Evtugina, M., Vicente, A. M. P., Vicente, E. D., Nunes, T. V., Silva, P. M. A., ... Querol, X. (2018). Chemical profiling of PM₁₀ from urban road dust. *Science of the Total Environment*,

634, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.338>

- Amato, F., Alastuey, A., Karanasiou, A., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolari, G., ... Querol, X. (2016). AIRUSE-LIFE+: A harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(5), 3289–3309. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3289-2016>
- Anderson, J. O., Thundiyil, J. G., & Stolbach, A. (2012, June 23). Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>
- APA. (n.d.). Avaliação da Qualidade do Ar. Retrieved June 25, 2020, from <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316&sub3ref=386>
- APA. (2018a). Ar e Ruído | Relatório do Estado do Ambiente. Retrieved February 21, 2020, from https://rea.apambiente.pt/dominio_ambiental/ar
- APA. (2018b). Poluição por partículas inaláveis | Relatório do Estado do Ambiente. Retrieved February 21, 2020, from <https://rea.apambiente.pt/content/poluição-por-partículas-inaláveis>
- APA. (2020). Qualidade do Ar - Dados da Estação de Paio Pires. Retrieved October 4, 2020, from <https://qualar1.apambiente.pt/qualar/index.php?page=4&subpage=3&estacao=3063>
- Baklanov, A., Molina, L. T., & Gauss, M. (2016). Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment*, 126, 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.059>
- Belis, C. A., Karagulian, F., Larsen, B. R., & Hopke, P. K. (2013). Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*, 69, 94–108. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2012.11.009>
- Bickerstaff, K. (2004, August). Risk perception research: Socio-cultural perspectives on the public experience of air pollution. *Environment International*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.001>
- Bickerstaff, K., & Walker, G. (2001). Public understandings of air pollution: The “localisation” of environmental risk. *Global Environmental Change*, 11(2), 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00063-7)
- Boonpeng, C., Polyiam, W., Sriviboon, C., Sangiamdee, D., Watthana, S., Nimis, P. L., & Boonpragob, K. (2017). Airborne trace elements near a petrochemical industrial complex in Thailand assessed by the lichen *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12393–12404. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8893-9>
- Bowe, B., Xie, Y., Li, T., Yan, Y., Xian, H., & Al-Aly, Z. (2018). The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM 2.5 air pollution. *The Lancet Planetary Health*, 2(7), e301–e312. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30140-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30140-2)
- Brody, S. D., Peck, B. M., & Highfield, W. E. (2004). Examining localized patterns of air quality perception in Texas: A spatial and statistical analysis. *Risk Analysis*, 24(6), 1561–1574.

<https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00550.x>

- Čabanová, K., Hrabovská, K., Matějková, P., Dědková, K., Tomášek, V., Dvořáčková, J., & Kukutschová, J. (2019). Settled iron-based road dust and its characteristics and possible association with detection in human tissues. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), 2950–2959. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3841-x>
- Calvo, A. I., Vicente, A. M., Alves, C., Fraile, R., Castro, A., & Pont, V. (2012). Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues. *Atmospheric Research*, 120–121, 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.021>
- Campbell, J. L., Boyd, N. I., Grassi, N., Bonnicksen, P., & Maxwell, J. A. (2010). The Guelph PIXE software package IV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 268(20), 3356–3363. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.07.012>
- Canha, N., Almeida, S. M., Freitas, M. C., Trancoso, M., Sousa, A., Mouro, F., & Wolterbeek, H. T. (2014). Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology. *Atmospheric Environment*, 83, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.061>
- Canha, N., Almeida, S. M., Freitas, M. C., & Wolterbeek, H. T. (2014). Indoor and outdoor biomonitoring using lichens at urban and rural primary schools. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 77(14–16), 900–915. <https://doi.org/10.1080/15287394.2014.911130>
- Canha, N., Freitas, M. C., Almeida, S. M., & Pacheco, A. M. G. (2010). Element-enrichment factors in *Parmotrema bangii* and *Cryptomeria japonica* of Portuguese islands of the central North Atlantic. *International Journal of Environment and Health*, 4(2–3), 120–136. <https://doi.org/10.1504/IJENVH.2010.033703>
- Cárdenas Rodríguez, M., Dupont-Courtade, L., & Oueslati, W. (2016, January 5). Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.190>
- Castanheiro, A., Hofman, J., Nuyts, G., Joosen, S., Spassov, S., Blust, R., ... Samson, R. (2020). Leaf accumulation of atmospheric dust: Biomagnetic, morphological and elemental evaluation using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS. *Atmospheric Environment*, 221, 117082. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117082>
- Chen, T. M., Shofer, S., Gokhale, J., & Kuschner, W. G. (2007). Outdoor air pollution: Overview and historical perspective. *American Journal of the Medical Sciences*, 333(4), 230–234. <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31803b8c91>
- Cisneros, R., Brown, P., Cameron, L., Gaab, E., Gonzalez, M., Ramondt, S., ... Schweizer, D. (2017). Understanding public views about air quality and air pollution sources in the San Joaquin Valley, California. *Journal of Environmental and Public Health*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4535142>
- Conrad, C. C., & Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental

- monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1–4), 273–291. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>
- Constant, N. (2018). Role of Citizen Science in Air Quality Monitoring. In *Urban Pollution* (pp. 303–312). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119260493.ch23>
- Conti, M. E. (2008). Environmental biological monitoring. In *Biological Monitoring: Theory and Applications* (pp. 1–21). WIT Press.
- Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001, October 1). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - A review. *Environmental Pollution*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4)
- Costa, S., Ferreira, J., Silveira, C., Costa, C., Lopes, D., Relvas, H., ... Paulo Teixeira, J. (2014, August 18). Integrating health on air quality assessment - Review report on health risks of two major european outdoor air pollutants: PM and NO2. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*. Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10937404.2014.946164>
- Cunha, D. G. F., Marques, J. F., de Resende, J. C., de Falco, P. B., de Souza, C. M., & Loisel, S. A. (2017). Citizen science participation in research in the environmental sciences: Key factors related to projects' success and longevity. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 89(3), 2229–2245. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160548>
- Daly, A., & Zannetti, P. (2007). *An Introduction to Air Pollution-Definitions, Classifications, and History*. Retrieved from <http://www.arabschool.org.sy>
- De Temmerman, L., Bell, J. N., Garrec, J. P., Klumpp, A., & Tonneijck, A. E. G. (2004). Biomonitoring of air pollutants with plants - considerations for the future. *Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness*, 1, 337–373. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Diapouli, E., Manousakas, M., Vratolis, S., Vasilatou, V., Maggos, T., Saraga, D., ... Eleftheriadis, K. (2017). Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM10 and PM2.5 source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Atmospheric Environment*, 164, 416–430. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.016>
- Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., ... Speizer, F. E. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753–1759. <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>
- EEA. (2015). *EEA signals 2013 – Improving air quality in Europe*. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/eea-signals-2013>
- EEA. (2016). *Dispersal of Air Pollutants*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/2599XXX/page005.html>
- EEA. (2017a). *Air quality in Europe - 2017 report*. EEA Report No 13/2017. <https://doi.org/doi:10.2800/413142>
- EEA. (2017b). PM — European Environment Agency. Retrieved March 11, 2020, from

- <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/resources/glossary/pm>
- EEA. (2017c). VOC — European Environment Agency. Retrieved March 3, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/resources/glossary/voc>
- EEA. (2018). *Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/unequal-exposure-and-unequal-impacts>
- EEA. (2019a). *Air quality in Europe — 2019 report — EEA Report No 10/2019*. <https://doi.org/10.2800/822355>
- EEA. (2019b). *The European environment — state and outlook 2020 — European Environment Agency*. <https://doi.org/10.2800/96749>
- El-Fadel, M., & Massoud, M. (2000). Particulate matter in urban areas: Health-based economic assessment. *Science of the Total Environment*, 257(2–3), 133–146. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00503-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00503-9)
- Elliott, S. J., Cole, D. C., Krueger, P., Voorberg, N., & Wakefield, S. (1999). The power of perception: Health risk attributed to air pollution in an urban industrial neighbourhood. *Risk Analysis*, 19(4), 621–634. <https://doi.org/10.1023/A:1007029518897>
- EPA. (2017a). What are Hazardous Air Pollutants? Retrieved March 3, 2020, from <https://www.epa.gov/haps/what-are-hazardous-air-pollutants>
- EPA. (2017b). What is Particulate Matter? | Urban Environmental Program in New England | US EPA. Retrieved March 11, 2020, from <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/particulatematter.html>
- European Commission. (2019a). Existing Legislation - Air Quality. Retrieved March 9, 2020, from https://ec.europa.eu/environment/air/quality/existing_leg.htm
- European Commission. (2019b). *Special Eurobarometer 497 - Attitudes of Europeans towards Air Quality*. European Commission: DG Communication.
- Fenger, J. (1999, December 1). Urban air quality. *Atmospheric Environment*. Elsevier Science Ltd. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00290-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00290-3)
- Fromme, H., Diemer, J., Dietrich, S., Cyrus, J., Heinrich, J., Lang, W., ... Twardella, D. (2008). Chemical and morphological properties of particulate matter (PM10, PM2.5) in school classrooms and outdoor air. *Atmospheric Environment*, 42(27), 6597–6605. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2008.04.047>
- Gautam, D., & B. Bolia, N. (2020, February 1). Air pollution: impact and interventions. *Air Quality, Atmosphere and Health*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00784-8>
- Gladtko, D., Volkhausen, W., & Bach, B. (2009). Estimating the contribution of industrial facilities to annual PM10 concentrations at industrially influenced sites. *Atmospheric Environment*, 43(30), 4655–4665. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2009.04.063>

