

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Intrusão de poeiras Norte Africanas no Alentejo
Central: Relação com internamentos e mortalidade**

Tiago Filipe Jorge da Silva

Dissertação orientada pelo Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito
Martinho Fragoso

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Intrusão de poeiras Norte Africanas no Alentejo
Central: Relação com internamentos e mortalidade**

Tiago Filipe Jorge da Silva

Dissertação orientada pelo Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito
Martinho Fragoso

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes do Instituto
de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professor Doutor Ricardo Jorge Meireles Almendra da Universidade
de Coimbra
- Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso do
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de
Lisboa

Agradecimentos

Neste capítulo quero agradecer a todos aqueles que influenciaram o meu percurso académico e a realização da presente dissertação.

Assim, àqueles que me ajudaram incansavelmente na realização desta dissertação, agradecerei primeiro. Ao meu orientador o Professor Doutor Marcelo Fragoso, grande impulsionador deste projeto, que sempre me ajudou e esteve presente em todas as etapas da sua realização. Agradeço ainda, ao Professor Doutor João Vasconcelos por sempre se mostrar entusiasmado pelo presente estudo, mas sobretudo por viabilizar o contacto com o Professor Doutor Ricardo Almendra, que também agradeço pela inestimável ajuda, sem obrigação de o fazer, nas várias fases de realização do modelo DLNM. Quero agradecer também, a todas as instituições nacionais e internacionais, das quais usufruí da utilização dos seus dados disponibilizados, em particular, ao Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

Passando para a minha família e amigos. Aos meus pais e irmão, quero agradecer o seu apoio, ao longo de todos os anos da minha vida de estudante, não só emocional, mas também financeiro, ao suportar os encargos da minha existência, enquanto estudava. Quero deixar o meu agradecimento e em certa forma uma homenagem à memória dos meus bisavós, que sempre me incentivaram a estudar e foram como que uns segundos pais. Aos meus melhores amigos, Diogo Silva, Vítor Martins e Ana Serra, que sempre me ajudaram e aconselharam durante os anos que estudámos juntos no IGOT, e que fizeram parte da minha vida ao longo destes anos todos, sobretudo o Vítor que já lá vão 8 anos e a Ana 11. Quero deixar um especial agradecimento à minha namorada, melhor amiga e companheira, Mariana Correia, que me guiou e ajudou não só nas horas em que andei mais perdido nesta grande etapa a ponto de terminar, mas em todos os momentos desde que a conheci. A todos os meus amigos, tanto do IGOT, como do meu fantástico grupo de amigos do secundário, e aqueles que sempre se mostraram interessados e acompanharam o meu progresso académico, também agradeço e saluto. A todos, quero desde já pedir as minhas mais sinceras desculpas, porque foram muitas vezes deixados para segundo plano, devido ao meu compromisso ao trabalho académico e em particular a esta dissertação. Espero conseguir recompensar daqui para a frente.

Por último, agradeço a todas as pessoas, sobretudo família e amigos, que já passaram na minha vida, em que circunstância for, e independentemente do impacto que tiveram, quer seja negativo ou positivo, uma vez que sem as experiências vividas com eles, hoje não seria a pessoa que sou.

Resumo

O fenómeno das intrusões de poeira em Portugal constitui um tema sobre o qual ainda pouca investigação tem sido feita, sobretudo ao nível dos seus efeitos. Os estudos já realizados têm sido desenvolvidos sobretudo pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), centrando-se, essencialmente, na previsão e inventariação dos episódios de intrusão. Nesta dissertação, partindo dos dias inventariados pela APA, foi promovida a criação de um inventário de validação dos dias APA, com métodos, critérios e abordagens diferentes em certos parâmetros, daqueles usados pela APA para identificar um dia de intrusão de partículas norte africanas.

Desta forma, este trabalho pretendeu dar início ao estudo das intrusões de poeiras saarianas em Portugal, ao nível das consequências para a saúde humana, nomeadamente, ao nível dos internamentos urgentes por patologias respiratórias, mas também mortalidade. Assim, percebeu-se que na região de estudo (Alentejo Central), o Risco Relativo de internamentos urgentes, pelas causas mencionadas, é de 1.12 vezes (ou 12%) mais elevado durante dias com intrusão de poeiras, em comparação aos restantes dias, para o período entre 2005 e 2015, após ajustamento às variáveis “temperatura média” e “PM10 médio diário”. Quanto à mortalidade, não se obteve nenhuma relação, devendo referir-se que a escassez de dados relativamente a esta variável não permitiu realizar uma análise estatisticamente robusta. Produziu-se ainda, uma análise quanto às condições atmosféricas e ambientais associadas aos episódios de intrusão, tendo sido identificadas quatro situações sinóticas (mais recorrentes), que promovem o transporte das poeiras para Portugal. Das quatro situações identificadas, duas são baixas pressões, enquanto que, as outras duas são altas pressões. Entre si apresentam localizações diferentes, bem como, diferentes períodos de atividade.

Como se referiu, esta dissertação recai sobre um tema ainda pouco estudado em Portugal, sendo desejável a continuidade e aprofundamento da investigação dos impactos das intrusões de poeiras saarianas, não só ao nível da saúde humana, mas também noutras áreas ambientais. É ainda importante, dar a conhecer e divulgar o sistema de previsão da ocorrência destes fenómenos, bem como sensibilizar as populações, não só da sua ocorrência, mas também das consequências da inalação destas partículas, de forma a que as pessoas evitem a exposição às mesmas.

Palavras-chave: PM10, DLNM, patologias respiratórias, partículas saarianas, saúde humana.

Abstract

The study of dust intrusions in Portugal is still a subject on which little investigation has been made, especially in terms of their effects. The studies already carried out have been developed mainly by the Portuguese Environment Agency (APA), which focuses essentially on forecasting and inventorying their occurrence. This dissertation starts from the days invented by APA, which allowed the creation of a validation inventory of those days, with methods, criteria and approaches different in certain parameters from those used by APA to identify a day of intrusion of North African particles.

Thus, this work aimed to introduce and launch the study of Saharan dust intrusions in Portugal, in terms of the consequences for human health, namely, the level of urgent hospitalizations for respiratory diseases, but also mortality. Thusly, in the study area (Central Alentejo), for the period between 2005 and 2015, the Relative Risk of urgent hospitalizations, due to the mentioned causes, was 1.12 times (or 12%) higher during days with dust intrusion, compared to days without dust intrusion, after adjusting the model for mean temperature and mean PM10 variables. Regarding mortality, no statistical relationship was obtained, since its data constitute a major limitation, because its scarce. An analysis of atmospheric and environmental conditions associated with dust intrusion days was produced, in which four synoptic (most recurrent) situations were identified, that promote the transport of Saharan dust to Portugal. Of the four situations identified, two are low pressures, while the other two are high pressures. They have different locations as well as different periods of activity.

As mentioned above, this dissertation is about a subject that is still little studied in Portugal. Further search into the impact of Saharan dust intrusions is desirable, not only on human health, but also in other environmental areas. It is also important to make known and publicize the prediction system for the occurrence of these phenomena, as well as to make the population aware of not only of their occurrence, but also the consequences of inhalation of these particles, so that people avoid exposure to these phenomena.

Keywords: PM10, DLNM, respiratory diseases, Saharan particles, human health.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice de Figuras	ix
Índice de Quadros	xiii
1. Introdução.....	1
2. Intrusão e transporte de poeiras do Norte de África na atmosfera: Fontes, Emissão, Transporte e Efeitos na saúde	7
2.1. Fontes de poeira no Norte de África.....	7
2.2. Emissão de poeiras para a atmosfera.....	13
2.3. Transporte de poeiras na atmosfera	16
2.4. Deposição das poeiras	21
2.5. Influência das poeiras na saúde humana	23
3. Metodologia.....	29
3.1. Dias de intrusão de poeiras no Alentejo central entre 2005 e 2015	29
3.1.1. Distribuição intra e interanual dos episódios. Comparação entre o inventário APA e aos dias de validação.	32
3.2. Caracterização dos dias de intrusão de poeiras relativos aos dias de validação....	33
3.2.1. Concentrações PM10 e PM2.5	33
3.2.2. Delimitação das plumas de poeira	34
3.2.3. Caracterização das condições de circulação atmosférica	34
3.3. Descrição estatística dos internamentos e mortalidade no Alentejo Central	35
3.3.1. Relação dos internamentos com variáveis biofísicas e presença/ausência de poeiras em circulação	39
3.3.2. Efeito das partículas norte africanas na saúde humana: relação com os internamentos	42

3.3.3. Efeito das partículas norte africanas na saúde humana: relação com a mortalidade	46
4. Resultados.....	49
4.1. Distribuição intra e interanual dos episódios. Comparação entre o inventário APA e o inventário dos dias de validação	49
4.2. Caraterização da intrusão de poeiras norte africanas no Alentejo Central nos dias de validação	52
4.2.1. Pormenorização dos dias com poeiras norte africanas em circulação: Número e duração de eventos, e concentração de partículas na atmosfera, para os dias de validação.....	52
4.3. Caraterização das situações típicas de circulação atmosférica que favorecem o transporte das poeiras do norte de África até Portugal	58
4.3.1. Delimitação das plumas de poeira nos dias de validação	66
4.4. Relação entre os internamentos hospitalares, e as determinantes ambientais naturais (variáveis climáticas, de qualidade do ar e presença/ausência de poeiras em circulação).	70
4.4.1. Sumário estatístico das variáveis independentes e de internamentos.....	71
4.4.2. Correlação de Pearson	81
4.4.3. Correlação de Spearman	88
4.4.4. Regressão linear múltipla	95
4.5. Associação estatística de episódios de intrusão de poeiras no Alentejo Central com internamentos e mortalidade, no período entre 2005 e 2015.....	97
4.5.1. Modelação do impacto das poeiras e outras condições ambientais nos internamentos: GAM & DLNM	97
4.5.2. Análise do impacto das intrusões de poeira na mortalidade.....	100
5. Discussão dos resultados	113
6. Conclusão	125
7. Bibliografia.....	129
8. Anexos	145

Índice de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo (Alentejo Central).	2
Figura 2: Distribuição do número de dias de evento natural por região em 2015.....	4
Figura 3: Mapa global do potencial de poeiras.	7
Figura 4: Estimativa da percentagem de poeiras que circulam na atmosfera, de acordo com a sua origem.....	8
Figura 5: Localização aproximada das principais fontes das poeiras.....	12
Figura 6: Modos de transporte das partículas.....	17
Figura 7: Trajetórias das poeiras a nível mundial.	19
Figura 8: Fluxos de poeira do Norte de África para a Europa, com o nome dos respetivos ventos associados.....	19
Figura 9: Tamanho das partículas em suspensão PM10 e PM2.5.....	24
Figura 10: Inalação de partículas PM10 e PM2.5.	26
Figura 11: Comparação da quantidade de dias de intrusão de poeiras por ano, entre o inventário da APA e os dias de validação.	50
Figura 12: Comparação da quantidade de dias de intrusão de poeiras por estação, entre o inventário da APA e os dias de validação.	50
Figura 13: Variação estacional dos episódios de intrusão de poeiras Saarianas, durante o período estudado, de acordo com o inventário da APA.	51
Figura 14: Variação estacional dos episódios de intrusão de poeiras Saarianas, ao longo do período estudado, de acordo com os dias de validação.	51
Figura 15: Comparação da quantidade de dias de intrusão de poeiras por mês, entre o inventário da APA e os dias de validação.	52
Figura 16: Situações sinóticas identificadas durante o inverno, exemplos dos dias 14 de março de 2008 (em cima) e 14 de fevereiro de 2008 (em baixo)..	62
Figura 17: Situações sinóticas identificadas durante a primavera, exemplos dos dias 2 de abril de 2011 (em cima) e 7 de junho de 2015 (em baixo).....	63
Figura 18: Situações sinóticas identificadas durante o verão, exemplos dos dias 27 de junho de 2012 (em cima) e 13 de agosto de 2009 (em baixo).....	64
Figura 19: Situações sinóticas identificadas durante o outono, exemplos dos dias 4 de outubro de 2015 (em cima) e 29 de setembro de 2011 (em baixo)..	65
Figura 20: Limites das plumas de partículas norte africanas durante o inverno.	67
Figura 21: Limites das plumas de partículas norte africanas durante a primavera.	68

Figura 22: Limites das plumas de partículas norte africanas durante o verão.	69
Figura 23: Limites das plumas de partículas norte africanas durante o outono.	70
Figura 24: Percentagem do total de internamentos urgentes por dia no Alentejo Central, por patologias respiratórias, entre 2005 e 2015.	77
Figura 25: Percentagem do total de internamentos urgentes provocados por patologias respiratórias, por género no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.	78
Figura 26: Percentagem do total de internamentos urgentes provocados por patologias respiratórias, por faixa etária no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.	78
Figura 27: Percentagem do total de internamentos urgentes por patologias respiratórias no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.	79
Figura 28: Percentagem do total de internamentos causados por patologias respiratórias, por ano, no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.	80
Figura 29: Percentagem do total de internamentos causados por patologias respiratórias, por estação do ano, no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.	80
Figura 30: Percentagem do total de internamentos causados por patologias respiratórias, por mês, no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.	81
Figura 31: Curvas exposição-resposta entre a concentração média diária de PM10 (à esquerda) e temperatura média diária (à direita) para o total de internamentos, com um desfase temporal de dois dias (valor de referência para o poluente de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e para a temperatura de $16,4^\circ\text{C}$).	97
Figura 32: Variável tempo, com dois graus de liberdade (2) para os onze anos de estudo (11).	99
Figura 33: Boxplot dos resultados de risco relativo para as variáveis de ausência/presença de poeiras, com intervalos de confiança.	100
Figura 34: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 9 de março de 2014, identificado nos dias de validação.	103
Figura 35: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 14 a 16 de abril de 2014, identificado nos dias de validação.	104
Figura 36: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 15 de maio de 2014, identificado nos dias de validação.	104

Figura 37: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 12 de junho de 2014, identificado nos dias de validação.	105
Figura 38: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 27 de setembro de 2014, identificado nos dias de validação.....	106
Figura 39: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 21 de outubro de 2014, identificado nos dias de validação.	107
Figura 40: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 10 de fevereiro de 2015, identificado nos dias de validação.....	107
Figura 41: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 20 de março de 2015, identificado nos dias de validação.	108
Figura 42: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 14 de abril de 2015, identificado nos dias de validação.	109
Figura 43: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 12 a 13 de maio de 2015, identificado nos dias de validação.	109
Figura 44: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 7 a 8, 10 e 21 de junho de 2015, identificado nos dias de validação.	110
Figura 45: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 7 de julho de 2015, identificado nos dias de validação.	111
Figura 46: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 9 a 10 de agosto de 2015, identificado nos dias de validação.	111
Figura 47: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 29 a 30 de agosto de 2015, identificado nos dias de validação.....	112

Figura 48: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 29 a 30 de agosto de 2015, identificado nos dias de validação..... 112