- Godish, T. (2004). *Air quality* (4th ed.). Lewis Publishers.
- Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*. Lancet Publishing Group. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)
- Gür, F., & Yaprak, G. (2011). Biomonitoring of metals in the vicinity of Soma coal-fired power plant in western Anatolia, Turkey using the epiphytic lichen, *Xanthoria parietina*. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 46(13), 1503–1511. <https://doi.org/10.1080/10978526.2011.609075>
- Heal, M. R., Kumar, P., & Harrison, R. M. (2012, October 7). Particles, air quality, policy and health. *Chemical Society Reviews*. <https://doi.org/10.1039/c2cs35076a>
- Hester, R. E., Harrison, R. M., & Querol, X. (2016). Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health. *Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health*. Cambridge: Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782626589-FP001>
- Hofman, J., Maher, B. A., Muxworthy, A. R., Wuyts, K., Castanheiro, A., & Samson, R. (2017). Biomagnetic Monitoring of Atmospheric Pollution: A Review of Magnetic Signatures from Biological Sensors. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6648–6664. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00832>
- Hoodaji, M., Ataabadi, M., & Najafi, P. (2012). Biomonitoring of Airborne Heavy Metal Contamination. In *Air Pollution - Monitoring, Modelling, Health and Control*. InTech. <https://doi.org/10.5772/32963>
- Howel, D., Moffatt, S., Bush, J., Dunn, C. E., & Prince, H. (2003). Public views on the links between air pollution and health in Northeast England. *Environmental Research*, 91, 163–171. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(02\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(02)00037-3)
- Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., & Vonmont, H. (2005). Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 39(4), 637–651. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.10.027>
- Jacobson, M. Z. (Mark Z. (2002). *Atmospheric pollution: history, science, and regulation*. Cambridge University Press.
- Jang, A.-S. (2012). Particulate Air Pollutants and Respiratory Diseases. In *Air Pollution - A Comprehensive Perspective*. InTech. <https://doi.org/10.5772/51363>
- Johnson, B. B. (1999). Exploring dimensionality in the origins of hazard-related trust. *Journal of Risk Research*, 2(4), 325–354. <https://doi.org/10.1080/136698799376763>
- Justino, A. R., Canha, N., Gamelas, C., Coutinho, J. T., Kertesz, Z., & Almeida, S. M. (2019). Contribution of micro-PIXE to the characterization of settled dust events in an urban area affected by industrial activities. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 322(3), 1953–1964. <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06860-8>
- Kanakidou, M., Mihalopoulos, N., Kindap, T., Im, U., Vrekoussis, M., Gerasopoulos, E., ... Moubasher,

- H. (2011, February 1). Megacities as hot spots of air pollution in the East Mediterranean. *Atmospheric Environment*. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.048>
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015, November 1). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>
- Kardel, F., Wuyts, K., Maher, B. A., Hansard, R., & Samson, R. (2011). Leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) as a proxy for particulate matter monitoring: Inter-species differences and in-season variation. *Atmospheric Environment*, 45(29), 5164–5171. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.025>
- Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2015). Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(4), 631–649. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9720-1>
- Kertész, Z., Szikszai, Z., Szoboszlai, Z., Simon, A., Huszank, R., & Uzonyi, I. (2009). Study of individual atmospheric aerosol particles at the Debrecen ion microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 267(12–13), 2236–2240. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.03.050>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015, January 1). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>
- Koltay, E., Pászti, F., & Kiss, Á. Z. (2011). Chemical Applications of Ion Accelerators. In *Handbook of Nuclear Chemistry* (pp. 1695–1735). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0720-2_33
- Kothai, P., Saradhi, I. V., Pandit, G. G., Markwitz, A., & Puranik, V. D. (2011). Chemical Characterization and Source Identification of Particulate Matter at an Urban Site of Navi Mumbai, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 11, 560–569. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.02.0017>
- Lage, J., Wolterbeek, H. T., Reis, M. A., Chaves, P. C., Garcia, S., & Almeida, S. M. (2016). Source apportionment by positive matrix factorization on elemental concentration obtained in PM10 and biomonitors collected in the vicinities of a steelworks. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 309(1), 397–404. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4751-3>
- Larsen, B. R., Junninen, H., Mønster, J., Viana, M., Tsakovski, P., Duvall, R. M., ... Querol, X. (2008). *The Krakow receptor modelling inter-comparison exercise*. <https://doi.org/10.2788/33914>
- Lercher, P., Schmitzberger, R., & Kofler, W. (1995). Perceived traffic air pollution, associated behavior and health in an alpine area. *Science of the Total Environment*, 169(1–3), 71–74. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04634-D](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04634-D)
- Liao, X., Tu, H., Maddock, J. E., Fan, S., Lan, G., Wu, Y., ... Lu, Y. (2015). Residents' perception of air quality, pollution sources, and air pollution control in Nanchang, China. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 835–841. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.092>

- Lim, J. M., Lee, J. H., Moon, J. H., Chung, Y. S., & Kim, K. H. (2010). Source apportionment of PM10 at a small industrial area using Positive Matrix Factorization. *Atmospheric Research*, 95(1), 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.08.009>
- Liu, X., Zhu, H., Hu, Y., Feng, S., Chu, Y., Wu, Y., ... Lu, Y. (2016). Public's health risk awareness on urban air pollution in Chinese megacities: The cases of Shanghai, Wuhan and Nanchang. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph13090845>
- Lorenzini, G., & Nali, C. (2004). Bio-monitoring of ozone by young students. *Journal of Biological Education*, 38(4), 158–162. <https://doi.org/10.1080/00219266.2004.9655934>
- Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (2003). Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. *Trace Metals and Other Contaminants in the Environment*, 6(C), 3–39. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80131-5](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80131-5)
- Martinelli, N., Olivieri, O., & Girelli, D. (2013). Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review. *European Journal of Internal Medicine*, 24(4), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2013.04.001>
- Mason, B., & Moore, C. (1982). *Principles of Geochemistry*. New York: Wiley.
- Mcdonald, J. S., Hession, M., Rickard, A., Nieuwenhuijsen, M. J., & Kendall, M. (2002). Air Quality Management in UK Local Authorities: Public Understanding and Participation. *Journal of Environmental Planning and Management*, 45(4), 571–590. <https://doi.org/10.1080/09640560220143567>
- Mohiuddin, K., Strezov, V., Nelson, P. F., & Stelcer, E. (2014). Characterisation of trace metals in atmospheric particles in the vicinity of iron and steelmaking industries in Australia. *Atmospheric Environment*, 83, 72–79. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2013.11.011>
- Molina, M. J., & Molina, L. T. (2004). Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 54(6), 644–680. <https://doi.org/10.1080/10473289.2004.10470936>
- Monks, P. S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M. L., Akimoto, H., ... von Glasow, R. (2009, October 1). Atmospheric composition change - global and regional air quality. *Atmospheric Environment*. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021>
- Mosley, S. (2014). Environmental History of Air Pollution and Protection (pp. 143–169). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09180-8_5
- Nali, C., & Lorenzini, G. (2007). Air quality survey carried out by schoolchildren: An innovative tool for urban planning. *Environmental Monitoring and Assessment*, 131(1–3), 201–210. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9468-2>
- Nikolopoulou, M., Kleissl, J., Linden, P. F., & Lykoudis, S. (2011). Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. *Science of the Total Environment*, 409(13), 2493–2502. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.002>

- Nogueira, L., & Mesquita, S. (2018). *Avaliação da qualidade do ar ambiente na região de Lisboa e Vale do Tejo em 2017*.
- Oltra, C., & Sala, R. (2014). *A review of the social research on public perception and engagement practices in urban air pollution*. <https://doi.org/Informe técnico>
- Oltra, C., & Sala, R. (2016). Perception of risk from air pollution and reported behaviors: a cross-sectional survey study in four cities. *Journal of Risk Research*, 21(7), 869–884. <https://doi.org/10.1080/13669877.2016.1264446>
- OMS. (n.d.). *Air Pollution , Climate and Health*. Retrieved from https://www.who.int/sustainable-development/AirPollution_Climate_Health_Factsheet.pdf
- OMS. (2000). *Air quality guidelines for Europe*. WHO.
- OMS. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. WHO.
- OMS. (2018a). Ambient air pollution.
- OMS. (2018b). Fact sheet on the SDGs: Air quality and health. World Health Organization. Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/health-topics/health-policy/sustainable-development-goals/publications/2017/fact-sheets-on-sustainable-development-goals-health-targets/fact-sheet-on-the-sdgs-air-quality-and-health-2018>
- OMS Regional Office for Europe. (2013). Health and environment: communicating the risks. *WHO Regional Office for Europe*, 68. Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/health-and-environment-communicating-the-risks>
- OMS Regional Office for Europe. (2016). Health Risk Assessment of air pollution, 1–40. Retrieved from <http://www.euro.who.int/pubrequest>
- Pandis, S. (2004). Atmospheric aerosol processes. In *Particulate Matter Science for Policy Makers -- A NARSTO Assessment --* (pp. 103–125). Cambridge University Press. Retrieved from <https://www.cambridge.org/es/academic/subjects/earth-and-environmental-science/atmospheric-science-and-meteorology/particulate-matter-science-policy-makers-narsto-assessment?format=HB&isbn=9780521842877>
- Pekney, N. J., Davidson, C. I., Zhou, L., & Hopke, P. K. (2006). Application of PSCF and CPF to PMF-Modeled Sources of PM_{2.5} in Pittsburgh. *Aerosol Science and Technology*, 40(10), 952–961. <https://doi.org/10.1080/02786820500543324>
- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, 287(9), 1132. <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Godleski, J. J. (2003). Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease. *Circulation*,

109(1), 71–77. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F>

Pordata. (2017). Densidade das empresas não financeiras. Retrieved February 20, 2020, from <https://www.pordata.pt/Municipios/Densidade+das+empresas+não+financeiras-920>

Pordata. (2018). Quadro Resumo - Seixal. Retrieved February 20, 2020, from <https://www.pordata.pt/Municipios/Quadro+Resumo/Seixal-251735>

Protano, C., Owczarek, M., Antonucci, A., Guidotti, M., & Vitali, M. (2017). Assessing indoor air quality of school environments: transplanted lichen *Pseudovernia furfuracea* as a new tool for biomonitoring and bioaccumulation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6076-2>

Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Corvalán, C. F., Bos, R., & Neira, M. P. (2016). *Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks*. World Health Organization.

Querol, X., Viana, M., Alastuey, A., Amato, F., Moreno, T., Castillo, S., ... Zabalza, J. (2007). Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmospheric Environment*, 41(34), 7219–7231. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2007.05.022>

Rajper, S. A., Ullah, S., & Li, Z. (2018). Exposure to air pollution and self-reported effects on Chinese students: A case study of 13 megacities. *PLOS ONE*, 13(3), e0194364. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194364>

Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Viana, M.-M., Alarcón, M., Mantilla, E., & Ruiz, C. . (2004). Comparative PM₁₀–PM_{2.5} source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain. *Science of The Total Environment*, 328(1–3), 95–113. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00411-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00411-X)

Saksena, S. (2011). Public Perceptions of Urban Air Pollution Risks. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 2(1), 19–37. <https://doi.org/10.2202/1944-4079.1075>

Sandman, P. M. (1993). *Responding to Community Outrage: Strategies for Effective Risk Communication*. American Industrial Hygiene Association. AIHA. Retrieved from <http://psandman.com/>.

Schmidt, L., & Guerra, J. (2013). *Qualidade do ar: poluição atmosférica, percepções e vulnerabilidades em Lisboa*.

Schmitz, S., Weiland, L., Becker, S., Niehoff, N., Schwartzbach, F., & von Schneidemesser, E. (2018). An assessment of perceptions of air quality surrounding the implementation of a traffic-reduction measure in a local urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 41, 525–537. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.011>

Science for Environmental Policy. (2016). *Links between noise and air pollution and socioeconomic status IN-DEPTH REPORT 13*. European Union (Vol. 29). <https://doi.org/10.2779/200217>

- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Shah, A. S. V., Langrish, J. P., Nair, H., McAllister, D. A., Hunter, A. L., Donaldson, K., ... Mills, N. L. (2013). Global association of air pollution and heart failure: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet*, *382*(9897), 1039–1048. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60898-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60898-3)
- Shepherd, D., Dirks, K., Welch, D., McBride, D., & Landon, J. (2016). The covariance between air pollution annoyance and noise annoyance, and its relationship with health-related quality of life. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *13*(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph13080792>
- Shi, J., Wang, N., Gao, H., Baker, A. R., Yao, X., & Zhang, D. (2019). Phosphorus solubility in aerosol particles related to particle sources and atmospheric acidification in Asian continental outflow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(2), 847–860. <https://doi.org/10.5194/acp-19-847-2019>
- Shooter, D., & Brimblecombe, P. (2009). Air quality indexing. *International Journal of Environment and Pollution*, *36*(1–3), 305–323. <https://doi.org/10.1504/ijep.2009.021834>
- Smallbone, K. (2010). *Individuals' interpretation of Air Quality Information*.
- Srinivas, B., & Sarin, M. M. (2012). Atmospheric pathways of phosphorous to the Bay of Bengal: contribution from anthropogenic sources and mineral dust. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, *64*(1), 17174. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.17174>
- Sylvestre, A., Mizzi, A., Mathiot, S., Masson, F., Jaffrezo, J. L., Dron, J., ... Marchand, N. (2017). Comprehensive chemical characterization of industrial PM_{2.5} from steel industry activities. *Atmospheric Environment*, *152*, 180–190. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2016.12.032>
- Talbi, A., Kerchich, Y., Kerbachi, R., & Boughedaoui, M. (2018). Assessment of annual air pollution levels with PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and associated heavy metals in Algiers, Algeria. *Environmental Pollution*, *232*, 252–263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.041>
- Talwar, S., Mondal, N., & Bhardwaj, S. (2016). Air Pollutants and their Effects on Plants and Human Health. *International Journal of Basic and Applied Biology*, *3*(4), 238–241. <https://doi.org/10.5772/17660>
- ThermoFisher Scientific. (2020). What is XRF (X-ray Fluorescence) and How Does it Work? Retrieved December 7, 2020, from <https://www.thermofisher.com/blog/ask-a-scientist/what-is-xrf-x-ray-fluorescence-and-how-does-it-work/>
- Timonen, K. L., & Pekkanen, J. (1997). Air pollution and respiratory health among children with asthmatic or cough symptoms. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *156*(2), 546–552. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.156.2.9608044>
- Török, Z., Huszánk, R., Csedreki, L., Dani, J., Szoboszlai, Z., & Kertész, Z. (2015). Development of a new in-air micro-PIXE set-up with in-vacuum charge measurements in Atomki. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and*

- Atoms*, 362, 167–171. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.09.062>
- UN. (2015). Sustainable Development Goals .. Sustainable Development Knowledge Platform. Retrieved March 9, 2020, from <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>
- UN. (2018). 2018 Revision of World Urbanization Prospects. *Department of Economic and Social Affairs*, 1. Retrieved from <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- University of Antwerp. (2020). AIRbezen. Retrieved April 8, 2020, from <https://www.uantwerpen.be/en/projects/airbezen/>
- Vallero, D. (2014). *Fundamentals of air pollution, fifth edition. Fundamentals of Air Pollution, Fifth Edition*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401733-7.01001-X>
- van den Elshout, S. (2007). Communicating air quality: a guidebook on communication with the public about air quality. *Report to INTERREG IIIC*, 124.
- Voutsas, D., Samara, C., Kouimtzi, T., & Ochsenkühn, K. (2002). Elemental composition of airborne particulate matter in the multi-impacted urban area of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, 36(28), 4453–4462. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00411-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00411-9)
- Wakefield, S. E. L., Elliott, S. J., Cole, D. C., & Eyles, J. D. (2001). Environmental risk and (re)action: Air quality, health, and civic involvement in an urban industrial neighbourhood. *Health and Place*, 7(3), 163–177. [https://doi.org/10.1016/S1353-8292\(01\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S1353-8292(01)00006-5)
- Watson, A. Y., Bates, R. R., & Kennedy, D. (1988). Atmospheric Transport and Dispersion of Air Pollutants Associated with Vehicular Emissions.
- Widory, D., Liu, X., & Dong, S. (2010). Isotopes as tracers of sources of lead and strontium in aerosols (TSP & PM_{2.5}) in Beijing. *Atmospheric Environment*, 44(30), 3679–3687. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.036>
- Winkler, A., Contardo, T., Vannini, A., Sorbo, S., Basile, A., & Loppi, S. (2020). Magnetic Emissions from Brake Wear are the Major Source of Airborne Particulate Matter Bioaccumulated by Lichens Exposed in Milan (Italy). *Applied Sciences*, 10(6), 2073. <https://doi.org/10.3390/app10062073>
- Wolterbeek, B. (2002). Biomonitoring of trace element air pollution: Principles, possibilities and perspectives. In *Environmental Pollution* (Vol. 120, pp. 11–21). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00124-0)
- Yang, J., Zhou, Q., Liu, X., Liu, M., Qu, S., & Bi, J. (2018). Biased perception misguided by affect: How does emotional experience lead to incorrect judgments about environmental quality? *Global Environmental Change*, 53, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.007>
- Yatkin, S., & Bayram, A. (2008). Determination of major natural and anthropogenic source profiles for particulate matter and trace elements in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 71(4), 685–696. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2007.10.070>
- Yue, D., Hu, M., Wu, Z., Wang, Z., Guo, S., Wehner, B., ... Liu, S. (2009). Characteristics of aerosol

size distributions and new particle formation in the summer in Beijing. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(14), D00G12. <https://doi.org/10.1029/2008JD010894>

Zhang, R., Wang, G., Guo, S., Zamora, M. L., Ying, Q., Lin, Y., ... Wang, Y. (2015). Formation of Urban Fine Particulate Matter. *Chemical Reviews*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00067>

Zhou, C., Li, S., & Wang, S. (2018). Examining the impacts of urban form on air pollution in developing countries: A case study of China's megacities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081565>

Zunckel, M., Diab, R., & Naidoo, M. (2008). *Introduction to types and sources of air pollutants*.

Anexos

Anexo A – Questionário sobre a perceção da qualidade do ar em Portugal

Caracterização do participante

I. Distrito da residência*

- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Aveiro | <input type="radio"/> Lisboa |
| <input type="radio"/> Beja | <input type="radio"/> Portalegre |
| <input type="radio"/> Braga | <input type="radio"/> Porto |
| <input type="radio"/> Bragança | <input type="radio"/> Santarém |
| <input type="radio"/> Castelo Branco | <input type="radio"/> Setúbal |
| <input type="radio"/> Coimbra | <input type="radio"/> Viana do Castelo |
| <input type="radio"/> Évora | <input type="radio"/> Vila Real |
| <input type="radio"/> Faro | <input type="radio"/> Viseu |
| <input type="radio"/> Guarda | <input type="radio"/> Região Autónoma da Madeira |
| <input type="radio"/> Leiria | <input type="radio"/> Região Autónoma dos Açores |

II. Concelho da residência*: _____

III. Freguesia da residência*: _____

IV. Código-postal da residência*: _____

V. Tipo de habitação*

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="radio"/> Vivenda | <input type="radio"/> Apartamento |
|-------------------------------|-----------------------------------|

VI. Caso seja apartamento, qual o andar:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| <input type="radio"/> Rés-do-chão | <input type="radio"/> 1º andar |
| <input type="radio"/> 2º andar | <input type="radio"/> 3º andar |
| <input type="radio"/> Outra: _____ | |

VII. A sua casa está situada numa zona*

- | | | | | | | |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Sem trânsito | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Muito trânsito |

VIII. A sua casa está situada numa zona*

- | | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Sem trânsito Muito trânsito

IX. Idade* _____

X. Género*

Feminino Masculino Prefiro não responder

XI. Nível de instrução mais elevado que concluiu*

Sem grau de instrução 1º Ciclo do Ensino Básico
 2º Ciclo do Ensino Básico 3º Ciclo do Ensino Básico
 Ensino Secundário Licenciatura
 Mestrado Doutoramento

XII. Condição perante o trabalho*

Ativo Reformado
 Desempregado Estudante
 Tarefas do Lar Outra: _____

XIII. Atual profissão ou última que exerceu*: _____

XIV. Em média, qual o seu salário mensal? *

Menos 300€ 300-635€
 636-900€ 901-1000€
 1001-2000€ 2001-3000€
 Não se aplica Prefiro não responder

XV. Número de pessoas do agregado familiar (contando consigo) *: _____

XVI. Número de pessoas do agregado familiar com menos de 12 anos* : _____

XVII. Número de pessoas do agregado familiar com idade compreendida entre os 12 e 18 anos* _____

XVIII. É fumador? *

Sim Não

XIX. Selecione as doenças/problemas de saúde que tenha*

Eczema Asma
 Enxaqueca Alergia
 Colesterol Hipertensão arterial

- | | |
|---|---|
| <input type="radio"/> Diabetes | <input type="radio"/> Depressão |
| <input type="radio"/> Ansiedade | <input type="radio"/> Problemas cardíacos |
| <input type="radio"/> Problemas respiratórios | <input type="radio"/> Problemas psiquiátricos |
| <input type="radio"/> Não aplicável | <input type="radio"/> Outra: _____ |