Índice de Quadros

Quadro 1: Doenças respiratórias estudadas na sua relação com as partículas PM10 e PM2.5, de acordo com o diagnóstico primário de internamentos urgentes no hospital de Évora.....	37
Quadro 2: Lista das variáveis dependentes consideradas neste estudo.....	42
Quadro 3: Número e duração dos eventos (+ de 1 dia seguido) nos dias de validação.	53
Quadro 4: Caraterização das concentrações de PM10 por ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.....	54
Quadro 5: Caraterização das concentrações de PM2.5 por ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.....	55
Quadro 6: Caraterização das concentrações de PM10 por estação do ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.	56
Quadro 7: Caraterização das concentrações de PM2.5 por estação do ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.	56
Quadro 8: Caraterização das concentrações de PM10 por mês, nos dias de validação, no Alentejo Central.....	57
Quadro 9: Caraterização das concentrações de PM2.5 por mês, nos dias de validação, no Alentejo Central.....	58
Quadro 10: Situações de circulação atmosférica predominantes no inverno.....	62
Quadro 11: Situações de circulação atmosférica predominantes na primavera.	63
Quadro 12: Situações de circulação atmosférica predominantes no verão.	64
Quadro 13: Situações de circulação atmosférica predominantes no outono.....	65
Quadro 14: Áreas das plumas de partículas norte africanas.	69
Quadro 15: Sumário estatístico das variáveis independentes e dos internamentos.....	73
Quadro 16: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais..	83
Quadro 17: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais..	84
Quadro 18: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais..	85
Quadro 19: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais.	86

Quadro 20: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais..	87
Quadro 21: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais..	89
Quadro 22: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais.....	90
Quadro 23: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais..	91
Quadro 24: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais.....	92
Quadro 25: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais	93
Quadro 26: Regressões lineares múltiplas entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015), determinantes ambientais e variáveis de presença/ausência de poeiras..	96
Quadro 27: GCV, <i>lag</i> e número de nós das variáveis independentes utilizadas.....	98
Quadro 28: Resumo estatístico da mortalidade no Alentejo Central, entre 2014 e 2015..	102
Quadro 29: Dias de intrusão de poeiras, de acordo com os relatórios da APA.	145
Quadro 30: Dias de intrusão de poeiras, de acordo com os dias de validação.....	146

1. Introdução

As tempestades de poeiras são atualmente estudadas em diversas partes do planeta Terra, em grande parte, devido aos efeitos que estas causam na saúde humana. De acordo com Goudie & Middleton (2006), há uma certa confusão terminológica entre tempestades de areia e tempestades de poeira. Estes autores clarificam que, quanto ao primeiro fenómeno, a sua ocorrência está confinada a altitudes menores, é relativamente circunscrito territorialmente e os materiais são de tamanho arenoso. Quanto às tempestades de poeira é o inverso, ocorrem a altitudes mais elevadas, ocupam largas áreas, sendo transportadas na atmosfera por grandes distâncias, e os seus materiais são de tamanho siltoso ou argiloso. Neste estudo, é assim focado o fenómeno das tempestades de poeiras. Estes eventos, segundo a UNEP *et al.* (2016:6) têm três fases: “ a emissão dos materiais da superfície, o seu transporte e a deposição”, sendo que nesta investigação tratar-se-á de uma quarta fase que se prende com as consequências, nomeadamente, para a saúde humana. A investigação dos efeitos das tempestades de poeira na saúde humana ainda está em recente desenvolvimento no plano internacional e pouco ou nada em Portugal.

Assim, esta dissertação vem no seguimento dos estudos realizados no âmbito do Plano de Adaptação às Alterações Climáticas do Alentejo Central, aprofundando os possíveis efeitos que as tempestades de poeira têm na região, uma vez que estes fenómenos climáticos, segundo Schweitzer *et al.* (2018), estão a sofrer variações nas duas dinâmicas, nomeadamente, no aumento da frequência devido às alterações climáticas e às atividades humanas. Desta forma, considera-se importante para o ordenamento do território e para a proteção das populações, desenvolver estudos sobre os mecanismos físicos das tempestades de poeiras e sobre os seus impactos na saúde e ambiente.

Por conseguinte, este trabalho é proposto como uma introdução à investigação das consequências destes fenómenos na saúde em Portugal, uma vez que o seu estudo é ainda bastante escasso. Pretende também servir de alerta à importância da sua investigação, principalmente devido à proximidade do país ao maior deserto do nosso planeta, o deserto do Sáara.

A presente investigação irá centrar-se no Alentejo Central (**Figura 1**) por três motivos: Disponibilidade de dados de internamentos hospitalares para esta região, fornecidos pelo Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central ao Centro de Estudos Geográficos, no âmbito do Plano de Adaptação às Alterações Climáticas do Alentejo

Central; Esta região localiza-se no sul de Portugal, e por esse motivo tem uma maior proximidade geográfica ao deserto do Sáara, pelo que, tal como demonstra a **Figura 2** é das regiões portuguesas com mais eventos naturais deste tipo; Pela falta de tempo para desenvolver o mesmo estudo de modo mais alargado, abrangendo outras regiões.

O período de estudo define-se entre os anos de 2005 e 2015, atendendo à disponibilidade dos dados de saúde.

O Alentejo Central, uma das regiões estatísticas NUT III, localiza-se no sul de Portugal continental e corresponde à área do distrito de Évora. Faz fronteira com os distritos de Portalegre e Santarém a norte, Setúbal a oeste e Beja a sul. Faz ainda fronteira com Espanha a este. O Alentejo Central tem uma área aproximada de 7 393 km² (8% do território nacional) (PIAAC-AC, 2018a) que corresponde, como foi referido, ao distrito de Évora, que por sua vez está dividido em quatorze concelhos e sessenta e nove freguesias. O Alentejo Central tem cerca de 154 536 mil pessoas (INE, 2018) e a densidade populacional média é de 20,9 habitantes/ km². Desta população, 26 671 são jovens (entre os 0-19) e 39 808 idosos (65 ou mais anos) (INE, 2018).

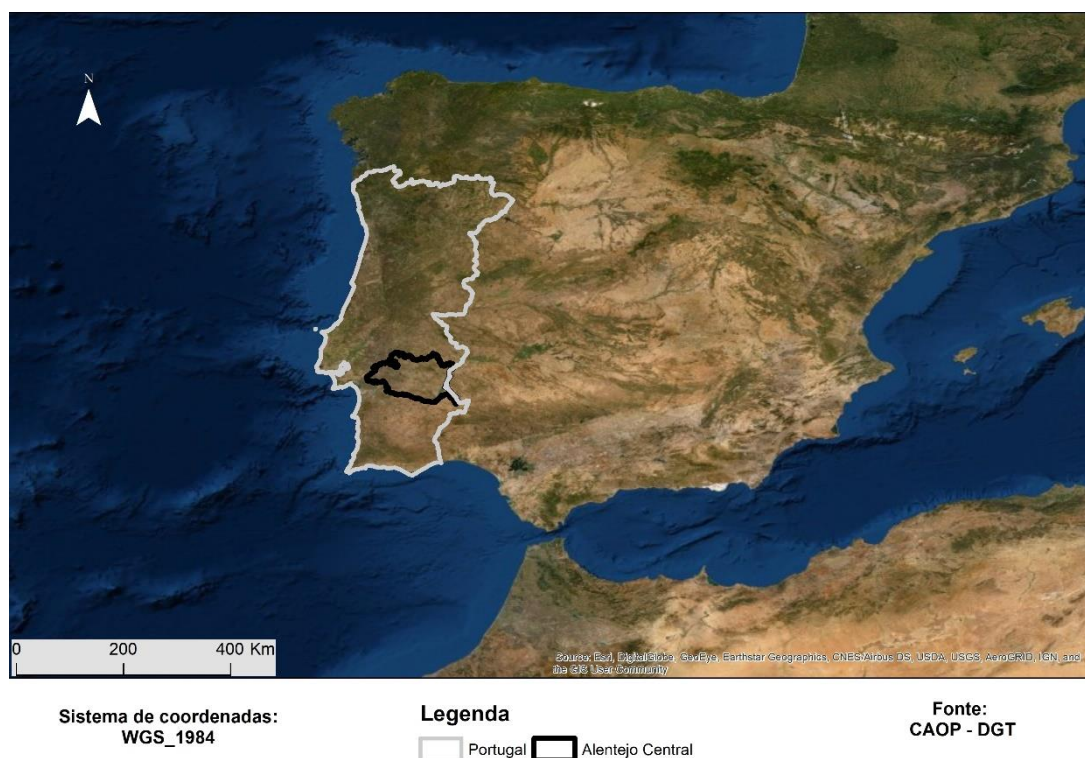


Figura 1: Localização da área de estudo (Alentejo Central).

Em termos morfológicos, as unidades de relevo que se destacam, segundo o Plano Intermunicipal De Adaptação Às Alterações Climáticas Do Alentejo Central (PIAAC-AC, 2018a), são as serras e planaltos, as peneplanícies setentrional e meridional, o vale do Guadiana, e outros vales e depressões. O ponto mais elevado situa-se na Serra da Ossa a cerca de 653 metros de altitude. Relativamente ao clima do Alentejo Central, este é classificado de acordo com a classificação de Köppen como Csa, vigorando um clima temperado, com inverno chuvoso e verão quente (PIAAC-AC, 2018a). Segundo ainda o mesmo documento, a temperatura média anual ronda os 16°C, no inverno as médias são abaixo dos 10°C, sendo que a temperatura mínima média ronda os 5°C. Por sua vez, durante o verão as temperaturas médias variam entre os 23°C e os 25°C, sendo que, a média da temperatura máxima supera os 30°C. Por último, em termos pluviométricos, a precipitação anual ronda entre os 500 e 650 mm, sendo que nas áreas mais elevadas são registados valores acima dos 700mm.

O presente estudo desenvolve-se com base numa questão de partida fundamental: As intrusões de poeiras Saarianas, provocam um aumento dos internamentos urgentes por patologias respiratórias e da mortalidade no Alentejo Central? Para responder a esta questão, delineou-se um objetivo geral, que foi ainda decomposto em quatro específicos, que visam o entendimento da distribuição temporal das ocorrências, a caracterização dos eventos em múltiplos aspetos, incluindo as áreas predominantemente afetadas e a relação que estas poeiras têm com variáveis ambientais e de saúde.

- Objetivo geral: Analisar a possível associação estatística entre os episódios de intrusão de poeira Saariana (ou “eventos naturais”, na terminologia utilizada pela APA) no Alentejo Central, com os internamentos hospitalares, na mesma região, entre 2005 e 2015;
- Objetivos específicos:
 1. Caracterizar a distribuição temporal (inter-anual e intra-anual) dos eventos naturais no Alentejo Central;
 2. Caracterizar as situações sinóticas que favorecem o transporte das poeiras do Norte de África até ao sul de Portugal (Alentejo Central) e identificar possíveis condições típicas da circulação atmosférica responsáveis por essa dinâmica de transporte;
 3. Verificar a eventual existência de áreas mais afetadas pelos eventos de poeiras dentro do Alentejo Central;

4. Avaliar através de modelação estatística, a relação entre eventos de poeiras Saarianas e os internamentos hospitalares no Alentejo Central.
5. Avaliar de forma preliminar a influência das tempestades de poeira na mortalidade no Alentejo Central.

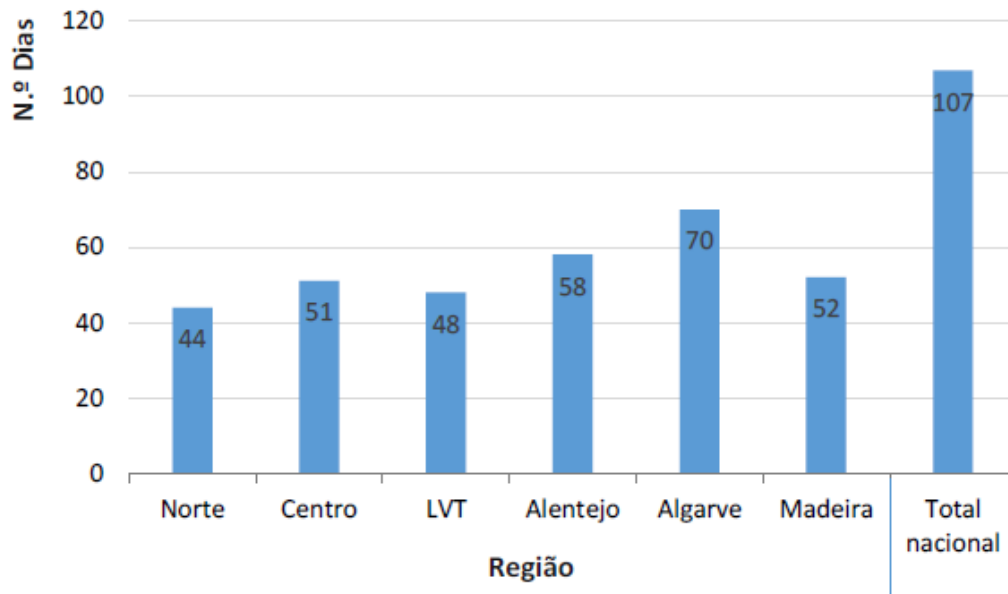


Figura 2: Distribuição do número de dias de evento natural por região em 2015.

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente – Relatório: Identificação e avaliação de eventos naturais em Portugal no ano de 2015.

Para atingir esses objetivos foram utilizados e combinados vários tipos de dados, com fontes, natureza e propósitos diferentes, como será detalhado no **Capítulo 3** correspondente à metodologia. No entanto, salienta-se, desde já, a relevância dos dados dos internamentos fornecidos pelo Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central, absolutamente indispensáveis para este estudo. Nestes, foram somente selecionados os internamentos urgentes devido a problemas respiratórios. A escolha destas causas de internamento justifica-se pelo que está descrito na literatura, como se poderá perceber no **Subcapítulo 2.5**. Quanto ao tratamento dos dados para este estudo, o autor assegura que apenas e só os utilizou para o respetivo fim, sendo que, a apresentação dos mesmos neste relatório não permite a identificação dos indivíduos.

A importância desta dissertação, prende-se com a escassez de estudos em Portugal sobre a avaliação da influência das partículas que advêm das tempestades de poeira na saúde humana, nomeadamente, ao nível do número de internamentos urgentes devido a problemas respiratórios. Neste trabalho, procurou-se sintetizar estudos anteriores sobre um conjunto de processos relativos às tempestades de poeiras, ao nível da mobilização, transporte, deposição e consequências, englobando e cruzando toda esta informação num só trabalho. Note-se que os artigos científicos que incidem sobre este fenómeno, geralmente, abordam apenas uma ou duas das fases referidas e utilizam um conjunto mais limitado de dados.

No que diz respeito à sua estrutura, o presente trabalho apresenta, no seu segundo capítulo, o estado da arte. Este capítulo está dividido em cinco subcapítulos, um sobre as principais fontes de poeiras, ou seja, de onde são emitidas, um segundo sobre o processo de emissão das partículas do solo para a atmosfera, um terceiro sobre o transporte das partículas na atmosfera, um outro sobre a deposição das poeiras, e um último sobre as consequências das partículas inaláveis na saúde.

O terceiro capítulo, referente à metodologia adotada nas várias fases do tratamento da informação, está dividido em três subcapítulos. O primeiro sobre como se procedeu à inventariação dos episódios de transporte de poeiras no Alentejo Central. O segundo, é relativo à caracterização dos dias em que ocorrem estes episódios, ao nível da concentração de partículas, das áreas afetadas e das condições de circulação na atmosfera. O último subcapítulo, é sobre a metodologia da avaliação da associação estatística entre os episódios de poeiras no Alentejo Central e os internamentos urgentes.