XX. Meio(s) de transporte que utiliza com maior frequência*

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> Carro | <input type="radio"/> Autocarro |
| <input type="radio"/> Barco | <input type="radio"/> Comboio |
| <input type="radio"/> Metro | <input type="radio"/> Bicicleta |
| <input type="radio"/> Mota | <input type="radio"/> A pé |
| <input type="radio"/> Táxi | <input type="radio"/> Outra: _____ |

Perceção sobre a qualidade do ar

XXI. Qual o seu grau de preocupação com os seguintes problemas na sua zona de residência? *

	1 – Nenhuma	2 – Pouca	3 – Alguma	4 - Muita
Trânsito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limpeza e higiene urbana	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gestão de resíduos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gestão de esgotos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Poluição do ar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ruído	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Excesso de construção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de espaços verdes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

XXII. Como classifica a QA?*

	1 – Muito má	2 – Má	3 – Razoável	4 - Boa	5-Muito Boa
Em Portugal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

No seu concelho
No seu bairro

XXIII. De acordo com a sua opinião, a QA na sua zona de residência está a *

Piorar Manter Melhorar

XXIV. De acordo com a sua opinião, quais são as fontes de poluentes que mais impacto têm na QA da sua zona de residência? *

- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> Automóveis | <input type="radio"/> Autocarros |
| <input type="radio"/> Camiões | <input type="radio"/> Motas |
| <input type="radio"/> Barcos | <input type="radio"/> Tráfego aéreo |
| <input type="radio"/> Lareiras e outros dispositivos de aquecimento doméstico com queima de biomassa | <input type="radio"/> Incêndios |
| <input type="radio"/> Queimadas | <input type="radio"/> Agricultura |
| <input type="radio"/> Atividades de confeção de alimentos | <input type="radio"/> Resíduos sólidos (aterros, incineradores, lixeiras) |
| <input type="radio"/> Tratamento de águas residuais | <input type="radio"/> Indústria |
| <input type="radio"/> Produção e distribuição de energia | <input type="radio"/> Construção |
| <input type="radio"/> Fumo dos cigarros | <input type="radio"/> Outra: _____ |

XXV. Qual ou quais os poluentes atmosféricos que o preocupam mais?

XXVI. Comparando com o ar exterior, a Qualidade do Ar Interior em sua casa parece-lhe *

Piorar Manter Melhorar

XXVII. Indique as principais fontes que afetam a Qualidade do Ar Interior em sua casa

Efeitos da Qualidade do Ar

XXVIII. Sente-se afetado pela Qualidade do Ar?*

Sim Não

XXIX. Se sim, de que forma?

- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> Irritação nos olhos | <input type="radio"/> Irritação no nariz |
| <input type="radio"/> Espirros | <input type="radio"/> Garganta seca ou irritação na garganta |
| <input type="radio"/> Tosse | <input type="radio"/> Dificuldade em respirar |
| <input type="radio"/> Dores de cabeça | <input type="radio"/> Problemas de pele |
| <input type="radio"/> Alergias | <input type="radio"/> Sensação de depressão |
| <input type="radio"/> Diminuição da visibilidade exterior (nevoeiro) | <input type="radio"/> Cheiro desagradável no exterior da casa |
| <input type="radio"/> Cheiro desagradável no interior da casa | <input type="radio"/> Deposição de partículas nas varandas |
| <input type="radio"/> Degradação de bens materiais | <input type="radio"/> Preocupação com a sua saúde |
| <input type="radio"/> Preocupação com a saúde das crianças | <input type="radio"/> Outra: _____ |

XXX. Identificou a origem do mal-estar? *

- Sim Não

XXXI. Se sim, indique a origem do mal-estar _____

XXXII. Faz alterações na sua vida devido à degradação da Qualidade do Ar?

- Sim Não

XXXIII. Se sim, que tipo de alterações?

- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> Realiza menos atividades ao ar livre | <input type="radio"/> Evita determinados horários para realizar atividades ao ar livre |
| <input type="radio"/> Permanece mais tempo em casa | <input type="radio"/> Evita abrir as janelas de casa |
| <input type="radio"/> Sente necessidade de lavar as mãos e a cara com mais frequência | <input type="radio"/> Bebe mais água do que o habitual |
| <input type="radio"/> Usa purificadores em casa | <input type="radio"/> Pensa em mudar a área de residência |
| <input type="radio"/> Tenta informar-se mais sobre a Qualidade do Ar | <input type="radio"/> Usa um meio de transporte diferente |
| <input type="radio"/> Outra: _____ | |

Informação sobre a Qualidade do Ar

XXXIV. Sente-se informado sobre a Qualidade do Ar na sua área de residência? *

- | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Nada informado | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Muito informado |

XXXV. Onde obtém informações sobre a Qualidade do Ar? *

- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> Televisão | <input type="radio"/> Rádio |
| <input type="radio"/> Jornais e revistas | <input type="radio"/> Internet |
| <input type="radio"/> Painéis informativos eletrónicos | <input type="radio"/> Grupos ambientalistas |
| <input type="radio"/> Serviços de saúde | <input type="radio"/> Câmara municipal |
| <input type="radio"/> Junta de freguesia | <input type="radio"/> Ministério do Ambiente |
| <input type="radio"/> Qualar | <input type="radio"/> Vizinhos / Colegas / Amigos |
| <input type="radio"/> Não consigo obter informação | <input type="radio"/> Outra: _____ |

XXXVI. Gostaria de ter mais informação sobre a Qualidade do Ar? *

- Sim Não

Controlo da Poluição Atmosférica

XXXVII. Na sua opinião, que grau de prioridade atribui às seguintes medidas de melhoria da Qualidade do Ar? *

	1 (mínima)	2	3	4	5 (máxima)
Fazer leis mais rígidas para a redução de poluentes atmosféricos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumentar a fiscalização para fazer cumprir as leis existentes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Melhorar os transportes públicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumentar as redes pedonais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumentar as ciclovias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumentar a partilha de automóveis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aumentar os benefícios fiscais para os carros elétricos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Melhorar a rede de carregamento para carros elétricos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reduzir o número de carros nas cidades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reduzir os limites de velocidade nas cidades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitar o estacionamento nas cidades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumentar o estacionamento na periferia das cidades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Criar espaços verdes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realizar ações de sensibilização sobre a QA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Participação no projeto de morangueiros

XXXVIII. Está a participar no estudo de biomonitorização com morangueiros na União de Freguesias do Seixal, Arrentela, e Aldeia de Paio Pires? *

Sim Não

XXXIX. Se respondeu sim, porque decidiu participar no estudo?

Preocupação com a Qualidade do Ar a Membros da câmara Municipal do Seixal ou da União de Freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires

Simpatia Ciência

Outra: _____

Anexo B – Exemplo das notícias sobre a situação verificada no Seixal

1. **Título:** Poluição da Siderurgia assusta a população de Paio Pires

Data de publicação: 16 de janeiro de 2019

Jornal: Correio da Manhã

Link: <https://www.cmjornal.pt/sociedade/detalhe/poluicao-de-siderurgia-assusta-aldeia-de-paio-pires>

2. **Título:** Câmara do Seixal empenhada em acabar com o “pó branco e escuro” em Paio Pires

Data de publicação: 29 de janeiro de 2019

Jornal: Sábado

Link: <https://www.sabado.pt/portugal/detalhe/camara-do-seixal-empenhada-em-acabar-com-o-po-branco-e-po-escuro-em-paio-pires>



3. **Título:** “Se é tão difícil de tirar dos carros, o que fará aos nossos pulmões?”

Data de publicação: 30 de janeiro de 2019

Jornal: Jornal i

Link: <https://online.sapo.pt/artigo/644397/-se-e-tao-dificil-de-tirar-dos-carros-o-que-fara-aos-nossos-pulmoes-fotogaleria?seccao=Portugal>



4. **Título:** Pó branco e pó preto alarmam Paio Pires no Seixal

Data de publicação: 30 de janeiro de 2019

Jornal: TVI24

Link: <https://tvi24.iol.pt/sociedade/poluicao/po-branco-e-po-preto-alarmam-paio-pires-no-seixal>

5. **Título:** Câmara do Seixal exige tolerância zero à poluição industrial

Data de publicação: 1 de fevereiro de 2019

Jornal: Abril Abril

Link: <https://www.abrilabril.pt/local/camara-do-seixal-exige-tolerancia-zero-poluicao-industrial>

6. **Título:** Contaminados de Paio Pires vão dar sacos com limalhas e pó branco aos deputados

Data de publicação: 13 de fevereiro de 2019

Jornal: Diário de Notícias

Link: <https://www.dn.pt/cidades/contaminados-do-seixal-vaio-dar-sacos-com-limalhas-e-po-branco-aos-deputados-10574610.html>



7. **Título:** Poeira negra que cobre Paio Pires não é nociva para a saúde. Origem permanece desconhecida

Data de publicação: 11 de maio de 2019

Jornal: Público

Link: <https://www.publico.pt/2019/05/11/local/noticia/poeira-negra-cobre-paio-pires-nao-inalavel-sao-precisos-estudos-saber-onde-vem-1872369>



8. **Título:** Seixal avança com o estudo dos poluentes atmosféricos

Data de publicação: 3 de fevereiro de 2020

Jornal: Facebook da CMS

Link: <https://www.facebook.com/municipioseixal/videos/526726507960555>

Anexo C – Folheto informativo distribuído na sessão de esclarecimento

ESTUDO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS



RECEBA UM MORANGUEIRO E PARTICIPE!



A Câmara Municipal do Seixal e o Instituto Superior Técnico estão a desenvolver um trabalho de avaliação de poluentes atmosféricos na união das freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires.

Uma das ações deste estudo é o mapeamento de poluentes atmosféricos recorrendo a morangueiros, que vão ser distribuídos à população. É que as folhas de morangueiro absorvem os poluentes na atmosfera.

Depois de um período de 75 dias expostas ao ar, as folhas dos morangueiros serão recolhidas e a sua composição química será analisada. Isso permitirá estudar a distribuição de poluentes e construir mapas.