O quarto capítulo, é relativo aos resultados. Este está dividido em cinco subcapítulos. O primeiro subcapítulo aborda a distribuição temporal da ocorrência e frequência dos episódios. O segundo subcapítulo pretende demonstrar o número e duração dos eventos, assim como, a concentração de partículas na atmosfera, para os dias de validação do inventário APA. O terceiro subcapítulo é relativo à delimitação das plumas de poeira de cada episódio e tem como propósito evidenciar não só a extensão espacial das mesmas, como também indicar quais as áreas dentro do Alentejo Central mais afetadas. No quarto subcapítulo, produziu-se um conjunto de análises estatísticas, como a correlação de Pearson, Spearman e Regressão linear, com o objetivo de testar o desempenho destas técnicas neste género de estudos, mas também das variáveis independentes, de forma a

perceber, quais as determinantes que serão mais importantes para modelar a relação entre eventos naturais e internamentos, designadamente através de um modelo não linear de desfasamento temporal (DLNM). O último subcapítulo, é relativo à elaboração de um modelo não linear de desfasamento temporal. Este será o principal produto da investigação, visando responder à questão de partida. A partir do mesmo, verificar-se-á se há relação entre os episódios de intrusão de poeiras no Alentejo Central e os internamentos urgentes por causas respiratórias. Neste subcapítulo encontra-se ainda uma análise estatística dos internamentos e da mortalidade.

O quinto capítulo é sobre a discussão dos resultados, onde se confrontarão os resultados e o conhecimento prévio. No sexto capítulo apresentam-se as conclusões. Por último, a presente dissertação tem o capítulo da bibliografia, onde se discriminam os trabalhos lidos no âmbito deste projeto, assim como um capítulo de anexos.

2. Intrusão e transporte de poeiras do Norte de África na atmosfera: Fontes, Emissão, Transporte e Efeitos na saúde

2.1. Fontes de poeira no Norte de África

Segundo Prospero *et al.*, (2002), é no hemisfério norte do planeta Terra que estão localizadas as principais fontes de poeira, considerando quer as suas dimensões, quer ao nível da regularidade com as que mesmas emitem materiais para a atmosfera. Para Prospero *et al.* (2002) o hemisfério norte é, assim, marcado pela presença de uma longa faixa de fontes de poeira, que se estende desde a costa atlântica do deserto do Sáara em África até à China, e à qual os autores denominam como “cintura de poeiras” (p.1) (Figura 3).

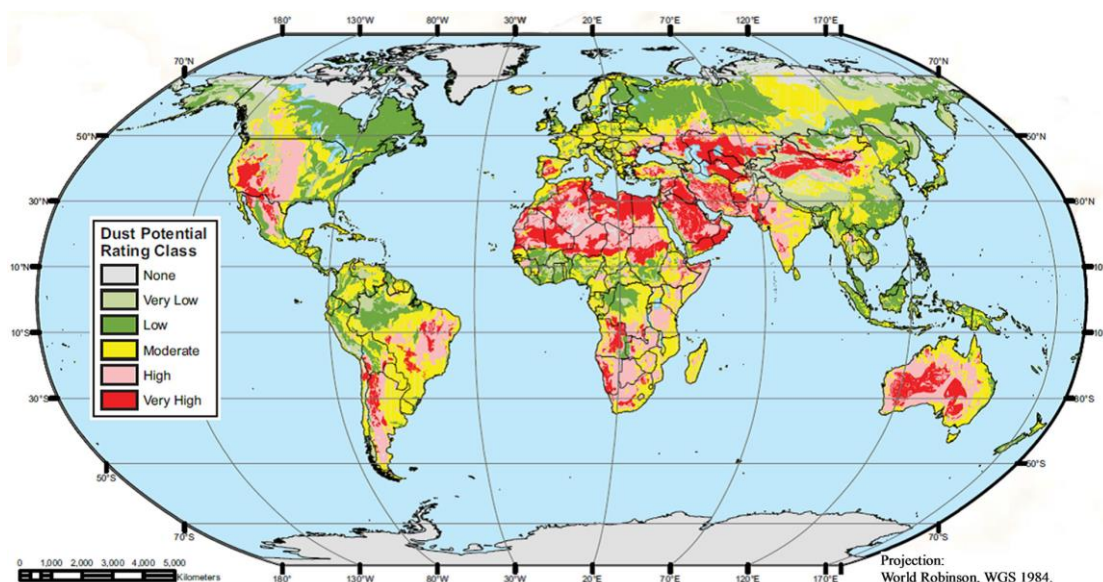


Figura 3: Mapa global do potencial de poeiras.

Fonte: DTF - Integrated Desert Terrain Forecasting for Military Operations (2013).

Essas fontes localizam-se, segundo Ginoux *et al.* (2001), Goudie (2014) e Goudie & Middleton, (2006), em regiões áridas e semiáridas. As regiões áridas e semiáridas do Norte de África, segundo Engelstaedter *et al.*, (2006:74), “cobrem uma área compreendida entre os 15° norte até à costa mediterrânica, e da costa Atlântica a oeste até à costa do Mar Vermelho a este”.

Estes ambientes são caracterizados pela escassez de pluviosidade (Goudie & Middleton, 2006; Querol *et al.*, 2010), entre os 100 e 250mm anuais (Goudie & Middleton, 2001;

Prospero *et al.*, 2002), e temperaturas muito elevadas (Querol *et al.*, 2010), que podem atingir os 30°C no inverno, e os 60 a 65°C no verão (Dubief, 1979). Estes fatores acabam por favorecer a emissão das poeiras para a atmosfera (Querol *et al.*, 2010). Dentro da faixa mencionada anteriormente, o deserto do Sáara é considerado o maior produtor de poeiras transportadas na atmosfera (Choobari *et al.*, 2014; Engelstaedter *et al.*, 2006; Goudie & Middleton, 2006; Knippertz & Todd, 2012; Prospero *et al.*, 2002) (**Figura 4**), de origem natural (Choobari *et al.*, 2014), com impactes ao nível climático a várias escalas (Knippertz & Todd, 2012). O estudo de Goudie (2014) estima que a produção de poeiras do deserto do Sáara é cerca de metade da produção mundial (**Figura 4**). Vários estudos referem múltiplas fontes de poeiras no Norte de África, que se distinguem pela influência natural ou antrópica nos processos de geração de partículas que são emitidas para a atmosfera, mas também pelo cariz hidromorfológico das fontes, e ainda pela sua importância no que diz respeito à quantidade de poeiras que emitem.

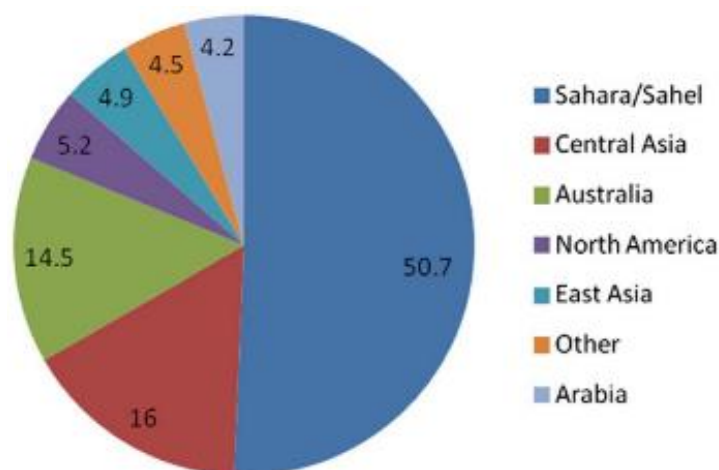


Figura 4: Estimativa da percentagem de poeiras que circulam na atmosfera, de acordo com a sua origem.

Fonte: Goudie (2014), adaptado de Miller *et al.* (2004)

Deste modo, sabe-se que as poeiras emitidas do Norte de África podem ser produzidas por influência de processos naturais (Choobari *et al.*, 2014; Prospero *et al.*, 2002; Tegen *et al.*, 2004), em que atuam sobretudo mecanismos climáticos (Goudie & Middleton, 2006; Middleton & Goudie, 2001; Swezey, 2001) e geomorfológicos (Goudie & Middleton, 2006; Middleton & Goudie, 2001) mas também, por influência de processos

antrópicos (Choobari *et al.*, 2014; Prospero *et al.*, 2002; Tegen *et al.*, 2004), através da exploração agrícola e de gado (Pimentel *et al.*, 1995; Prospero *et al.*, 2002; Tegen *et al.*, 2004), quer ainda por via da exploração mineira e da utilização de veículos sobre as superfícies degradadas (Rodríguez *et al.*, 2011). As emissões naturais de poeiras ocorrem mais no deserto do Sáara (Choobari *et al.*, 2014; UNEP *et al.*, 2016), enquanto as antrópicas se verificam mais no Sahel (UNEP *et al.*, 2016; Zender *et al.*, 2004), onde as condições climáticas permitem que os humanos se estabeleçam (Goudie & Middleton, 2006).

Segundo Pey *et al.* (2013) e UNEP *et al.* (2016), a maior contribuição de poeiras para a atmosfera são de origem natural, correspondendo, de acordo com Ginoux *et al.* (2012), a cerca de 75% do total global. Por sua vez, na literatura não é visível um consenso quanto à importância da contribuição antrópica (UNEP *et al.*, 2016), devido à dificuldade no seu cálculo (Engelstaedter *et al.*, 2006). Tegen & Fung (1995) estimam que ronde os 30 a 50%, embora Prospero *et al.* (2002) considerem que estes valores sejam exagerados. Por sua vez, Sokolik & Toon (1996) consideram que a influência antrópica para o total de emissões seja à volta dos 20 a 30%. Tegen *et al.* (2004) estimam que a agricultura contribua com menos de 10% das emissões antrópicas, através de degradação dos solos. Por outro lado, não quantificam o contributo de outras causas, que podem ser relevantes, como a dessecação de lagos (UNEP *et al.*, 2016). Mais recentemente, Ginoux *et al.* (2012) calcularam que o Homem esteja na origem de 25% das emissões totais de poeira. Ginoux *et al.* (2012) afirmam ainda, que o Norte de África é responsável por cerca de 55% das emissões globais de poeiras, sendo que, desse valor, 8% é estimado que seja de origem antrópica, nomeadamente da região do Sahel. Outros autores como Miller *et al.* (2004) e Goudie (2014) (**Figura 4**) estimam que a contribuição do Norte de África para o total de emissões de poeiras para a atmosfera ronde os 50,7%. O Norte de África, sobretudo a região do Sahel (Goudie & Middleton, 2006; Mulitza *et al.*, 2010) tem demonstrado uma tendência no aumento de emissões de partículas para a atmosfera, devido ao aumento dos períodos de seca, em conjunto com alterações na intensidade do vento e com a ação humana (Goudie & Middleton, 2006), nomeadamente, a degradação do solo (Moulin & Chiapello, 2006), que se deve à agricultura intensiva praticada com irrigação (Mulitza *et al.*, 2010).

Assim sendo, os locais que mais frequentemente são associados à emissão de partículas para a atmosfera apresentam ambientes geomorfológicos diferentes, nomeadamente, no

que diz respeito às suas dinâmicas hidrológica e a eólica (Prospero *et al.*, 2002). No ambiente hidrológico, as massas de água temporárias, situam-se em áreas deprimidas (Engelstaedter *et al.*, 2006; Ginoux *et al.*, 2001; Remer, 2006), características de bacias hidrográficas (Prospero *et al.*, 2002; Querol *et al.*, 2010), que geralmente estão envolvidas por áreas adjacentes mais elevadas (Prospero *et al.*, 2002). Nestas depressões estão presentes paleo depósitos fluviais (Engelstaedter *et al.*, 2006), ou depósitos fluviais atuais (Engelstaedter *et al.*, 2006; Gherboudj *et al.*, 2016), onde os episódios de precipitação promovem a acumulação sedimentar (Ginoux *et al.*, 2001; Querol *et al.*, 2010). Nas bacias hidrográficas os elementos geomorfológicos mais comuns ligados ao processo de emissão de poeiras, são os cursos de água efêmeros (Goudie & Middleton, 2006; Prospero *et al.*, 2002; Remer, 2006), normalmente conhecidos como *wadis*, e também os fundos de lagos antigos, ou de lagos que apenas têm presença de água de forma temporária, (Goudie & Middleton, 2006; Prospero *et al.*, 2002; Remer, 2006; UNEP *et al.*, 2016). Estes lagos secos, são na verdade depressões salinas (Middleton & Goudie, 2001), usualmente designadas por *Playas* ou *Chotts*. Entre os elementos geomorfológicos emissores de poeiras verificam-se ainda os leques aluviais (Prospero *et al.*, 2002). Segundo a UNEP *et al.* (2016), os lagos são os elementos que mais risco de emissão de partículas para a atmosfera constituem, não só pela quantidade de materiais não consolidados, mas também, de acordo com Choobari *et al.* (2014), pela escassez de vegetação e água.

Além das depressões, as formas de relevo modeladas pela ação do vento também constituem fontes de emissão de partículas, de que são exemplo os depósitos de loess, que segundo (Bullard *et al.*, 2011:8), “podem tornar-se importantes em períodos com vegetação escassa, ou de pouca perturbação”. Existem também outras formas de relevo de origem eólica que podem mobilizar poeiras para a atmosfera, como os sistemas dunares, em que a sua influência vai depender de determinados elementos (UNEP *et al.*, 2016), como por exemplo a estabilidade, a dimensão, atividade e idade (Bullard *et al.*, 2011). No entanto, na literatura internacional não existe ainda a certeza da importância dos sistemas dunares no que toca à emissão de partículas, sendo que para Gherboudj *et al.* (2016) há uma relação mas não muito evidente, enquanto para Engelstaedter *et al.* (2006) aqueles não assumem um significado particular.

No Norte de África existem vários exemplos de locais onde se mobilizam poeiras em quantidades consideráveis e que estão descritos na bibliografia. Na região do Sahel (**Figura 5**) entre os 14°N e os 23°N (Querol *et al.*, 2010) localiza-se o Lago Chade

(Engelstaedter *et al.*, 2006; Querol *et al.*, 2010), que se situa entre o Chade, Níger e a Nigéria. Aqui estão presentes vários depósitos holocénicos e plistocénicos (Goudie & Middleton, 2006), que têm sido muito impactados pelo clima e pela ação do Homem (Griffin *et al.*, 2001a). De acordo com Coe & Foley (2001) a ação dos humanos neste lago nas décadas de 1960-70 provocou uma redução da sua área em 50%. Conta-se ainda no Sahel, o Sudão (Engelstaedter *et al.*, 2006; Prospero *et al.*, 2002; Querol *et al.*, 2010), onde se verifica o Wadi Howar (Gherboudj *et al.*, 2016), mas também o Mali e a Mauritânia (d'Almeida, 1986; Engelstaedter *et al.*, 2006; Querol *et al.*, 2010), onde, neste último país, estão presentes grandes extensões dunares, localmente conhecidos como Erg, como é exemplo o Erg El Djouf (UNEP *et al.*, 2016), e ainda Bilma (Engelstaedter *et al.*, 2006) que se situa no Níger e onde se verifica o Grand Erg de Bilma (UNEP *et al.*, 2016). É assim de salientar, que de acordo com a informação anterior (relativa aos processos naturais e antropogénicos) existem áreas, nomeadamente no Sahel, que são simultaneamente alvo da erosão por parte de processos climáticos, mas também da exploração humana, embora a ação antrópica seja predominante nesta região (UNEP *et al.*, 2016; Zender *et al.*, 2004).

No Sáara (**Figura 5**) as principais fontes estão compreendidas entre os 23°N e os 33°N (Querol *et al.*, 2010) contabilizando-se o Sáara Ocidental, em Marrocos (Avila *et al.*, 1997; Prospero *et al.*, 2002), a depressão de Bodélé (Engelstaedter *et al.*, 2006; Prospero *et al.*, 2002; Querol *et al.*, 2010; UNEP *et al.*, 2016) no Chade, que é considerada por Giles (2005) e por Prospero *et al.* (2002) como das mais importantes a nível mundial, sendo alimentada por vários cursos de água que correm desde o maciço de Tibesti (Ginoux *et al.*, 2012; Goudie & Middleton, 2006), que por sua vez, tem vertentes bastante ativas na movimentação de materiais (Engelstaedter *et al.*, 2006; Gherboudj *et al.*, 2016). Verificam-se também vários setores na Argélia (Avila *et al.*, 1997; Bergametti *et al.*, 1989; Engelstaedter *et al.*, 2006; Prospero *et al.*, 2002; Salvador *et al.*, 2014), onde se encontram de acordo com Ginoux *et al.* (2012), bacias com mais de 200 mil quilómetros quadrados, nas quais se situam vários lagos secos (ou *Chotts* como são conhecidos localmente). São exemplos o Chott el Hodna, o Chott ech Chergui (Ginoux *et al.*, 2012) e o Chott Melrhir (Ginoux *et al.*, 2012; Prospero *et al.*, 2002). Na Argélia, encontram-se ainda vários Ergs, como são exemplos o Grand Erg Oriental e o Grand Erg Ocidental (Ginoux *et al.*, 2012; Prospero *et al.*, 2002). A Tunísia também é outra das regiões-fonte (Bergametti *et al.*, 1989; Prospero *et al.*, 2002), sendo que aqui também se podem

observar *Chotts*, como é exemplo o Chott el Jerid (Ginoux *et al.*, 2012; Prospero *et al.*, 2002).

Outras fontes importantes também se situam na Líbia (Bergametti *et al.*, 1989; Engelstaedter *et al.*, 2006; Prospero *et al.*, 2002), nomeadamente, o Grande Mar de Areia (Gherboudj *et al.*, 2016); no Egito (Engelstaedter *et al.*, 2006; Prospero *et al.*, 2002), onde se observa a depressão de Qattarah (Gherboudj *et al.*, 2016; UNEP *et al.*, 2016) e ainda Marrocos, nomeadamente na cordilheira do Atlas (Avila *et al.*, 1997; Bergametti *et al.*, 1989; Engelstaedter *et al.*, 2006). É ainda de salientar que, de acordo com Rodríguez *et al.* (2011), na Argélia, Tunísia e Marrocos são ainda produzidas partículas de fontes industriais que se misturam com as poeiras, sendo transportadas em conjunto. Ao contrário das fontes Saarianas, e em maior consonância com o que se associa ao Sahel, a faixa mediterrânica do Norte de África, de acordo com a UNEP *et al.* (2016), é maioritariamente influenciada pela ação antrópica. É ainda de salientar, que as origens das partículas aqui mencionadas não são as únicas, uma vez que podem existir alguns locais emissores de poeiras ainda por identificar.

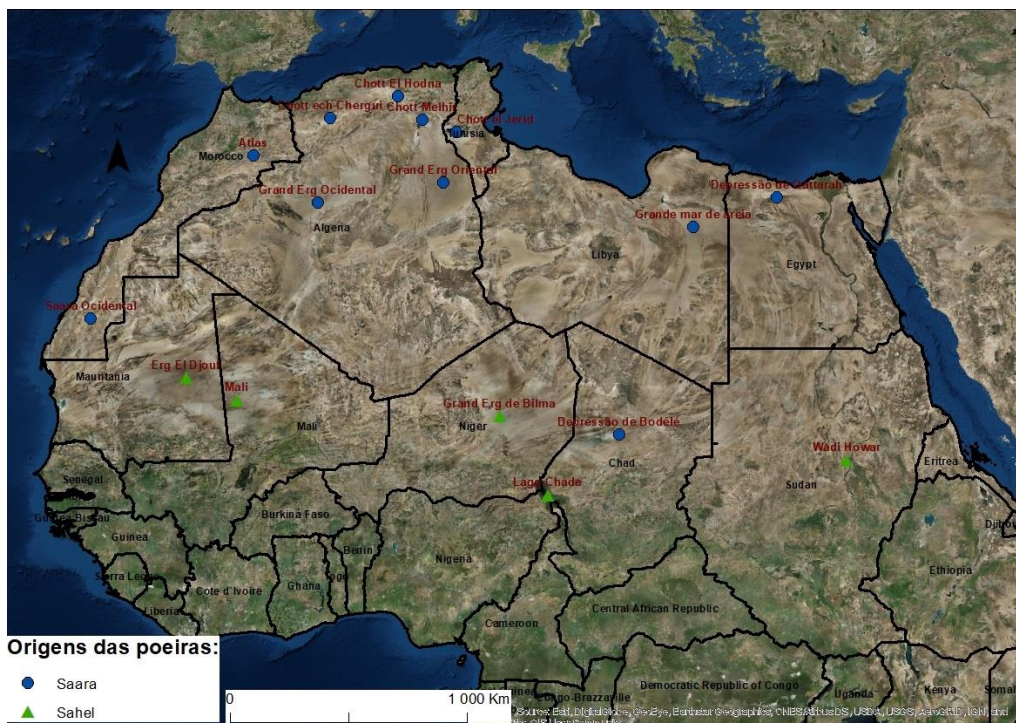


Figura 5: Localização aproximada das principais fontes das poeiras.

Fonte: Fonte própria.

2.2. Emissão de poeiras para a atmosfera

O processo de formação das partículas que são emitidas para a atmosfera começa nos mecanismos de erosão das superfícies (Goudie & Middleton, 2006; UNEP *et al.*, 2016). Os materiais resultantes desse desgaste são do tipo orgânico, argiloso (em que as partículas têm tamanhos inferiores a 2 microns) e siltoso (que têm entre os 2 e os 63 microns) (Goudie & Middleton, 2006; UNEP *et al.*, 2016). Relativamente aos materiais argilosos, segundo Goudie & Middleton (2006), é comumente aceite que estes derivem da alteração química provocada pela água. Por sua vez, a formação de silte em ambientes áridos é ainda muito debatida (Goudie & Middleton, 2006). Segundo Goudie & Middleton (2006) e Smith *et al.*, (2002), as teorias que têm surgido para a formação do silte dão conta do tritramento glacial, em períodos passados na história da Terra, e/ou também da ação água por processos mecânicos e químicos, assim como do vento por abrasão e deflação. Por seu turno, os materiais de origem orgânica que estão depositados nos lagos, nomeadamente o diatomito, com o passar do tempo ficam secos, e por isso tornam-se facilmente mobilizados pelo vento (Goudie & Middleton, 2006). Outros tipos de partículas podem ainda provir de dunas (Goudie & Middleton, 2006), embora estas sejam menos frequentes comparando com as que vêm de depósitos fluviais (Gherboudj *et al.*, 2016).

A erodibilidade das superfícies, de acordo com a UNEP *et al.* (2016:6), depende do “grau de cobertura do solo por materiais não erodíveis”, mas também, segundo Engelstaedter *et al.* (2006) e Goudie & Middleton (2006), da sua rugosidade, da granulometria da presença de vegetação e de humidade no solo. Para a UNEP *et al.* (2016) as poeiras vêm predominantemente de solos pobres, sobretudo dos lagos efémeros, como já foi mencionado anteriormente. Este empobrecimento dos solos decorre, em parte, devido à ação humana que desregula o ciclo hidrológico, ao diminuir a quantidade de água e expondo os sedimentos à ação atmosférica, tornando a sua dessecação mais rápida (Gill, 1996).

Entre os processos de erosão mencionados, o eólico é o mais destacado na bibliografia no que toca à sua preponderância (Sterk & Goossens, 2007). A erosão por ação eólica ocorre quando o limite de velocidade do vento, à qual os materiais conseguem resistir, é ultrapassado (Engelstaedter *et al.*, 2006; Goudie & Middleton, 2006; UNEP *et al.*, 2016). Este processo é o mesmo que permite a emissão das poeiras para a atmosfera e posteriormente o seu transporte, tal como será abordado posteriormente. Relativamente à

erosão provocada pela água, esta acontece durante os períodos de chuva intensa (Querol *et al.*, 2010), sendo os sedimentos depois transportados e acumulados em depressões topográficas (Querol *et al.*, 2010; UNEP *et al.*, 2016). Brooks & Legrand (2000), também vêm ao encontro desta ideia, ao mencionar que o período em que ocorre a precipitação é importante para a produção de poeiras durante o período mais seco, tal como tem se vindo a sugerir. A água tem, ainda, importância no que toca à erosão causada pela ação humana (Prospero *et al.*, 2002), sobretudo devido à alteração do ciclo hidrológico (Gill, 1996), promovida para fins agrícolas e pastoris (Prospero & Lamb, 2003; Prospero *et al.*, 2002).

Depois dos processos de erosão, os sedimentos são mobilizados pela precipitação e pelo vento (Engelstaedter *et al.*, 2006; UNEP *et al.*, 2016) e transportados até às depressões (Querol *et al.*, 2010; UNEP *et al.*, 2016), permitindo a formação de depósitos fluviais (Engelstaedter *et al.*, 2006) e de loess (Bullard *et al.*, 2011).

Depois da deposição, os materiais vão ser novamente mobilizados e emitidos para a atmosfera. A emissão e transporte de partículas no Sáara está relacionada com os ciclos diurnos dos designados Jatos de Baixos Níveis, ou *Low Level Jets* (Knippertz & Todd, 2012). Assim, as emissões devem-se a condições específicas na Atmosfera Livre (Nickovic, 1996), onde o vento é controlado por fortes gradientes de pressão (Knippertz & Todd, 2012). Knippertz & Todd (2012) e Nickovic (1996) afirmam que a emissão acontece em períodos de grande turbulência atmosférica, durante os quais ocorre fricção nas superfícies. De acordo com Dubief (1979) e Knippertz & Todd (2012), a turbulência gerada pode dever-se ao sobreaquecimento do solo durante o dia (origem térmica). Este sobreaquecimento é favorecido pela inexistência de nuvens e de humidade, proporcionando condições propícias de convecção vertical das massas de ar da Camada Limite Planetária para a Atmosfera Livre, onde estas se misturam Knippertz & Todd (2012).

Durante a noite, segue-se um período de maior estabilidade (Querol *et al.*, 2010; Todd *et al.*, 2008), decorrente de um forte arrefecimento radiativo da superfície (Todd *et al.*, 2008), que permite a formação de uma inversão térmica (Dubief, 1979). Segundo Querol *et al.* (2010) estas mudanças permitem que não ocorra novamente a deposição do material que se encontra em suspensão. Knippertz & Todd (2012) explicam que tal se deve ao arrefecimento, porque o ar mais frio perto da superfície não se vai misturar com o ar mais quente que estava na Camada Limite Planetária. Depois do nascer do sol (Todd *et al.*,

2008), dá-se o aquecimento da superfície e conseqüentemente a Camada Limite Planetária volta a expandir-se e misturar-se com os Jatos de Baixo Nível que atuam sobre a superfície (Knippertz & Todd, 2012) provocando, segundo Todd *et al.* (2008), a emissão e transporte de poeiras.

No Sáara este fenômeno, acontece essencialmente no verão (Ghosh & Pal., 2014; Knippertz & Todd, 2012) mas também na primavera (Ghosh & Pal., 2014) devido ao calor intenso (Knippertz & Todd, 2012), que segundo Dubief (1979), Knippertz & Todd (2012) e (Querol *et al.*, 2010), promove a formação de uma baixa pressão junto à superfície, que permite a ascensão vertical dos materiais até 5 a 6 quilômetros de altitude, na denominada Camada de Ar Saariano (*Saharan Air Layer*), mencionada pela primeira vez por Carlson & Prospero (1972). Segundo Dubief (1979:29) “os ventos no Sáara são ainda controlados por um sistema depressionário que existe todo o ano, designado por Zona de Convergência Intertropical, e que se move de acordo com o movimento anual aparente do Sol”, influenciando também a intensidade de emissão de poeiras (Querol *et al.*, 2010).

Querol *et al.* (2010) analisaram a emissão de poeiras para atmosfera, de acordo, com a posição da Zona de Convergência Intertropical. Entre o final do outono e início do inverno a emissão de poeiras é fraca, devido ao período de maior precipitação que se faz sentir no Norte de África, embora, possam ocorrer fenômenos de intrusão de poeiras na Península Ibérica (Querol *et al.*, 2010). Estes são associados à formação de grandes tempestades com presença de cumulonimbus e movimentos verticais na atmosfera muito acentuados, que permitem à poeira ser emitida para a atmosfera (Goudie & Middleton, 2006). Segundo Querol *et al.* (2010), durante o fim do inverno e início de primavera, a emissão de poeiras começa a ser mais vigorosa, sobretudo no Sahel, onde as poeiras podem atingir ocasionalmente a Península Ibérica. Segundo Gherboudj *et al.* (2016) no Norte de África este é um período intenso na emissão de poeiras. No final da primavera e verão acontecem emissões muito fortes, como já referido, devido também à movimentação da Zona de Convergência Intertropical para norte, sendo as poeiras injetadas na Atmosfera Livre e transportadas com maior intensidade para a Península Ibérica, Mediterrâneo, e também para o oceano Atlântico (Querol *et al.*, 2010).

As situações atmosféricas propiciadoras da emissão de poeiras podem envolver diferentes condições, nomeadamente: gradientes de pressão fortes em torno de anticiclones

subtropicais; sistemas de baixa pressão e frentes associadas à superfície; massas de ar de monção; ventos locais relacionados com fortes gradientes de pressão; e massas de ar afetadas por convecção devido à turbulência (UNEP *et al.*, 2016), como se descreveu anteriormente.

Na literatura, vários autores apresentam estimativas da quantidade de poeiras emitidas para a atmosfera, no entanto há incerteza quanto ao seu verdadeiro valor. Assim sendo, Ginoux *et al.* (2001) calcularam que o total de emissões totais globais ronde entre os 1600 e 1960 milhões de toneladas ao ano, enquanto que d’Almeida (1989) avalia essa emissão entre os 1800 a 2000 milhões de toneladas. Cakmur *et al.* (2006) estimam que a poeira emitida por ano no mundo ronde entre os 1000 e os 3000 milhões de toneladas. Quanto ao deserto do Sáara estima-se que emita anualmente entre 600 a 700 milhões de toneladas (d’Almeida, 1989), enquanto Laurent (2005) determina 670 milhões de toneladas. Por sua vez, o cálculo de Ozer (2001) aponta o valor de 1600 milhões de toneladas como aceitável. Por outro lado, Ghosh & Pal (2014:30) salientam que a “quantidade de emissão de poeiras tem uma variação inter-anual, dependendo do clima global, da meteorologia local, da geomorfologia e da atividade humana”, sendo por isso tão difícil estimar a quantidade de emissões.