COMO CUIDAR DO MORANGUEIRO: O QUE FAZER?

Onde devo colocar o morangueiro?

- No exterior de casa;
- De preferência, à altura do primeiro andar (ou no piso térreo);
- Num parapeito da janela, do lado da rua;
- Ou num terraço.

Como cuidar do morangueiro?

- Escolha um local fresco, que não receba luz solar direta, e mantenha as raízes húmidas, mas não encharcadas;
- Não regue as folhas (para garantir que a acumulação de matéria particulada não é afetada);
- Não fertilize o morangueiro (pois pode influenciar os resultados);
- Não transplante.

Durante quanto tempo o morangueiro deve ficar exposto?

- Durante 75 dias. No final do tempo de exposição, o participante será contactado através de telefone ou email.





Como devo colher as amostras de folhas?

- O participante deve colher cinco ramos do seu morangueiro;
- Um ramo consiste em três folhas, com uma haste;
- Deve colher o ramo pegando cuidadosamente pelo caule, sem tocar na superfície das folhas.



Que folhas devo colher?

- Devem ser colhidas as folhas maiores (pois são as folhas que estão na planta há mais tempo e, portanto, tiveram maior exposição);
- São precisos cinco ramos não danificados;
- As folhas mais velhas, com apenas uma leve descoloração nas bordas, também são elegíveis, mas as folhas mortas e desidratadas devem ser descartadas.



Onde devo colocar as folhas colhidas?

- O participante coloca as folhas colhidas num envelope fornecido pela equipa do projeto. Os envelopes são codificados e identificados com a morada do participante.



O que devo fazer ao envelope?

- Num dia predeterminado, o participante deverá entregar o envelope numa das instalações da União das Freguesias do Seixal, Arrentela e Aldeia de Paio Pires;
- O participante deve colher as folhas no dia de entrega no ponto de recolha. Desta forma, as amostras permanecem frescas.



Que destino devo dar ao morangueiro?

- Após este processo, a planta permanecerá propriedade do participante.

Mais informações através do telefone 219 946 156 ou do email qualidadedoar@ctn.tecnico.ulisbos.pt



cm-seixal.pt

Fotografias: Projeto Airbenzen e Câmara Municipal do Seixal (capa)

Anexo D – Caracterização demográfica e social do grau de preocupação com a Qualidade do Ar

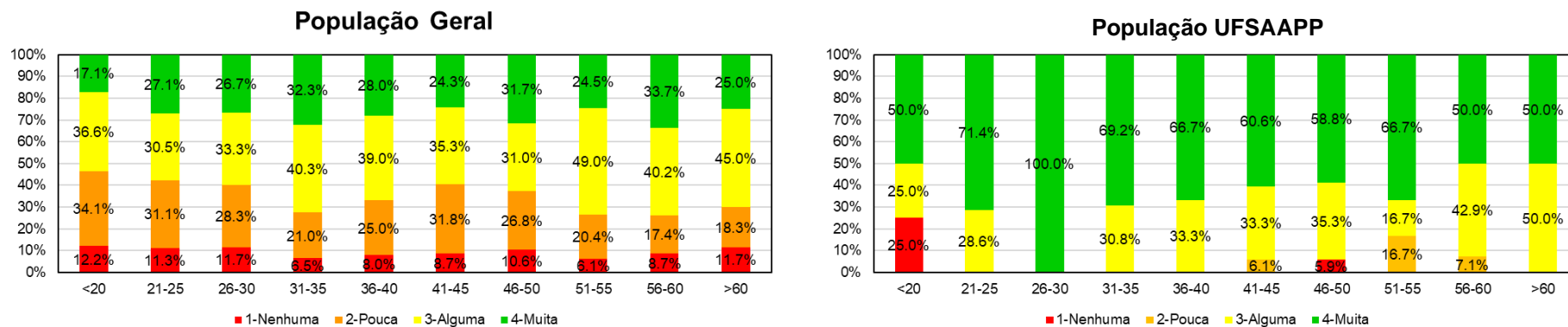


Figura 39 – Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por faixa etária

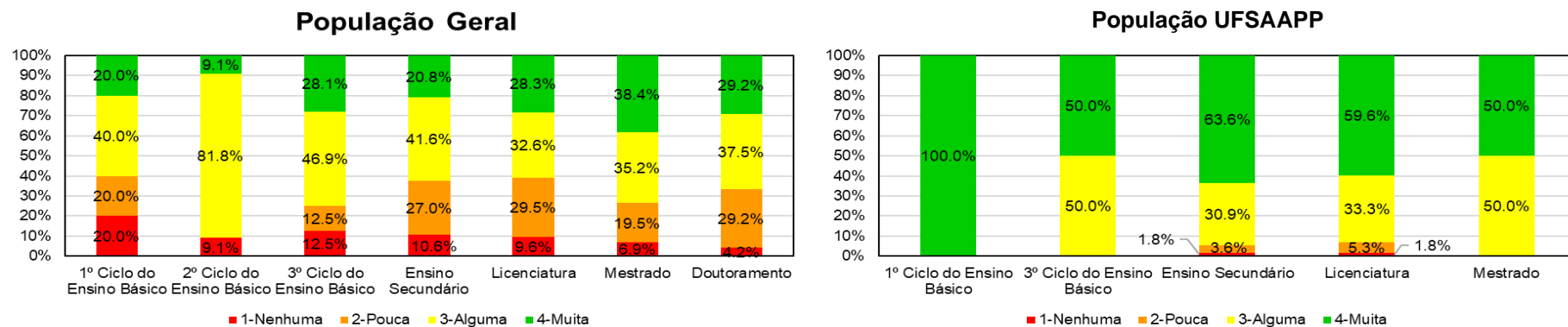


Figura 40 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por nível de educação

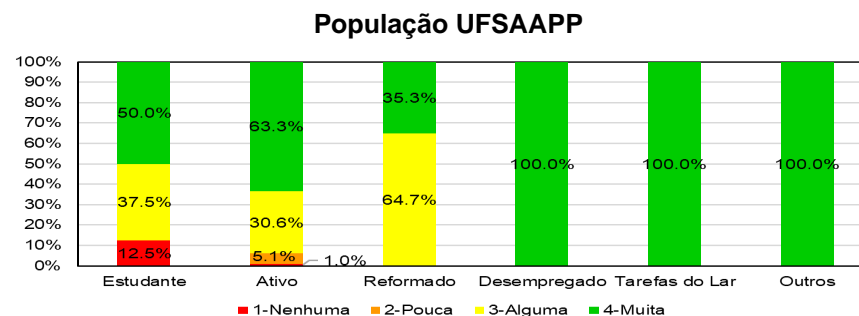
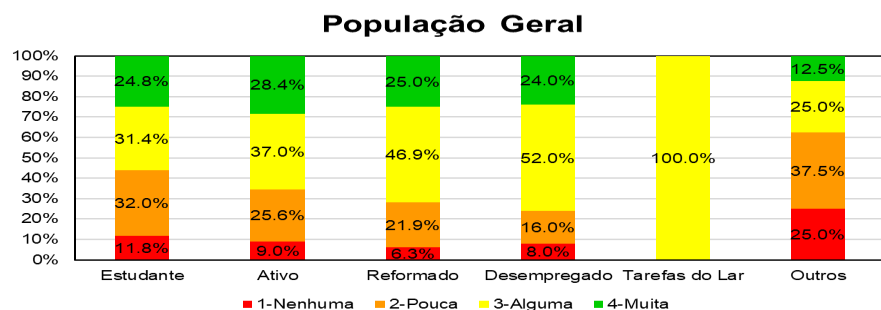


Figura 41 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por condição de trabalho

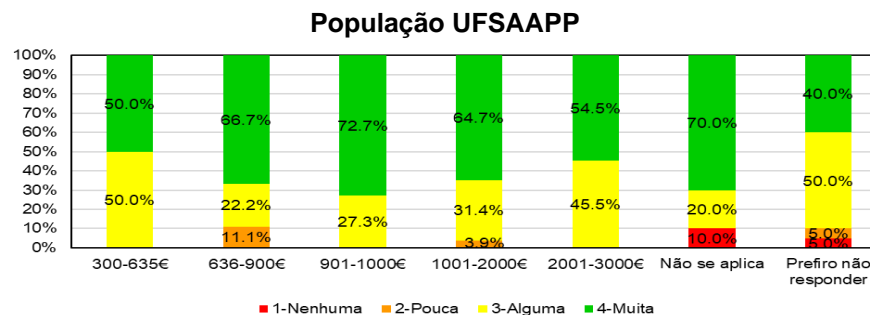
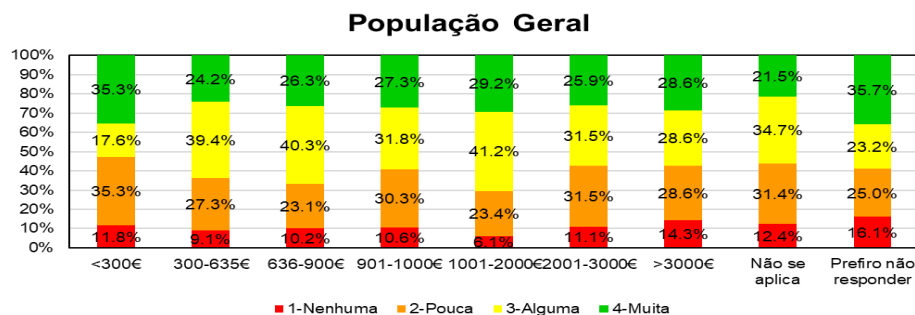


Figura 42 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAPP relativamente à QA, discriminado por rendimento

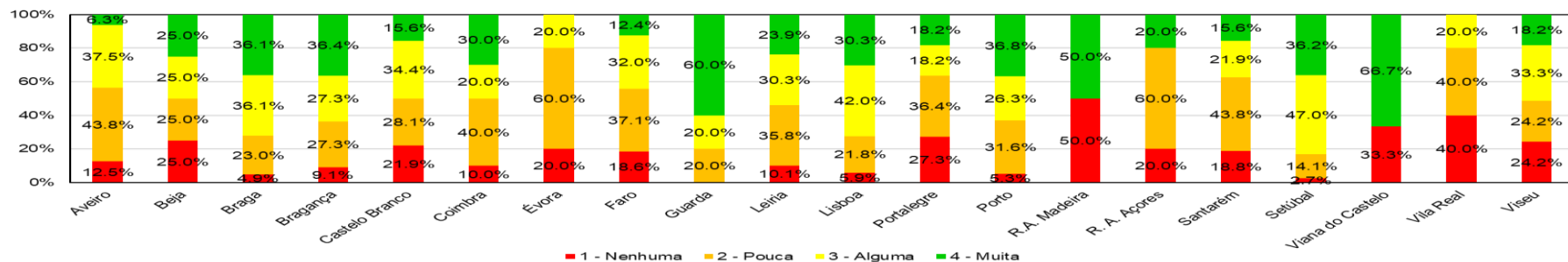


Figura 43 - Grau de preocupação da população geral relativamente à QA, discriminado por distrito de residência

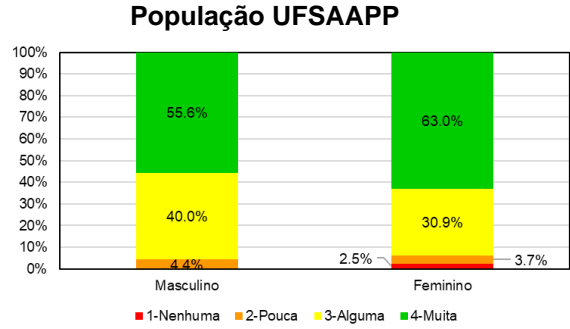
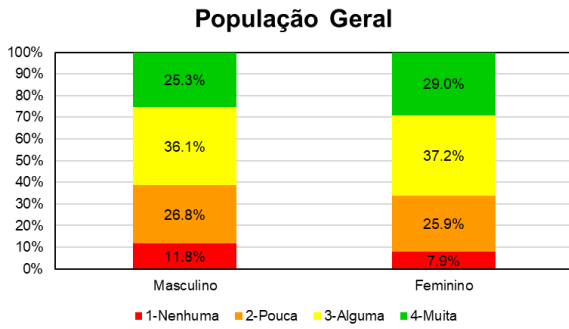


Figura 44 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAP relativamente à QA, discriminado por género

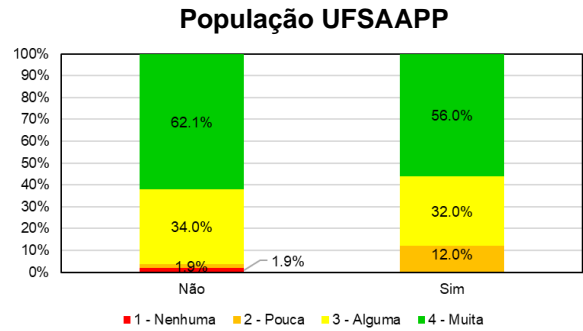
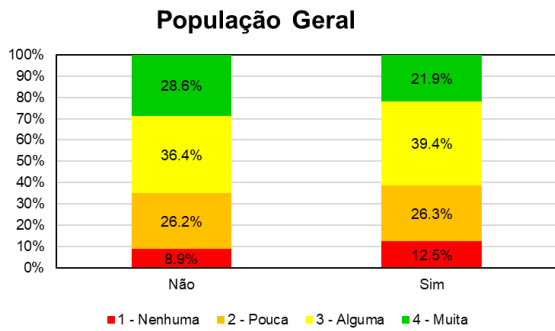


Figura 45 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAP relativamente à QA, discriminado por ser fumador

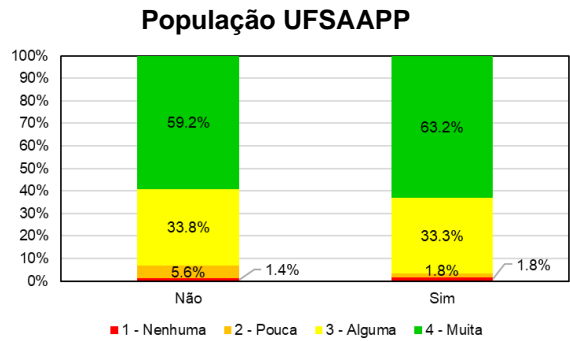
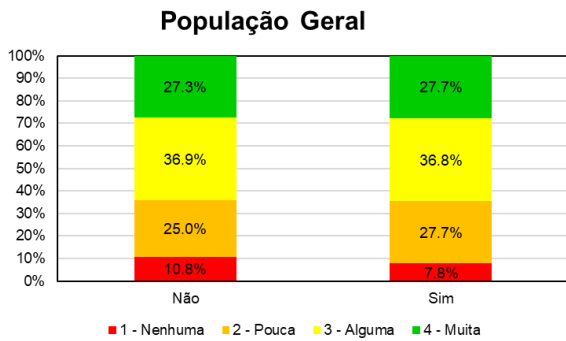


Figura 46 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAP relativamente à QA, discriminado por ter crianças no agregado familiar

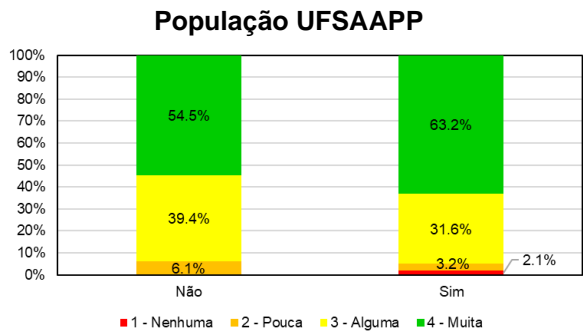
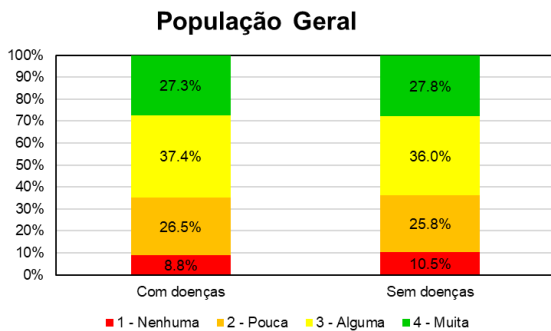


Figura 47 - Grau de preocupação da população geral e da UFSAAP relativamente à QA, discriminado pela presença de doenças

Anexo E – Caracterização demográfica e social da avaliação da Qualidade do Ar

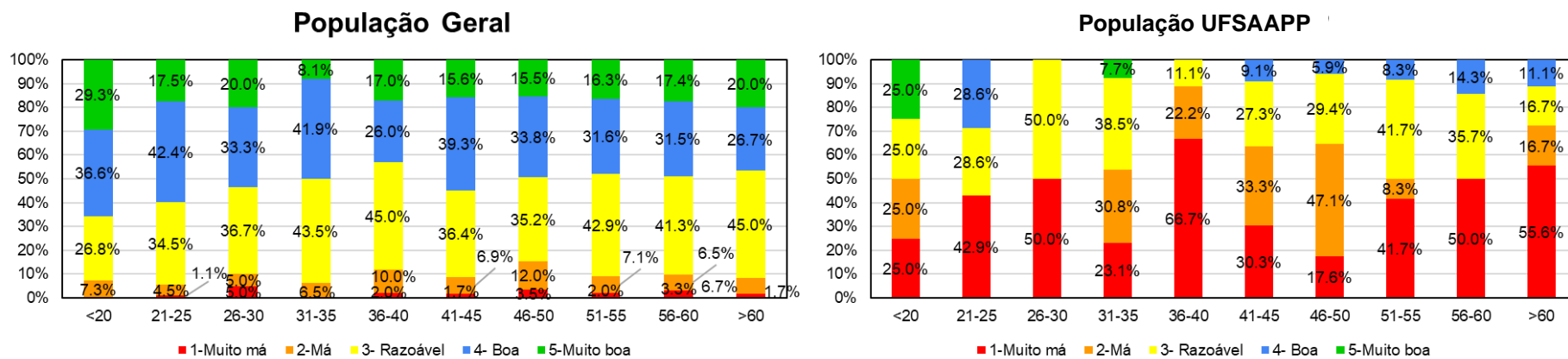


Figura 48 – Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por faixa etária

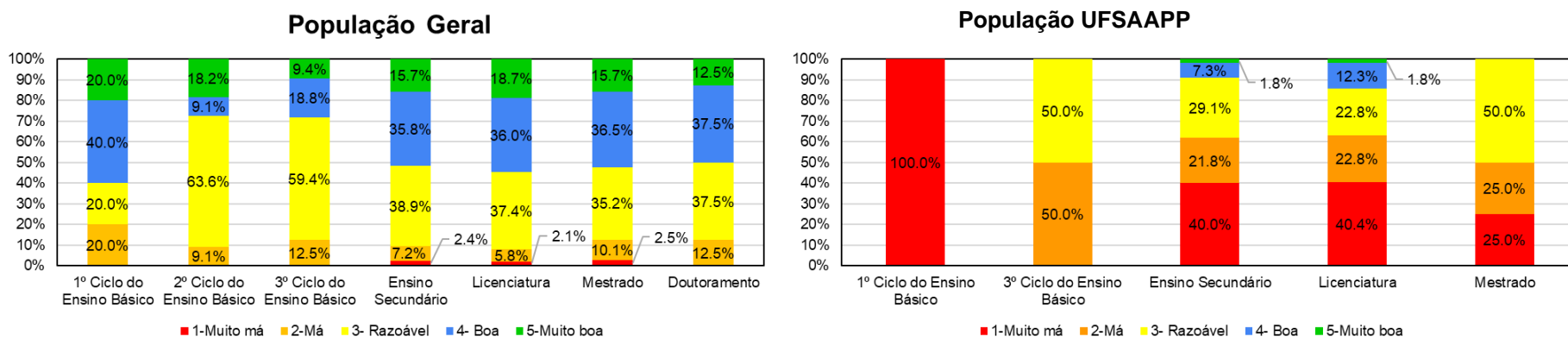


Figura 49 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por nível de educação