2.3. Transporte de poeiras na atmosfera

Durante a emissão das partículas do solo para o ar, o seu transporte inicial pode-se caracterizar de três modos diferentes mas graduais: arrastamento, saltação e suspensão (Lyles, 1988; Sterk & Goossens, 2007; UNEP *et al.*, 2016) (**Figura 6**). O tipo de transporte vai depender da densidade das partículas, como da velocidade do vento e do grau de turbulência atmosférica (Sterk & Goossens, 2007). Segundo Lyles (1988) as partículas que se deslocam em rolamento não deixam a superfície devido às suas dimensões (entre 1000 a 500 μm), pelo que a distância a que são transportadas não vai além de alguns metros (Sterk & Goossens, 2007). Nesse processo de transporte vão sofrer impacto das partículas em saltação (Lyles, 1988). As partículas em saltação são mais pequenas que as anteriores, têm entre os 500 μm e os 100 μm , podendo eventualmente atingir os 50 μm de diâmetro (Sterk & Goossens, 2007; UNEP *et al.*, 2016). Movimentam-se através de saltos (até 1 metro de altura) podendo deslocar-se ao longo de centenas de metros (Sterk & Goossens, 2007). Estes saltos vão desencadear um outro

processo, em que as partículas ao embater no solo, depois de um salto, ejetam mais partículas para o ar (Alfaro, 2008). Este processo é designado por *sandblasting* (Alfaro *et al.*, 1998). Por sua vez, a suspensão é um processo que advém da saltação, pelo que além das partículas poderem ser ejetadas e transportadas diretamente em suspensão, também podem a partir da saltação ficar em suspensão (Sterk & Goossens, 2007). Essa transição entre a saltação e a suspensão é conhecida como saltação modificada (Sterk & Goossens, 2007). O diâmetro das partículas em suspensão é inferior a 50 μm e podem permanecer no ar por umas horas, dias ou semanas, em altitudes que podem atingir os milhares de quilómetros (Sterk & Goossens, 2007), tal como foi referido no subcapítulo anterior. Podem ainda, ocorrer situações em que as poeiras são transportadas à superfície (Querol *et al.*, 2010). Assim que as poeiras são injetadas na Atmosfera Livre, são transportadas horizontalmente (Nickovic, 1996) por milhares de quilómetros desde a origem (UNEP *et al.*, 2016), dependendo das condições sinóticas (Nickovic, 1996).

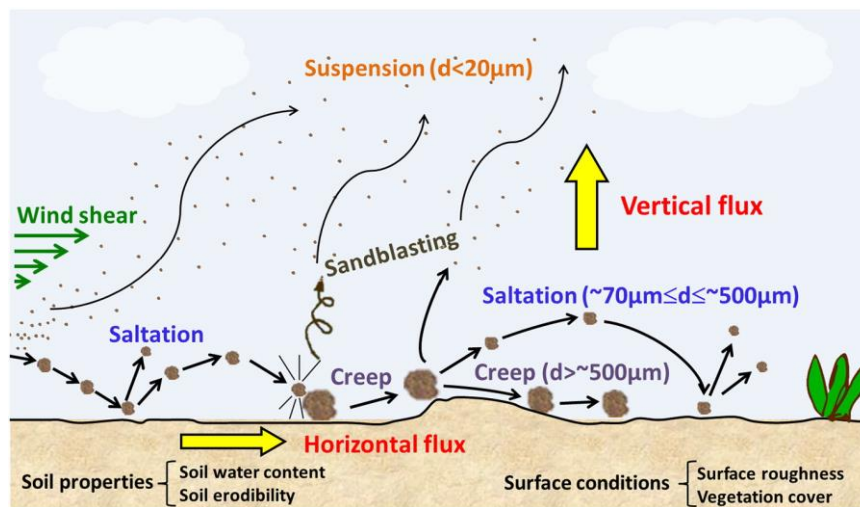


Figura 6: Modos de transporte das partículas.

Fonte: Gherboudj *et al.*, (2016:344)

O transporte das poeiras do Norte de África pode tomar diversas trajetórias. A principal é sobre o Atlântico (Carlson & Prospero, 1972; Díaz *et al.*, 2017) (**Figura 7**). Neste tipo de trajetórias as poeiras atingem a Europa, nomeadamente a Península Ibérica, através de oeste, onde as plumas formam um arco bem definido (Querol *et al.*, 2010). As poeiras chegam ainda a lugares como a Madeira e as Canárias (Querol *et al.*, 2010); Cabo Verde

(Peter Knippertz & Fink, 2006); as várias ilhas das Caraíbas (Carlson & Prospero, 1972; Griffin *et al.*, 2001b; Perry *et al.*, 1997); a América Central (Prospero, 1996); a América do Sul (Perry *et al.*, 1997; Prospero & Lamb, 2003; Swap *et al.*, 1992), sobretudo sobre a Amazônia (Swap *et al.*, 1992); a América do Norte (Prospero, 1996), nomeadamente, os Estados Unidos da América (Perry *et al.*, 1997; Prospero, 1999) e o México (Kubilay *et al.*, 2000), chegando mesmo ao Ártico (Griffin *et al.*, 2001b).

As poeiras podem ser também transportadas para a bacia mediterrânica (Morales-Baquero & Pérez-Martínez, 2016; Prospero, 1996) (**Figura 7 e 8**). Aqui podem tomar dois trajetos: para oeste (Middleton & Goudie, 2001; Pey *et al.*, 2013), afetando a Península Ibérica (Escudero *et al.*, 2005; Querol *et al.*, 2010), mas também o centro e norte da Europa (Franzén *et al.*, 1994) e ainda para este (Pey *et al.*, 2013), atingindo a Grécia (Kubilay *et al.*, 2000; Pey *et al.*, 2013), Chipre (Pey *et al.*, 2013), e o Médio Oriente (Israelevich *et al.*, 2002; Kubilay *et al.*, 2000; Prospero, 1996). De acordo com uma estimativa realizada por d'Almeida (1986) chegam à Europa 80 a 120 milhões de toneladas de poeira por ano

O transporte de poeiras é caracterizado por diferenças ao nível da estação do ano. Durante a primavera e o verão é quando ocorre o maior número de episódios (Engelstaedter *et al.*, 2006; Goudie & Middleton, 2001; Marconi *et al.*, 2014; Prospero, 1996), com plumas de poeira extensas e diluídas (Cachorro *et al.*, 2006). Dentro do período compreendido nestas estações, os meses em que mais poeiras se verificam na atmosfera são entre maio e agosto (Escudero *et al.*, 2005). Segundo Knippertz & Todd (2012) os períodos mais ativos decorrem entre maio e setembro, estando assim em concordância com Escudero *et al.* (2005). Por sua vez, durante o outono e o inverno, os episódios de poeiras naturais na atmosfera são menos frequentes e menos duradouros (Cachorro *et al.*, 2006), embora as plumas possam ser mais intensas (Cachorro *et al.*, 2006; Pey *et al.*, 2013). No período compreendido entre outubro e março é quando a atividade das poeiras diminui, sendo que o período mais fraco se dá nos meses de dezembro e novembro (Escudero *et al.*, 2005; Knippertz & Todd, 2012). O mês de abril não está inserido nestes períodos, no entanto, Escudero *et al.* (2005) afirmam que é um mês com muito poucos episódios.

As trajetórias mais relevantes para a área de estudo e para Portugal continental em geral, são, portanto, aquelas que vão em direção ao mar Mediterrâneo/sul da Europa e em direção ao oceano Atlântico **Figuras 7 e 8**.

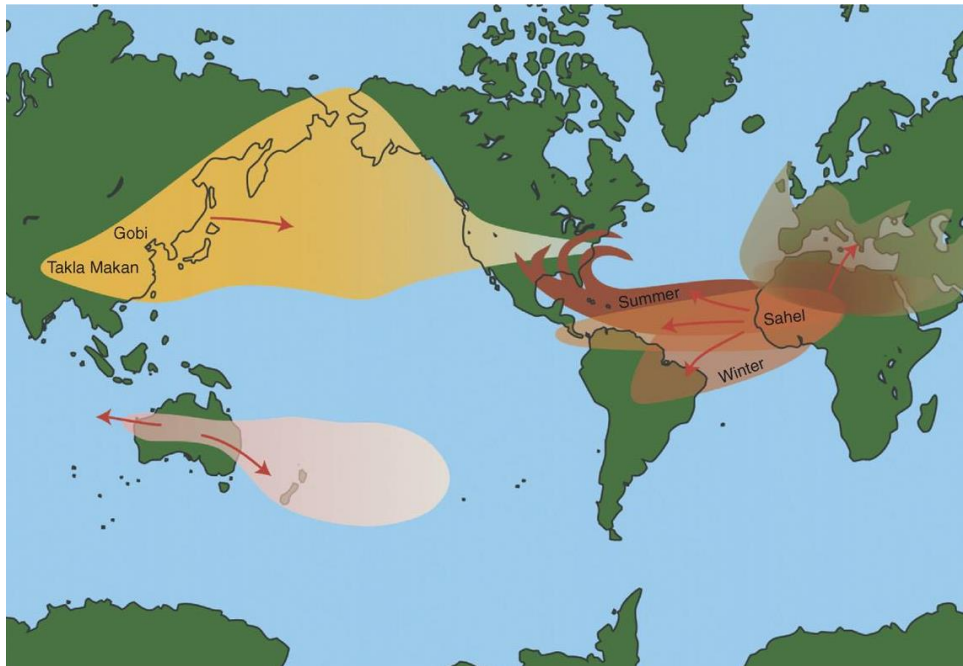


Figura 7: Trajetórias das poeiras a nível mundial.

Fonte: Kellogg & Griffin (2006)

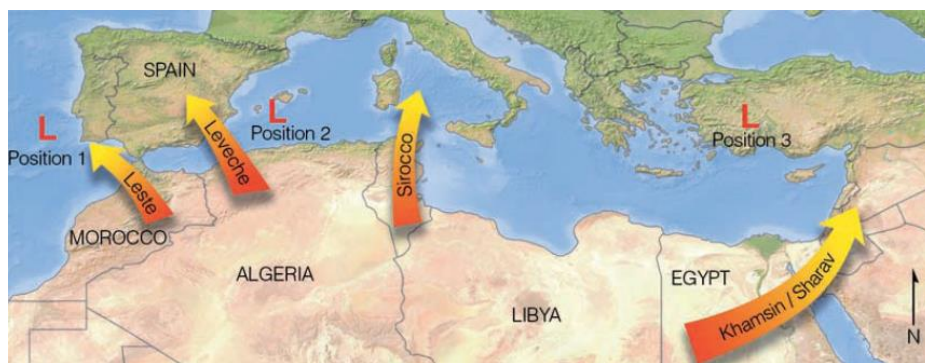


Figura 8: Fluxos de poeira do Norte de África para a Europa, com o nome dos respetivos ventos associados.

Fonte: Ahrens (2009)

Escudero *et al.* (2005) identificaram quatro cenários sinóticos principais responsáveis pelo transporte de poeiras do Norte de África para a Península Ibérica. Dois deles são relacionados com baixas pressões e os outros dois associados a altas pressões. O primeiro cenário descrito refere-se a uma alta pressão situada sobre o Norte de África (Escudero *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2001), que também se pode localizar no sul da Península Ibérica ou no oeste do Mediterrâneo (Rodríguez *et al.*, 2001), ou ainda, a oeste da costa

atlântica do Norte de África (Alonso-Pérez *et al.*, 2011). Este sistema situa-se a baixas altitudes e beneficia da ausência da influência do anticiclone dos Açores, sendo que, as poeiras são bem visíveis entre os níveis superficiais e os 850 hPa (Escudero *et al.*, 2005). Os materiais são transportados sobre o oceano Atlântico e chegam à Península Ibérica por oeste (Querol *et al.*, 2010). São episódios em ambiente seco, com impactos significativos na qualidade do ar e ocorrem sobretudo entre janeiro e março (Escudero *et al.*, 2005; Querol *et al.*, 2010), com origens essencialmente no Sahel, mas também no Sáara Ocidental, Mauritânia e oeste da Argélia (Querol *et al.*, 2010).

O segundo cenário descrito por Escudero *et al.* (2005) corresponde à influência de uma depressão localizada sobre o oceano Atlântico entre o sudoeste de Portugal e Marrocos, cuja circulação se faz sentir em especial entre os 850 e os 700 hPa (Knippertz & Todd, 2012; Salvador *et al.*, 2014). Nos episódios marcados por esta situação sinótica, as poeiras entram na Península Ibérica a partir de este, ou seja pelo Mediterrâneo (Knippertz & Todd, 2012; Rodríguez *et al.*, 2001). Esse transporte beneficia ainda, segundo (Rodríguez *et al.*, 2001; Salvador *et al.*, 2014) da presença de uma alta pressão localizada no centro do Mediterrâneo, a cerca de 850 hPa. As poeiras nestes episódios são provenientes da Mauritânia, Mali e Marrocos (Escudero *et al.*, 2005). O cenário descrito observa-se geralmente entre novembro e abril (Knippertz & Todd, 2012).

O terceiro cenário envolve também ele um sistema depressionário perto da superfície que se situa no Norte de África, ou em Marrocos, Argélia, Tunísia, ou até mesmo no Mediterrâneo ocidental (Escudero *et al.*, 2005). A situação sinótica nestes dias é ainda caracterizada pela presença do anticiclone dos Açores mais a este que o habitual (Escudero *et al.*, 2005). Nesta situação, as poeiras entram na Península Ibérica pelo Mediterrâneo e têm como proveniência a Argélia, a Tunísia, a Líbia e o Chade (Escudero *et al.*, 2005). Uma outra característica deste evento, é que o transporte de poeiras é acompanhado por episódios de precipitação (Escudero *et al.*, 2005), produzindo as denominadas chuvas vermelhas (Avila *et al.*, 1997). Segundo Avila *et al.* (1997) e Rodríguez *et al.* (2001) os episódios de transporte acompanhados de precipitação promovem episódios com níveis fracos de poluição atmosférica devido às partículas de poeira. Normalmente, este tipo de situações ocorrem mais entre janeiro e junho (Querol *et al.*, 2010).

O quarto cenário é marcado pela presença de um anticiclone em altitude, a cima dos 850 hPa (Alonso-Pérez *et al.*, 2011; Escudero *et al.*, 2005; Querol *et al.*, 2010) situado sobre

o Sáara Ocidental, Marrocos ou a Tunísia (Knippertz & Todd, 2012). Este anticiclone sobrepõe-se a uma baixa pressão térmica produzida pelo sobreaquecimento da superfície, sendo a emissão das poeiras ativada por processos de convecção (Knippertz & Todd, 2012; Querol *et al.*, 2010). Este mecanismo foi explicado no subcapítulo anterior. Depois da convecção, as poeiras são transportadas pela circulação associada ao anticiclone (Rodríguez *et al.*, 2001). Salvador *et al.* (2014) afirmam que este tipo de circulação promove a advecção das poeiras para a Península Ibérica, que chegam de sul a sudoeste, através de ventos em altitude. Esta situação ocorre essencialmente no verão (Knippertz & Todd, 2012), entre junho e agosto (Alonso-Pérez *et al.*, 2011). Os dias marcados por esta situação sinótica são os que têm mais poeira envolvida (Escudero *et al.*, 2005) e, que tipicamente, afetam o conjunto do território da Península Ibérica (Querol *et al.*, 2010).