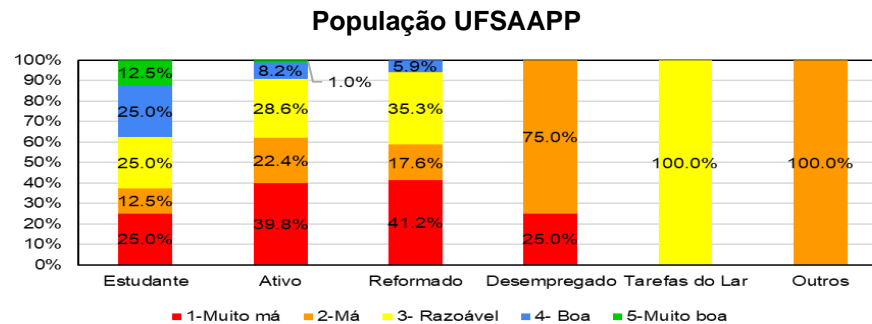
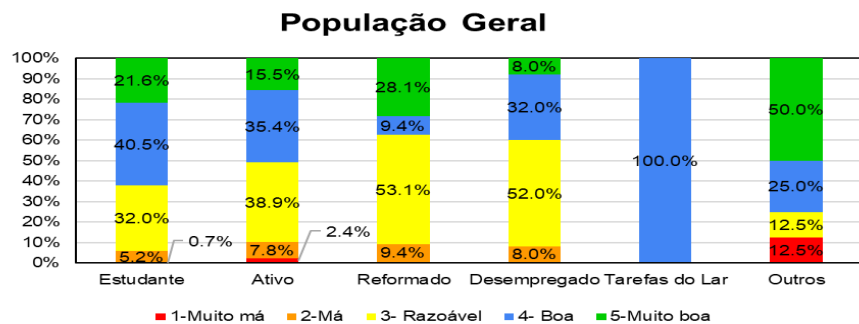


Figura 50 – Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por condição de trabalho

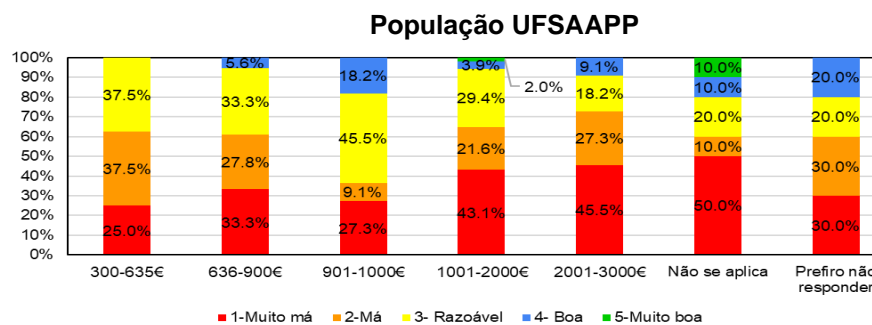
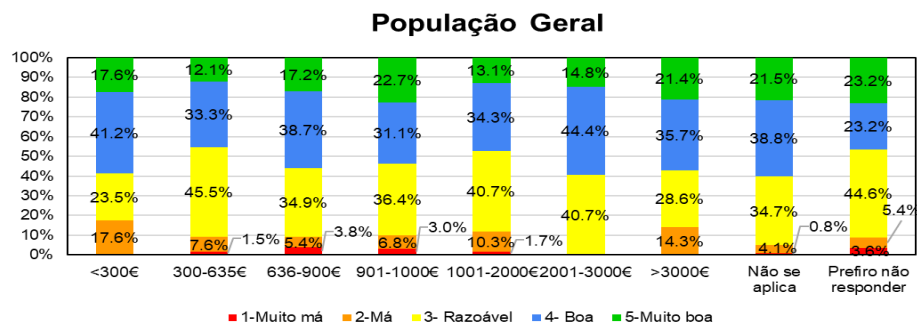


Figura 51 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e UFSAAPP, discriminado por rendimento

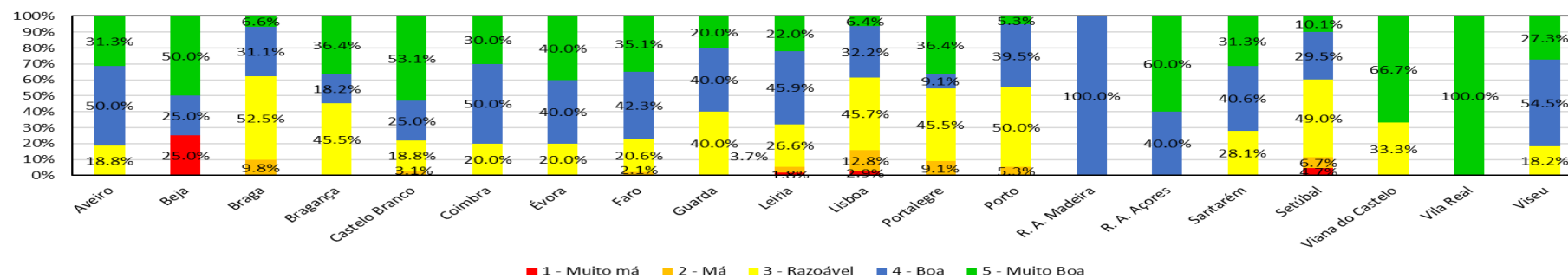


Figura 52 – Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral, discriminado por distrito de residência

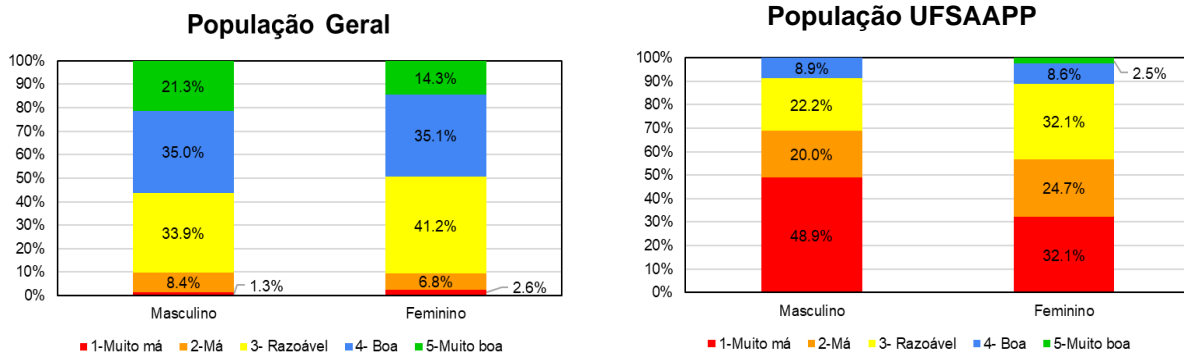


Figura 53 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por género

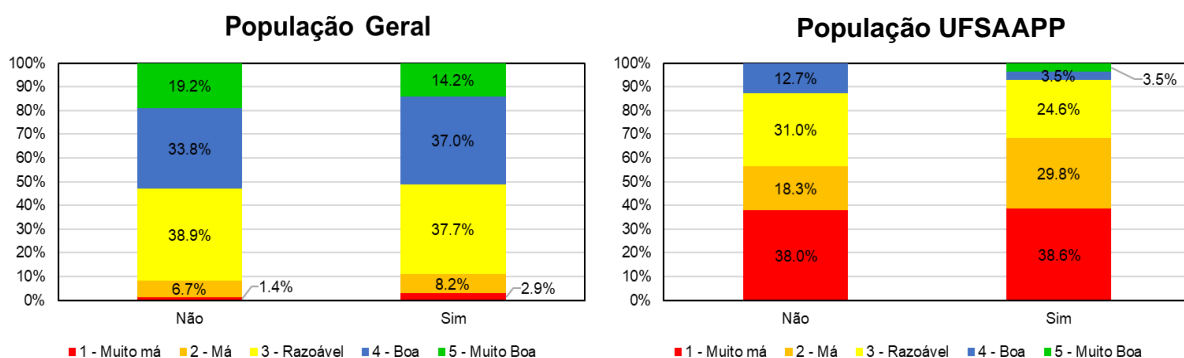


Figura 54 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por ser fumador

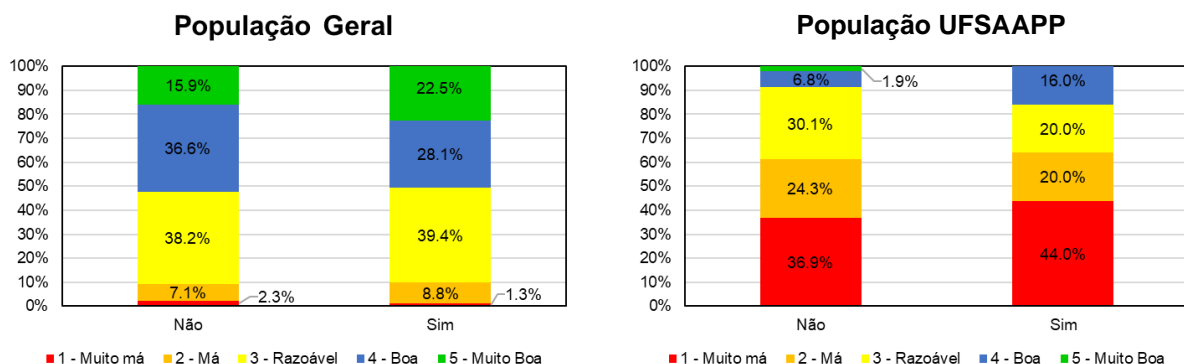


Figura 55 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado por ter crianças no agregado

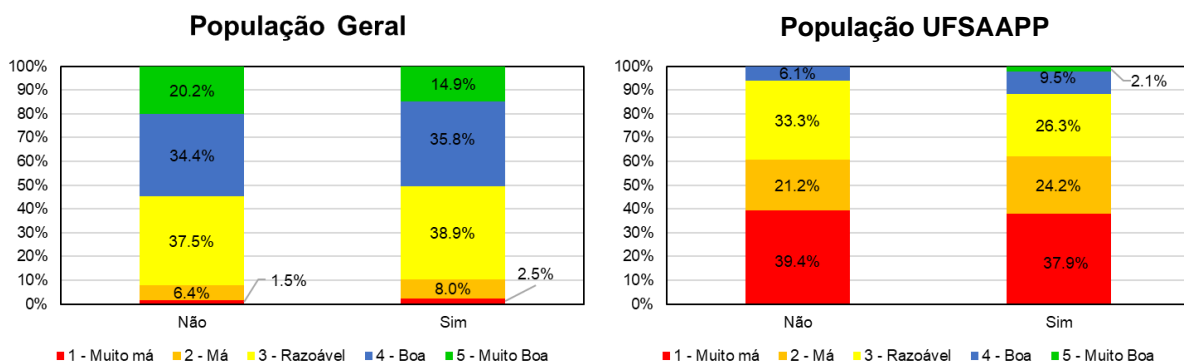


Figura 56 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado pela presença de doenças