Salvador *et al.* (2014) mencionam ainda outro cenário. Trata-se de uma alta pressão que se situa entre o oriente argelino e a Líbia a 850 hPa (Salvador *et al.*, 2014). O transporte das poeiras derivado do anticiclone vai beneficiar ainda de uma fraca intensidade do anticiclone dos Açores, como ainda do fluxo da baixa pressão da Islândia estar mais ativo (Salvador *et al.*, 2014). Este cenário ocorre mais na primavera, com as poeiras a provirem do Sáara Ocidental e Marrocos, chegando à Península Ibérica através de este (Salvador *et al.*, 2014), visível através da **Figura 8**, designado como Levante.

2.4. Deposição das poeiras

Há medida que as poeiras são transportadas na atmosfera pode, também, dar-se o processo de deposição das mesmas. A rapidez da transição entre as partículas estarem suspensas na atmosfera e a sua deposição vai depender da ação do vento e das características das poeiras, nomeadamente, a sua massa e forma (Goudie & Middleton, 2006). Ahrens (2009) e Tegen & Fung (1994) mencionam que as maiores partículas são removidas em primeiro lugar, por ação da gravidade, enquanto as mais pequenas se depositam por ação da precipitação.

A deposição por ação da força da gravidade e de fluxos de ar turbulentos designa-se por deposição seca, enquanto a deposição por ação da precipitação designa-se por deposição húmida (Ahrens, 2009; Goudie & Middleton, 2006; Knippertz & Todd, 2012; Morales-Baquero & Pérez-Martínez, 2016; Nickovic, 1996). A deposição húmida pode ocorrer por debaixo das nuvens, em que a precipitação ao descer até à superfície arrasta as poeiras

em suspensão até ao solo, ou ainda dentro da nuvem, quando as poeiras se misturam com as gotas de água (Goudie & Middleton, 2006). Os períodos mais ativos em que se verifica deposição seca ocorrem na primavera e no verão, coincidindo com o período com maior frequência de episódios (Goudie & Middleton, 2006; Morales-Baquero & Pérez-Martínez, 2016). A deposição de material na Península Ibérica, assim como no Mediterrâneo (Goudie & Middleton, 2006; Morales-Baquero & Pérez-Martínez, 2016), é maioritariamente seca (Morales-Baquero & Pérez-Martínez, 2016) sobretudo no verão, coincidindo com a altura de maior emissão de poeiras e com a menor quantidade de precipitação (Choobari *et al.*, 2014). No entanto, Guerzoni *et al.* (1997) afirmam o contrário e dizem que a deposição húmida é predominante na bacia do Mediterrâneo devido à quantidade de dias com precipitação, embora, reconheçam que a deposição seca é importante e pode, em certas ocasiões, ser mais frequente que a deposição húmida. Bergametti *et al.* (1989) reconhecem também que a deposição húmida é predominante e referem ainda que esse tipo de deposição é o mais eficaz.

Guerzoni *et al.* (1997) referem que existe uma relação entre a deposição seca e a distância, ou seja, a deposição seca vai diminuindo com a distância à origem, enquanto que a mesma relação não foi encontrada para a deposição húmida. Segundo Jaenicke & Schütz (1978) e Schütz *et al.*, (1981), a larga maioria dos materiais depositam-se nos primeiros 2000 quilómetros. A área mais afetada na Península Ibérica localiza-se no sudeste (Pey *et al.*, 2013), onde a distância até ao deserto do Sáara é menor, cerca de 1500 quilómetros (Morales-Baquero & Pérez-Martínez, 2016). Estima-se, ainda, que cerca de 50% das poeiras produzidas mundialmente se depositam sobre o mar (Goudie & Middleton, 2006).

A deposição dos materiais está interligada com as situações sinóticas, abordadas no subcapítulo anterior. A deposição húmida, como foi referido, está associada à precipitação, que por sua vez está relacionada com as baixas pressões presentes sobre o oceano Atlântico a oeste da Península Ibérica, no Mediterrâneo central ou no Norte de África (Avila *et al.*, 1997; Escudero *et al.*, 2005). Querol *et al.* (2010) afirmam mesmo que a maioria dos eventos de poeiras sobre a Península Ibérica acontecem simultaneamente com episódios de precipitação. A deposição seca, tal como o nome indica, acontece em períodos sem precipitação, sendo assim mais frequente nos meses de verão nesta região (Choobari *et al.*, 2014; Goudie & Middleton, 2006). Este período coincide com a presença de altas pressões a 850 hPa sobre o Norte de África (Alonso-

Pérez *et al.*, 2011; Escudero *et al.*, 2005; Querol *et al.*, 2010), pelo que se pode assumir que além de transportar as poeiras, este sistema promove igualmente a sua deposição.

Avila *et al.* (1997) e Guerzoni *et al.* (1997) recolheram amostras de partículas durante episódios de deposição de materiais e descobriram que os minerais mais comuns no Mediterrâneo e na Península Ibérica que advêm das poeiras do Norte de África são a illite, a esmectite, caulinite, quartzo, dolomito e a paligorsquite.

2.5. Influência das poeiras na saúde humana

A Organização Mundial de Saúde define saúde como o “estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não a falta de doenças ou de enfermidades” (OMS, 1946:1). Os episódios de transporte de poeiras do Norte de África para o resto do mundo, sobretudo para a Europa, têm recebido muita atenção por parte da comunidade científica, devido à sua ameaça à qualidade do ar e por consequência à saúde humana (Sterk & Goossens, 2007).

As poeiras que circulam na atmosfera, juntamente com outras partículas, são a forma de poluição que mais pessoas afeta (UNEP *et al.*, 2016). Depois de inaladas, as poeiras são consideradas uma grave ameaça à saúde (Sterk & Goossens, 2007), sobretudo se a exposição for prolongada, frequente ou mesmo permanente (OMS, 2018). As partículas a que mais atenção se dá nos estudos dos problemas de saúde desencadeados pela sua inalação são as PM10, com um raio aerodinâmico igual ou menor a 10 µm ou 0,01 mm, e as PM2.5, com um raio aerodinâmico igual ou menor a 2.5 µm ou 0,0025 mm (Goudie, 2014; UNEP *et al.*, 2016) (**Figura 9**). Segundo a OMS (2018) a matéria particulada (em inglês, *particulate matter*, “PM”), é um indicador de poluição para as partículas em suspensão como as poeiras minerais que vêm do Norte de África assim como outros tipos de materiais. Essas partículas são uma mistura de substâncias sólidas e líquidas de origem orgânica ou não orgânica que se encontram suspensas no ar (Ahrens, 2009; OMS, 2018).



Figura 9: Tamanho das partículas em suspensão PM₁₀ e PM_{2.5}.

Fonte: PrevQualar - <http://www.prevqualar.org/content.action?cid=contentInformation>

Devido a esta ameaça a OMS e a União Europeia estabeleceram limites diários e anuais para a quantidade de PM₁₀ e PM_{2.5}, que não devem ser ultrapassados de forma a assegurar a qualidade do ar (Mallone *et al.*, 2011). A OMS estabeleceu como limite médio anual para as partículas PM₁₀ e PM_{2.5} aproximadamente, 20 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente, enquanto o limite diário é de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para as primeiras e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para as segundas (OMS, 2018). Por sua vez, a União Europeia definiu, através da Diretiva 2008/50/CE o limite médio anual para as partículas PM_{2.5} e PM₁₀ de 25 e 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente, seguindo, contudo, as mesmas indicações da OMS no que diz respeito ao limite diário (Comissão Europeia, 2011). Não obstante, a Diretiva 2008/50/CE ressalva que o limite diário de PM₁₀ não pode ser excedido mais de 35 dias ao ano (Comissão Europeia, 2011). A Comissão Europeia permite ainda, aos Estados Membros, subtrair aos limites mencionados os valores das contribuições naturais de poluição, como as das poeiras do Norte de África, ou das cinzas de vulcões entre outras, desde que se prove que estas não têm ligação à atividade humana (Comissão Europeia, 2011).

Esta premissa da Diretiva 2008/50/CE poderia vir a ser revista, uma vez que, como já se demonstrou neste capítulo, através da literatura, que parte das poeiras são produzidas pela ação humana, sobretudo no Sahel. Uma outra passagem presente no documento sobre as diretrizes da Diretiva 2008/50/CE, publicado pela Comissão Europeia em 2011, refere ainda na sua página 9 que “se a ação humana puder prevenir a concentração excessiva”, de partículas provenientes de fontes naturais, “o evento não é considerado como natural”,

pelo que, se o Homem pode provocar um incremento de partículas em suspensão, também pode ter um papel na prevenção/mitigação das poeiras emitidas. Outra questão que se coloca é que mesmo que as contribuições tenham origem natural, elas causam o agravamento da qualidade do ar, pelo que não deveriam ser excluídas desses limites. Posto isto e como se referiu anteriormente, se as contribuições humanas derivam das más práticas de uso do solo, pelo que não deveria a Diretiva 2008/50/CE ser revista e ter em conta os estudos produzidos sobre a temática?

Mallone *et al.* (2011), refere ainda que, os limites impostos deveriam ter em conta os efeitos potenciais das poeiras provenientes de fontes naturais na saúde. Marconi *et al.* (2014) afirmam que os limites impostos no Mediterrâneo são facilmente ultrapassados, devido à recorrência destes fenómenos. Estima-se que nos períodos de intrusão de poeiras no Mediterrâneo, 60% dos valores registados de PM10 provenham dessa mesma contribuição (Comissão Europeia, 2011).

As partículas PM10 são perigosas sobretudo se o contacto for prolongado e podem causar problemas de saúde devido ao seu tamanho, já que são pequenas o suficiente para passar qualquer defesa do sistema respiratório (Ahrens, 2009; Goudie, 2014; Griffin, 2007). As partículas PM2.5 são as mais danosas porque conseguem passar além do tecido pulmonar (Ahrens, 2009; Griffin, 2007) até aos bronquíolos e alvéolos (Goudie, 2014) (**Figura 10**). Apesar do sistema respiratório ter defesas como os pelos nasais e o muco, não quer dizer que estes sejam infalíveis, sobretudo quando a concentração de partículas é maior que aquilo que as defesas conseguem proteger (Griffin *et al.*, 2001a).

Estas partículas podem, ainda, causar outros danos derivados dos componentes que estas transportam, como pólenes (Ahrens, 2009) e outros alérgenos (Goudie & Middleton, 2006), mas também micróbios (Griffin *et al.*, 2002), nomeadamente bactérias e vírus (Goudie & Middleton, 2006; Griffin *et al.*, 2002; Remer, 2006). São transportados também fungos (Griffin *et al.*, 2002) e químicos tóxicos (Goudie & Middleton, 2006), como por exemplo herbicidas e pesticidas (Griffin *et al.*, 2002). Griffin *et al.* (2001b) estimam que durante episódios de poeiras do Norte de África há 10 vezes mais bactérias em circulação na atmosfera. Griffin *et al.* (2002) também estimam que há cerca de 1 milhão de bactérias por grama de solo, por isso, dado que milhões de toneladas são emitidas para atmosfera todos os anos, a quantidade de bactérias na atmosfera em circulação derivadas das poeiras do Norte de África ainda não foi determinado.

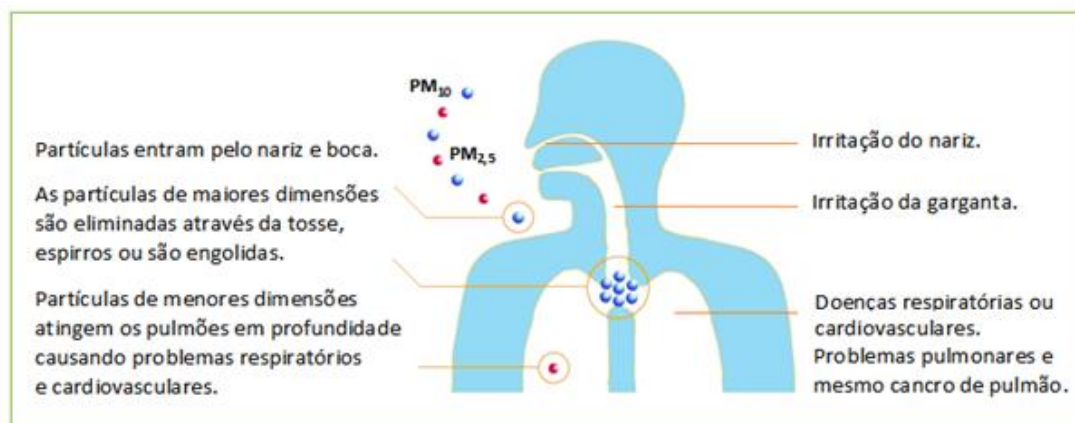


Figura 10: Inalação de partículas PM10 e PM2.5. Adaptação da Environment Assured, pela QualAr.

Fonte: PrevQualar - <http://www.prevqualar.org/content.action?cid=contentInformation>

Segundo Griffin & Kellogg (2004), os vírus e as bactérias transportadas nas poeiras são oportunistas, uma vez que afetam pessoas com problemas imunológicos, ou imunodeprimidas ou com o sistema imunológico em desenvolvimento ou já em decadência (e.g. idosos). Em geral, as partículas afetam sobretudo as pessoas com problemas respiratórios crónicos, embora interfiram ainda com o ritmo cardíaco (Ahrens, 2009). Pope (2000) acrescenta que os idosos, as crianças, as pessoas com problemas cardiorrespiratórios crónicos (como por exemplo a gripe ou asma) são as mais vulneráveis. Os idosos contam-se entre os mais vulneráveis por dois motivos, o primeiro é o facto do seu sistema imunitário estar em decadência (Griffin & Kellogg, 2004; Jiménez *et al.*, 2010), enquanto o segundo se deve ao excesso de medicamentos que tomam, tornando-os mais suscetíveis aos produtos tóxicos presentes no ar, sendo também por isso considerados um grupo de risco (Jiménez *et al.*, 2010).

Na literatura internacional relativamente às doenças causadas ou agravadas pela exposição prolongada à inalação deste tipo de partículas (PM10 e 2.5) são mais frequentemente referidas as do tipo respiratório e cardiovascular (Goudie, 2014; UNEP *et al.*, 2016). Os problemas de âmbito respiratório acontecem porque as partículas depositam-se na parte superior do sistema respiratório, nomeadamente as PM10 (Derbyshire, 2007), podendo mesmo chegar às partes mais baixas (Brunekreef & Holgate, 2002). A expectoração permite expulsar essas partículas, porém os seus efeitos tóxicos podem persistir (Derbyshire, 2007). Por sua vez as partículas mais finas PM2.5 penetram

os pulmões e afetam a região onde se produz a hematose (Brunekreef & Holgate, 2002). As patologias mais comuns nos problemas respiratórios são a irritação e inflamação do sistema respiratório (Goudie, 2014; UNEP *et al.*, 2016), asma (Brunekreef & Holgate, 2002; Derbyshire, 2007; Griffin *et al.*, 2001a; UNEP *et al.*, 2016; Ahrens, 2009; Middleton, 2017), pneumonia (Goudie, 2014; UNEP *et al.*, 2016), rinite alérgica (Goudie, 2014; UNEP *et al.*, 2016), bronquite (Goudie & Middleton, 2006; Middleton, 2017; UNEP *et al.*, 2016), doenças obstrutivas pulmonares como os enfisemas (Brunekreef & Holgate, 2002; Chien *et al.*, 2014; Goudie & Middleton, 2006; Middleton, 2017) e reações alérgicas ou agravamento das mesmas (Griffin *et al.*, 2001a; Monteil, 2008).

Os problemas do tipo cardiovascular derivam de três causas principais: A primeira é através de uma inflamação pulmonar ou noutra parte do sistema respiratório, que vai provocar disfunção endotelial, originando um estado de maior coagulação e promovendo lesões ligadas à aterosclerose (Brook, 2008; Schülz *et al.*, 2005). A segunda é através de um desequilíbrio do sistema nervoso devido a inflamações (Brook, 2008; Schülz *et al.*, 2005). A terceira corresponde a disfunções cardíacas ao nível do miocárdio (Brook, 2008; Schülz *et al.*, 2005). Por sua vez, estas vão desencadear a contração dos vasos sanguíneos, assim como ações trombóticas, arritmias e disfunções endoteliais (Brook, 2008). As doenças que mais decorrem destes efeitos são o acidente vascular cerebral (Chien *et al.*, 2014; Goudie, 2014; Martinelli *et al.*, 2013), enfartes do miocárdio, arritmias e trombooses (Martinelli *et al.*, 2013)

Brook (2008) revela ainda que mesmo o contacto por umas horas com partículas inaláveis pode ser perigoso, causando todos estes problemas enunciados, e se porventura o contacto for prolongado há o risco de se desenvolverem doenças crónicas.

Outras doenças que podem surgir são infeções oculares como a conjuntivite (Chien *et al.*, 2014; Goudie, 2014), problemas dermatológicos variados (Goudie, 2014), e ainda, meningite meningocócica (Goudie, 2014; UNEP *et al.*, 2016).

Vários estudos têm sido produzidos no mundo inteiro para averiguar as relações entre as poeiras em circulação na atmosfera, as doenças mencionadas (sobretudo asma), hospitalizações e até mesmo a mortalidade, com resultados interessantes. Exemplos de estudos no continente americano são os de Gyan *et al.* (2005), Howitt (2000) e Pope *et al.* (2002) e na Ásia os de Kanatani *et al.* (2010), de Chien *et al.* (2012) e de Tao *et al.*

(2012). A quantidade de estudos existentes na literatura é muito vasta, sendo aqui apresentados apenas alguns exemplos.

Os estudos efetuados no sul da Europa também vão de encontro aos mesmos resultados, podendo referir-se trabalhos de autores como: Díaz *et al.* (2012), Tobías *et al.* (2011) e Jiménez *et al.* (2010) em Madrid; Pérez *et al.* (2008) e Pérez *et al.* (2012) em Barcelona; Sajani *et al.* (2011) em Itália; Alessandrini *et al.* (2013) e Mallone *et al.* (2011) em Roma; Samoli *et al.* (2011a) em Atenas e Neophytou *et al.* (2013) em Nicósia encontraram uma relação entre as tempestades de poeira vindas do Norte de África e mortalidade por causas cardiorrespiratórias. No estudo de Pérez *et al.* (2012) é ainda indicado que exposições curtas também podem ser igualmente fatais. Relativamente à população mais vulnerável, segundo Jiménez *et al.* (2010), é a faixa etária acima dos 65 anos, enquanto para Samoli *et al.* (2011a) e Sajani *et al.* (2011) o grupo identificado é o de mais de 75 anos. Os estudos de Alessandrini *et al.* (2013), Samoli *et al.* (2011a), Sajani *et al.* (2011) apontam ainda uma relação com o aumento de doenças respiratórias. Essas patologias respiratórias são na maioria das vezes a asma pediátrica (Samoli *et al.*, 2011b). Alessandrini *et al.* (2013) evidenciam também o aumento de problemas cerebrovasculares cardíacos. Estes autores encontraram relação entre os episódios de poeiras e os internamentos pelas causas referidas. Por último, um outro trabalho de Middleton *et al.* (2008) em Nicósia destaca o aumento do número de hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares com as poeiras.

A concluir, deve notar-se que é grande a necessidade de desenvolver estudos sobre os impactos que as partículas inaláveis têm sobre a saúde humana, uma vez que esta temática não foi, ainda, suficientemente explorada, na ótica de Mallone *et al.* (2011).

3. Metodologia

3.1. Dias de intrusão de poeiras no Alentejo central entre 2005 e 2015

A seleção dos dias de intrusão de poeiras do Norte de África, no Alentejo Central, para o período de 2006 a 2015 teve como base os relatórios anuais de Identificação de Eventos Naturais, que são produzidos pela Agência Portuguesa do Ambiente em parceria com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Estes relatórios estão disponíveis na página *Web* da APA. A seleção dos dias para o ano de 2005 teve critérios diferentes, como se explicará ainda neste capítulo.

Os critérios que a APA utiliza para a identificação dos dias de intrusão de poeiras são ligeiramente diferentes ao longo do período de análise. Numa primeira fase, durante a qual foram publicados os relatórios de 2006 a 2008, a APA apenas teve em conta a análise da concentração de partículas PM10. Na segunda fase, foram publicados os relatórios de 2009 até ao presente ano, com base nas diretrizes definidas na Diretiva 2008/50/CE. Esta Diretiva foi publicada no âmbito do Sexto Programa Comunitário de ação em matéria de Ambiente. Por sua vez, a metodologia para identificar os dias de intrusão de poeiras foi publicada no documento *Establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe* em 2011, foi validada por Escudero *et al.* (2007) e aplicada pela primeira vez por Querol *et al.* (2009). Desta forma a metodologia publicada no documento da Comissão Europeia (2011) contempla os seguintes elementos:

- Interpretação diária de modelos de retrotrajetórias, como é exemplo o HYSPLIT, até 5 dias antes do evento, calculadas às 12 horas para os 750, 1500 e 2500 metros acima do nível do mar, sendo que as mesmas têm de ser validadas através da análise de cartas sinóticas;
- Interpretação de imagens de índices de aerossóis do Instrumento de Monitorização de Ozono que pode ser obtido na página da NASA;
- Consulta de modelos de previsão de intrusão de aerossóis como o SKIRON ou BSC-DREAM;
- Consulta de modelos de campos de vento à superfície e em altitude, como é exemplo o HIRLAM;
- Análise da concentração de partículas PM10 em estações de fundo rural;

Embora a Comissão Europeia proponha estes critérios, a APA só utiliza 3, mais precisamente a análise dos modelos de retrotrajetórias, os modelos de previsão de intrusão de aerossóis e a concentração de partículas PM10. Assim sendo, através dos relatórios da APA foram identificados 825 (**Quadro 29**, em anexo) dias com intrusão de poeiras no Alentejo Central, entre 2006 e 2015, tomando como referência a estação rural de fundo de Terena.

Na presente investigação foi decidido realizar uma validação destes 825 dias, de forma a constituir um novo inventário (dias de validação dos inventários APA). Salienta-se ainda, que para o ano de 2005 os dias de intrusão de poeiras no Alentejo Central que estão integrados no inventário dos dias de validação foram identificados com base nestes critérios, uma vez que não está disponível na página *Web* da APA o relatório do respetivo ano. Assim sendo, a filtragem do inventário da APA baseia-se na interpretação das seguintes condições:

- Imagens de satélite na banda do visível, - cor real, mas também em bandas que permitem a visualização da concentração de aerossóis na atmosfera. As imagens são dos satélites *Terra* e *Aqua*, com o sensor *MODIS*, e foram descarregadas da página *Web* da NASA WorldView, para os 825 dias, com 5 quilómetros de *pixel*. Além da cor real, foram ainda utilizadas duas camadas diferentes de concentração de aerossóis. Estas camadas indicam o nível no qual as partículas suspensas no ar impedem a luz de se deslocar pela atmosfera, através de processos de absorção e dispersão (NASA, 2019). Uma é designada por *Deep Blue Aerosol Optical Depth*, e é calculada através de um algoritmo nomeado por *Deep Blue*, e tem a finalidade de detetar a concentração das partículas sobre terra em regiões áridas (NASA, 2019). A segunda camada é designada por *Aerosol Optical Depth*, e permite observar a concentração das partículas sobre o oceano e terra, nomeadamente em áreas com muita vegetação ou solos negros (NASA, 2019). O cálculo desta camada é efetuado através da junção de dois algoritmos conhecidos como *Dark Target*, um sobre a refletância em terra, nas áreas mencionadas antes, e outro sobre a refletância no oceano (NASA, 2019).

Através destas imagens de satélite foram identificadas as plumas de poeira que progrediram desde o Norte de África até Portugal, mais concretamente até à área de estudo. Note-se ainda que, em algumas plumas, essa análise foi difícil,

devido à presença de muita nebulosidade, ou também, nalguns casos, devido à mistura com plumas de fumo de incêndios.

- Modelos de retrotrajetórias, nomeadamente o HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories*). O HYSPLIT foi introduzido a primeira vez por Draxler e Taylor em 1982 (Draxler & Hess, 1998). Pretende calcular a dispersão atmosférica através de métodos numéricos, mediante a combinação de um método Lagrangeano e Euleriano, permitindo assim obter a advecção, difusão e concentração de poluentes para determinadas grelhas territoriais, a partir de um determinado ponto (Draxler & Hess, 1998). Este modelo foi construído com o objetivo de promover a análise de situações climáticas particulares, entre outras finalidades (Draxler & Hess, 1998). Assim sendo, este modelo foi utilizado para simular o transporte de poeiras que chegaram ao Alentejo Central vindas do Norte de África, através de retrotrajetórias (*backward trajectory*), até 5 dias antes do dia do evento, para dadas altitudes (adiante indicadas), a partir de um ponto na área de estudo (Évora). Foram assim, construídos os modelos para cada um dos 825 dias registados nos relatórios da APA. Para este estudo, os modelos HYSPLIT foram construídos na página *Web* da NOAA, mais precisamente no *HYSPLIT Trajectory Model*. Aqui, escolheu-se um local de destino onde começaria a trajetória inversa das plumas. Assim, introduziram-se as coordenadas geográficas 38°58'00"N, 7°91'00"W, correspondentes à localização da cidade de Évora. Em seguida, selecionou-se a base de dados atmosféricos para correr do modelo, tendo sido escolhida a *Reanalysis NCEP/NCAR*. Esta base de dados apesar de ter uma rede com uma resolução mais pequena, ou seja, menos fina, e isso constituir uma limitação, foi escolhida por ter dados para todo o período de estudo, bem como para o local. Posteriormente, selecionou-se o tipo de trajetória, que é a inversa, como já referido, bem como a data. Fez-se o cálculo do modelo sempre para as 12 horas de cada dia até 5 dias antes do evento, como está explícito na Diretiva 2008/50/CE. Por fim, optou-se por selecionar as altitudes (nível de chegada das trajetórias) 700, 1500 e 2500 metros acima do nível do solo, uma vez que a opção acima do nível do mar se encontrava indisponível.
- Concentração de partículas PM10 e PM2.5. Os dados destes poluentes relativos à estação de Terena (no Alentejo Central), foram descarregados através da página *Web* da rede QualAr, que é a base de dados de qualidade do ar que pertence à Agência Portuguesa do Ambiente. Os valores dos dados são horários e foram

recolhidos para todos os dias dos vários anos de estudo. Após a recolha dos dados estes foram transformados em médias diárias, desde que os respetivos dias tivessem 12 ou mais horas de medição. Note-se, que os dados QualAr apresentam em múltiplas ocasiões falta de registos, sendo essa a principal limitação desta informação. Através destes dados, é possível observar as excedências dos valores limite legais das partículas na atmosfera, que significam condições nefastas de qualidade do ar e eventualmente prejudiciais para a saúde das populações. Como limites de concentração utilizaram-se os definidos pela Diretiva 2008/50/CE que prevê:

- PM10 médio diário – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM10 médio anual – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM2.5 médio diário – 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM2.5 médio anual – 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Após a definição deste filtro, decidiu-se ainda que, dos 825 dias apresentados pela APA, selecionar-se-iam para o inventário dos dias de validação APA os dias que cumprissem com, pelo menos, dois dos três critérios enunciados. Assim sendo, a título de exemplo, se num dos dias se verificassem plumas de poeiras vindas do Norte de África através do HYSPLIT e das imagens de satélite, mas as concentrações de partículas não excedessem o limite, esse dia seria selecionado na mesma. O critério foi cumprir dois dos três requisitos. No caso de estar em falta um dos requisitos, como por exemplo, a concentração de partículas, só se selecionaram os dias em que através das imagens de satélite fosse evidente a presença de plumas de poeira norte africana sobre o território de estudo.

Deste modo, dos 825 dias de intrusão de poeiras no Alentejo Central identificados pela APA, foram selecionados para o inventário de validação 246 (**Quadro 30**, em anexo).

3.1.1. Distribuição intra e interanual dos episódios. Comparação entre o inventário APA e os dias de validação.

Com os dias de intrusão de poeiras norte africanas no Alentejo Central identificados pela APA e com os que constituem o inventário de validação, procedeu-se a uma comparação estatística relativa à ocorrência destes episódios. Esta comparação foi realizada interanualmente, ou seja, entre o total de cada ano para o período 2005-2015, mas também intra-anualmente, ou seja, entre o total de cada um dos doze meses, e entre o total de cada

uma das estações do ano, para o mesmo período. As estações do ano foram definidas através das datas dos equinócios de março e setembro, e solstícios de junho e dezembro. As datas definidas são:

- Inverno – 21 de dezembro a 19 de março
- Primavera – 20 de março a 20 de junho
- Verão – 21 de junho a 22 de setembro
- Outono – 23 de setembro a 20 de dezembro

Além da análise estatística já mencionada, foi, ainda, realizada a quantificação e duração de eventos, de forma a completar e reforçar os resultados obtidos anteriormente. Foram apenas tidos em conta os dias que constituem o inventário de validação, com o objetivo de restringir a quantidade de episódios em estudo, assim como se teve em conta o período das estações do ano, uma vez que esta é a unidade temporal de análise mais utilizada na literatura. Um evento nesta análise foi considerado o período de mais de um dia seguido em que se verificou a intrusão das partículas. As várias análises estatísticas foram realizadas com recurso ao *Microsoft Office Excel*.

3.2. Caracterização dos dias de intrusão de poeiras relativos aos dias de validação

3.2.1. Concentrações PM10 e PM2.5

As concentrações de PM10 e PM2.5, obtidas da rede QualAr, também foram alvo de um apuramento estatístico. Esta avaliação foi realizada para os 246 dias, inventariados no período de estudo definido. A exploração dos dados foi feita em termos inter e intra- anuais, com o objetivo de identificar as temporadas mais críticas no que diz respeito às concentrações destas partículas.

Assim sendo, a partir dos valores médios diários e a partir dos limites diários e anuais impostos pela Diretiva 2008/50/CE realizou-se uma análise exploratória destas variáveis. A primeira observação foi a percentagem de dias que excediam o limite médio diário, de acordo com o total anual, mensal ou estacional. A segunda observação foi, a partir dos dias que superavam os limites permitidos, proceder ao cálculo do número de horas que em média esse limite era excedido. Apesar de nesta análise o limite ser relativo à média diária, o documento da Comissão Europeia não prevê limites horários. Em seguida, verificou-se a quantidade máxima de horas em que os limites foram ultrapassados para

os dias de excedência, obtendo-se ainda o valor mais elevado de concentração destas partículas. Estas análises foram estruturadas por ano, mês e estação do ano.