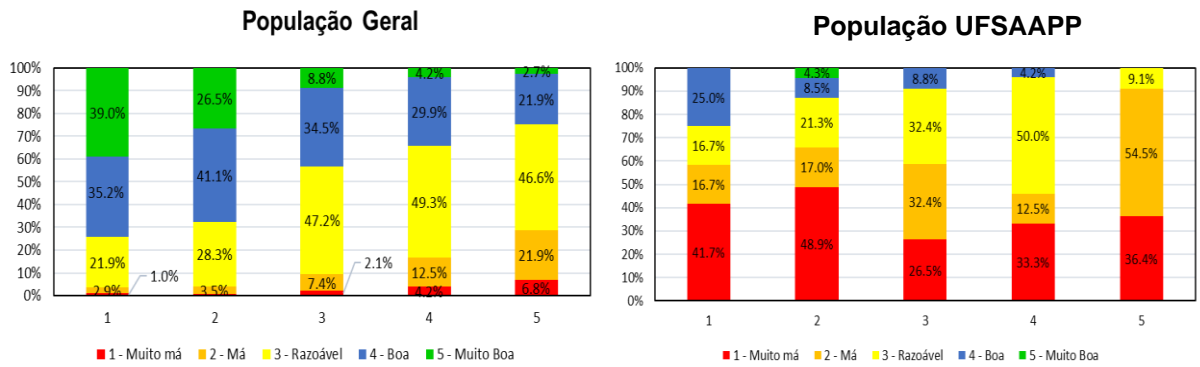


Figura 57 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado pela presença de trânsito em que a classificação varia entre 1 (sem trânsito) e 5 (muito trânsito)

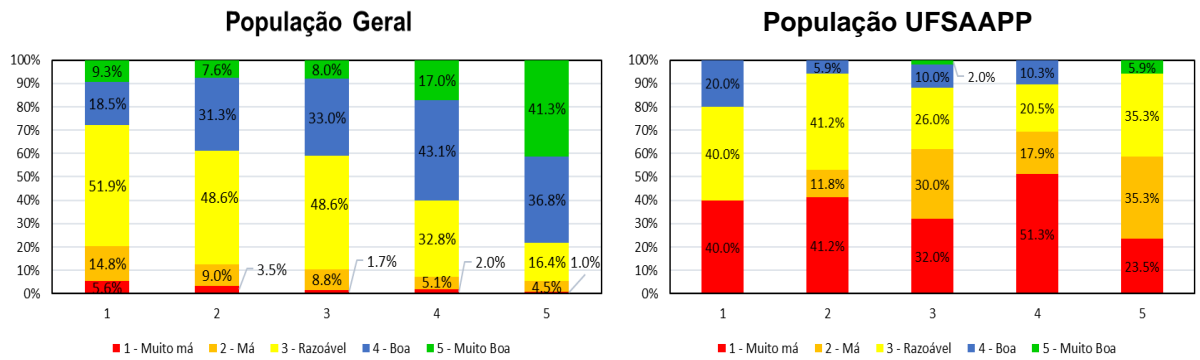


Figura 58 - Avaliação da QA, ao nível do bairro, na população geral e da UFSAAPP, discriminado pela presença de áreas verdes em que a classificação varia entre 1 (sem espaços verdes) e 5 (com muitos espaços verdes)

Anexo F – Frações mássicas dos diferentes tipos de ambientes obtidos a partir da literatura

Tabela 7 – Frações mássicas dos diferentes tipos de ambientes obtidos a partir da literatura, onde *n* representa o número de artigos considerados

	Fração mássica ($\mu\text{g.g}^{-1}$)					
	Urbano		Rural		Industrial com siderurgia	
	$\bar{x} \pm \sigma$	<i>n</i>	$\bar{x} \pm \sigma$	<i>n</i>	$\bar{x} \pm \sigma$	<i>n</i>
Al	8080 ± 5490	10	7530 ± 1260	2	10500 ± 9600	6
Ba	938 ± 399	5	839 ± 673	2	404 ± 164	3
Br	293 ± 150	5	n/a	0	629 ± 109	2
Ca	22300 ± 11200	10	20800 ± 18800	3	146000 ± 206000	6
Cd	8.65 ± 3.89	8	12.3 ± 10.2	3	234 ± 412	8
Cl	29400 ± 20200	6	15800	1	96700	1
Co	4.13 ± 1.11	3	7.88	1	160 ± 169	6
Cr	137 ± 19	5	86.7	1	929 ± 2074	11
Cu	981 ± 599	10	327 ± 232	4	1210 ± 1700	9
Fe	25000 ± 12100	10	8400 ± 1800	3	134000 ± 127000	10
Ga	4.42 ± 2.93	7	2.95 ± 107	2	22.5 ± 13.4	2
Ge	14.0 ± 14.4	3	n/a	0	5.00	1
Hf	n/a	0	n/a	0	5.00	1
K	10200 ± 3300	10	8270 ± 1040	3	20500 ± 25500	7
Mg	4750 ± 3290	9	4170 ± 990	3	16100 ± 12200	6
Mn	381 ± 117	10	200 ± 38	4	4010 ± 5000	11
Na	22100 ± 13300	10	16400 ± 4700	3	19800 ± 18000	7
Nb	19.2 ± 5.5	3	n/a	0	3.00	1
Ni	92.5 ± 24.3	10	124 ± 73	4	1350 ± 2660	10
P	623 ± 128	5	1580 ± 820	2		0
Pb	602 ± 382	10	473 ± 271	3	12600 ± 29200	8
S	36700 ± 14300	6	n/a	0	255000	1
Se	29.5 ± 31.2	9	16.9 ± 4.9	3	32.0 ± 48.6	3
Si	28300 ± 11600	6	n/a	0	33500 ± 45100	2
Sr	161 ± 104	5	153 ± 105	2	282 ± 362	5
Ti	826 ± 209	6	824 ± 119	2	1240 ± 1440	8
V	117 ± 78	10	72.0 ± 19.9	3	203 ± 137	9
Zn	1800 ± 990	6	1250 ± 160	2	43600 ± 9950	11
Zr	168 ± 93	4	n/a	0	49.3 ± 15.6	3.0

Anexo G – Frações mássicas médias para as partículas depositadas na estrada

Tabela 8 - Frações mássicas médias para as partículas depositadas na estrada em dois países diferentes, República Checa (PDE1) e Portugal (PDE2), onde n representa o número de amostras consideradas

	Fração mássica ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
	PDE1		PDE2	
	$\bar{x} \pm \sigma$	<i>n</i>	$\bar{x} \pm \sigma$	<i>n</i>
Al	n/a	n/a	32600 \pm 21700	7
Ba	n/a	n/a	919 \pm 369	7
Ca	n/a	n/a	33400 \pm 47900	7
Co	n/a	n/a	6.00	1
Cr	548 \pm 109	8	69.0	1
Cu	101 \pm 21	8	1200 \pm 1050	7
Fe	43300 \pm 3900	8	38200 \pm 12400	7
Ga	n/a	n/a	24.0	1
Ge	n/a	n/a	4.33 \pm 3.06	7
Hf	n/a	n/a	4.00	1
K	n/a	n/a	13900 \pm 12600	7
Mg	n/a	n/a	2550 \pm 1420	7
Mn	1520 \pm 250	8	326 \pm 113	7
Na	n/a	n/a	7000 \pm 5830	7
Nb	n/a	n/a	19.7 \pm 26.4	7
Ni	29.4 \pm 2.0	8	5.00	1
P	n/a	n/a	661 \pm 563	7
Pb	30.1 \pm 3.9	8	227 \pm 187	7
S	n/a	n/a	3110 \pm 1540	7
Si	279000 \pm 5000	8	n/a	n/a
Sr	n/a	n/a	52.9 \pm 35.5	7
Ti	3000 \pm 190	8	1410 \pm 610	7
V	69.1 \pm 4.0	8	18.8 \pm 14.3	7
Zn	264 \pm 33	8	1390 \pm 1100	7
Zr	n/a	n/a	100	7

Anexo H – Frações mássicas médias dos elementos químicos nas amostras de folhas de morangueiro

Tabela 9 – Frações mássicas médias dos elementos químicos nas amostras de folhas de morangueiro, onde *n* representa o número de amostras analisadas para cada elemento

Tipos	Elementos	n	Frações mássicas ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
			Média $\pm \sigma$	Min	Máx	%
Principais	Ca	48	102000 \pm 148000	53000	129000	50.7
	K	48	67900 \pm 22000	36500	126000	33.8
	Mg	48	6810 \pm 1120	4580	9960	3.4
	Cl	48	6080 \pm 4930	1010	29750	3.0
	Si	48	3770 \pm 1940	1060	9550	1.9
	Na	48	3230 \pm 1250	1160	9660	1.6
	Fe	48	2410 \pm 1750	480	10870	1.2
	P	48	2230 \pm 1030	958	6090	1.1
	S	48	1900 \pm 676	1000	3820	1.0
Traço	Al	48	514 \pm 129	321	841	0.3
	As	48	546 \pm 495	71	2563	0.3
	Ba	48	572 \pm 154	196	855	0.3
	Br	48	172 \pm 56	75	389	0.1
	Co	43	22.5 \pm 14.4	1.0	55.0	<0.1
	Cr	30	44.9 \pm 52.1	4.0	274.0	<0.1
	Cu	48	42.1 \pm 12.2	25.0	79.0	<0.1
	Mn	48	894 \pm 628	256	4503	0.5
	Ni	20	7.38 \pm 5.16	1.00	17.00	<0.1
	Pb	38	38.9 \pm 25.1	3.0	109.0	<0.1
	Rb	48	177 \pm 47	100	318	0.1
	Se	48	73.9 \pm 16.2	28.0	108.0	<0.1
	Sr	48	906 \pm 243	269	1328	0.5
	Ti	48	206 \pm 169	62	935	0.1
	Zn	48	360 \pm 163	210	953	0.2
Zr	48	154 \pm 68	42	347	0.1	