3.2.2. Delimitação das plumas de poeira

A delimitação das plumas de poeiras nos episódios que constituem o inventário de validação decorreu através da interpretação das imagens de satélite de cor real, mas sobretudo, das imagens de aerossóis, descarregadas da página *Web* da *NASA WorldView*. As plumas foram delimitadas em toda a sua extensão desde a origem, até à área de estudo, com recurso à ferramenta de vetorização *Editor* do *ArcMap* versão 10.6.1. Seguidamente, as *shapefiles* das plumas foram agrupadas por estação do ano para posterior representação no mapa, sendo que, primeiro aplicou-se 90% de transparência em cada, de forma a poder demonstrar a concentração das mesmas, salientando assim as áreas mais afetadas por este fenómeno. O objetivo da delimitação das plumas é averiguar se no Alentejo Central haveria alguma zona mais afetada que outra, além de permitir ainda verificar, uma vez mais, quais as estações do ano mais afetadas no que toca à frequência e intensidade destes fenómenos, e avaliar, igualmente, a extensão aproximada das plumas. Para completar esta análise foi ainda calculada a área em quilómetros quadrados de cada uma das plumas de poeiras, através da ferramenta *Calculate Geometry* do *ArcMap* versão 10.6.1, de forma a verificar qual a estação do ano em que as plumas apresentam maiores dimensões.

3.2.3. Caracterização das condições de circulação atmosférica

As condições atmosféricas associadas ao transporte das poeiras do Norte de África para o Alentejo Central, nos dias de validação foram também caracterizadas. O objetivo desta avaliação é perceber se existem situações típicas de circulação atmosférica que provocam a intrusão das poeiras no Alentejo Central.

Para esta finalidade, foram utilizados os modelos HYSPLIT e imagens de satélite, que já foram abordados anteriormente no início do terceiro capítulo, assim como campos de reanálise do geopotencial aos 700 hPa e 850 hPa. Estes campos foram construídos através da página *Web KNMI ClimateExplorer*, com base nos dados de reanálise da *Era-Interim* e para os limites geográficos ilustrados nas **Figuras 16, 17, 18 e 19** (21-48N; 18W-9E). Estes foram descarregados da página de *internet* da *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*, em formato NetCDF.

Assim sendo, as reanálises do geopotencial a 700 hPa e 850 hPa, permitiram perceber qual a situação sinótica que condicionou o transporte das poeiras, bem como, localizar espacialmente os núcleos das baixas ou altas pressões. Os modelos HYSPLIT e as imagens de satélite possibilitaram perceber as origens das poeiras e a trajetória das plumas. Os modelos HYSPLIT demonstram, ainda, a altitude a que as poeiras se encontravam na atmosfera. Por sua vez, foram utilizados dados de PM10 e PM2.5 que permitiram perceber as concentrações médias, máximas e mínimas verificadas em cada situação sinótica.

A análise foi estruturada por estações do ano, sendo que relativamente a cada uma foram identificadas as duas situações de sinóticas predominantes, ou seja, as que mais vezes ocorreram. Seguidamente, para cada situação sinótica reconhecida determinou-se a frequência de ocorrência das outras variáveis, como se poderá observar no **Subcapítulo 4.3**. Deste modo, procurou-se entender o tipo de situação sinótica e a localização preferencial dos organismos de pressão dessa mesma situação, bem como a trajetória e a altitude a que as plumas se encontravam na maioria das ocasiões, e ainda a sua origem dominante. Quanto às variáveis da qualidade do ar, calculou-se a concentração média, máxima e mínima, referentes a cada situação e para as quatro estações do ano.

3.3. Descrição estatística dos internamentos e mortalidade no Alentejo Central

Os dados utilizados neste capítulo relativamente aos internamentos do Alentejo Central, entre 2005 e 2015, foram fornecidos, como foi referido anteriormente, pelo Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central, no âmbito do Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas do Alentejo Central. Os dados foram assim aproveitados para este estudo, indo ao encontro do objetivo delineado nesse documento de estudar os impactos potenciais das alterações climáticas no Alentejo Central, de forma, a planear as medidas necessárias à adaptação das populações (PIAAC-AC, 2018b).

Com eles foi produzido um resumo estatístico dos internamentos na área de estudo, bem como um modelo, para averiguar a relação entre a ocorrência das poeiras e os internamentos. Porém, antes disso, procedeu-se à filtragem dos dados, de forma a assegurar a confidencialidade dos pacientes, mas também de forma a reduzir o ruído

presente na base de dados. Assim sendo, a partir da base de dados fornecida criou-se uma nova com a seguinte informação, mediante os seguintes procedimentos:

- Num primeiro filtro, selecionaram-se todos os internamentos no Hospital Espírito Santo de Évora, uma vez que, além de ser o principal hospital desta região, é o único hospital público da mesma, excluindo-se, portanto, todas as outras unidades de saúde públicas ou privadas.
- Após a seleção desse hospital, foram apurados todos os internamentos urgentes, tendo sido descartados os internamentos agendados.
- Em seguida, a partir dos internamentos urgentes no hospital de Évora para o período estudado, foram apurados todos esses internamentos com diagnóstico principal relativo a problemas respiratórios. Para isso foi necessário selecionar um conjunto de causas respiratórias, com base no conhecimento dos efeitos das poeiras na saúde descritos na literatura (**Subcapítulo 2.5**). As doenças de origem cardiovascular foram excluídas, apesar de vários autores também as estudarem no âmbito destes fenómenos, de forma a simplificar e adequar o estudo ao tempo disposto para a sua conclusão.

Na base de dados, os vários tipos de problemas respiratórios encontram-se identificados de acordo com o ICD-9-CM - *International Classification of Diseases, 9th Revision, Clinical Modification*. Este código médico permite assim distinguir o diagnóstico principal que levou à causa do internamento. Estes dados apresentam-se ainda mais desagregados, pelo que foram selecionadas as diversas variações das respetivas doenças respiratórias, que levaram ao internamento urgente no hospital de Évora, como se poderá observar seguidamente. Salienta-se ainda, que foi também tida em conta a Gripe, por ser uma doença respiratória comum, apesar de não vir mencionada em estudos do mesmo âmbito, assim como a pneumoconiose que é uma doença causada pela inalação de partículas.

Deste modo, foram selecionadas as seguintes patologias respiratórias presentes na **Quadro 1**.

Além da informação mencionada, utilizou-se ainda da base de dados, para cada entrada, informação relativa ao género, à idade e à data do internamento, ou datas dos vários

internamentos sucessivos. Desta forma, foi produzida uma análise estatística dos internamentos por género (masculino e feminino), por faixa etária (crianças/jovens dos 0 aos 16, adultos dos 17 aos 64, e por fim, idosos com 65 ou mais anos), por tipo de doença e ainda por período temporal, mês, estação do ano e ano. Através destas variáveis analisou-se cada uma em separado, mas também em conjunto, agrupando os internamentos durante determinada estação do ano com o género, a faixa etária, e o tipo de doença que levou o paciente à hospitalização.

Quadro 1: Doenças respiratórias estudadas na sua relação com as partículas PM10 e PM2.5, de acordo com o diagnóstico primário de internamentos urgentes no hospital de Évora.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

Código ICD-9-CM	Doença
Asma	
49300	Asma extrínseca, não especificada
49301	Asma extrínseca, com estado asmático
49302	Asma extrínseca, com exacerbação (aguda)
49310	Asma intrínseca, não especificada
49312	Asma intrínseca, com exacerbação (aguda)
49321	Asma crónica obstrutiva, com estado asmático
49322	Asma crónica obstrutiva, com exacerbação (aguda)
49391	Asma não especificada, com estado asmático
49392	Asma não especificada, com exacerbação (aguda)
Bronquite	
490	Bronquite, não especificada como aguda ou crónica
4910	Bronquite crónica simples
4911	Bronquite crónica mucopurulenta
4918	Bronquite crónica não classificável em outra parte
Doença pulmonar obstrutiva crónica	
49120	Bronquite crónica obstrutiva, sem exacerbação
49121	Bronquite crónica obstrutiva, com exacerbação (aguda)
49122	Bronquite crónica obstrutiva, com bronquite aguda
Pneumonia	
4800	Pneumonia devida a adenovírus
4801	Pneumonia devida a vírus respiratório sincíclia
4808	Pneumonia devida a vírus não classificados em outra parte
4809	Pneumonia viria não especificada
481	Pneumonia pneumocócica [por estreptococos pneumoniae]
4820	Pneumonia devida a klebsiella pneumoniae

4821	Pneumonia devida a pseudomonas
4822	Pneumonia devida a hemophilus influenzae
48230	Pneumonia devida a estreptococos não especificados
48239	Pneumonia devida a estreptococos não classificados em outra parte
48240	Pneumonia devida a estafilococos não especificados
48241	Pneumonia devida a estafilococos aureus sensível a meticilina
48242	Pneumonia devida a estafilococos aureus resistente a meticilina
48249	Pneumonia devida a estafilococos ncop
48281	Pneumonia devida a anaerobios
48282	Pneumonia devida a escherichia coli [e. Coli]
48283	Pneumonia devida a bactéria gram-negativa não classificada em outra parte
48289	Pneumonia devida a bactéria especificada não classificável em outra parte
4829	Pneumonia bacteriana não especificada
4830	Pneumonia devida a mycoplasma pneumoniae
4838	Pneumonia devida a organismo especificado não classificado em outra parte
486	Pneumonia devida a microrganismo não especificado
Rinite	
4720	Rinite crónica
Infeções na parte superior do sistema respiratório	
4658	Infeções agudas das vias respiratórias superiores de localizações múltiplas
4659	Infeções agudas das vias respiratórias superiores de local não especificado
4789	Doenças das vias respiratórias superiores
Infeções na parte inferior do sistema respiratório	
46611	Bronquiolite aguda devida a vírus sincicial respiratório
46619	Bronquiolite aguda devida a organismo infeccioso n/classificável em outra parte
Pneumoconiose	
502	Pneumoconiose devida a sílicas ou silicatos
505	Pneumoconiose
Gripe	
4870	Gripe com pneumonia
4871	Gripe com manifestações respiratórias não classificadas em outra parte
4878	Gripe com manifestações não classificadas em outra parte

Por sua vez, os dados de mortalidade para o Alentejo Central, foram obtidos da página *Web SICO eVM*, que é administrada pela Direção Geral de Saúde e partilhada com o Sistema Nacional de Saúde. Para fins estatísticos o Sistema de Informação dos Certificados de Óbito (SICO), contabiliza todos os óbitos ocorridos por Distrito, Região de Saúde e Concelho, sendo que para o efeito deste estudo foi tido em conta o Distrito de Évora, que como já mencionado, corresponde ao Alentejo Central. Em relação ao período

de análise, esta base de dados apresenta apenas dados diários relativos aos dois últimos anos tratados neste estudo (2014 e 2015). Com base nesta limitação, a abordagem da possível relação entre a intrusão de poeiras no Alentejo Central e a mortalidade, terá necessariamente um caráter preliminar, podendo, apesar de tudo, suscitar alguns resultados e questões com interesse para desenvolver e aprofundar no futuro.

3.3.1. Relação dos internamentos com variáveis biofísicas e presença/ausência de poeiras em circulação

De forma a verificar se os internamentos estão relacionados com as condições climáticas, com a qualidade do ar, e com a eventual presença de poeiras em circulação na atmosfera sobre a área de estudo procedeu-se à produção de alguns modelos estatísticos elementares, como correlações e uma regressão linear. Estes apesar, de não se utilizarem frequentemente neste tipo de estudos, foram levados a cabo no âmbito de uma abordagem preliminar, visando perceber o grau de relação que as variáveis apresentam entre si, antes da realização da modelação não linear com atraso temporal, utilizada em vários estudos por autores como Foley *et al.* 2003, Gasparrini *et al.* (2010), Pérez *et al.* (2012), Merrifield *et al.* (2013), Gasparrini (2014), Wang *et al.* (2014), Silva (2015), Almendra *et al.* (2019), entre outros. Apesar de tudo, existem alguns estudos em que os autores utilizam modelos, como a regressão linear, pelo que também aqui foi utilizado, enquanto que, no caso das correlações lineares foram mantidas no sentido de expressarem o grau de associação entre variáveis independentes e variáveis resposta (internamentos). Quanto à regressão linear, Korn & Whittemore (2014) afirmam que para uma análise dos efeitos da poluição atmosférica na saúde é o método mais comumente utilizado, embora reflitam sobre algumas limitações deste método. A primeira que referem diz respeito à quantidade de episódios seguidos, que precisam ser estatisticamente independentes e com variabilidade constante. Outra limitação, prende-se com a falta de informação em determinados dias numa série de dados, o que se verificou em algumas das variáveis utilizadas. Um outro problema que estes autores identificam está relacionado com os parâmetros da regressão linear, daí que nestes trabalhos o mais aconselhável seja utilizar modelos com regressões não lineares, como será discutido no próximo capítulo. Apesar de tudo, Korn & Whittemore (2014) utilizaram para o seu estudo uma regressão linear, tal como Carranza *et al.* (2005) e Liu *et al.* (2018).

Desta forma, foram determinadas correlações, de dois tipos Pearson e Spearman, e uma regressão linear *Stepwise*. Estes modelos foram realizados no *software SPSS Statistics 25* da *IBM*. Porém, antes dessa análise, alguns procedimentos de recolha e tratamento de dados tiveram de ser tomados em conta. As variáveis independentes, aquelas que vão ajudar a explicar os internamentos, foram divididas em três categorias. A primeira está relacionada com a ausência ou presença de poeiras em circulação, como já referido. Foram assim criadas três variáveis binárias que variam entre 0 e 1, que por sua vez correspondem à ausência e presença, respetivamente. Uma é a presença de poeiras de acordo com o inventário da APA, outra de presença de poeiras de acordo com o inventário de validação, e uma terceira variável com a ausência de poeiras (tendo em conta os dias APA). A segunda categoria prende-se com as variáveis climáticas, temperatura média diária, temperatura máxima diária, temperatura mínima diária, velocidade média do vento, humidade relativa e precipitação. Estas variáveis foram recolhidas no sítio *web KNMI Climate Explorer*, para a estação do Centro Geofísica de Évora, à exceção das variáveis: velocidade média do vento e humidade relativa, que foram obtidas através da página *web Atmospheric Sciences Water and Climate*, da Universidade de Évora para a mesma estação. A terceira categoria tem que ver com a qualidade do ar, nomeadamente, as concentrações de PM10 e PM2.5, recolhidas da rede QualAr, para a estação de Terena. Relativamente a estas duas variáveis utilizou-se a concentração média diária, mas também a concentração máxima diária. Introduziu-se ainda uma variável de controlo, relacionada com os dias da semana e classificada de 1 a 7, em que o 1 corresponde a Domingo e o 7 a Sábado. A introdução desta variável tem o objetivo de controlar possíveis fatores como efeitos de sazonalidade ou padrões repetitivos, que não estão relacionados com as determinantes ambientais dos internamentos.

Foi ainda produzido um conjunto de variáveis dependentes (ou de resposta) que tem como base os dados das hospitalizações. Aqui utilizou-se o total de internamentos, independentemente da doença respiratória. As variáveis incluem o género, a faixa etária e a estação do ano. Quanto à faixa etária optou-se apenas por incluir as faixas etárias mais vulneráveis, a das crianças e a dos idosos. Por sua vez, para a estação do ano apenas se decidiu utilizar o inverno e o verão, por serem, respetivamente, o período com menos e mais episódios de poeiras, de acordo com os dados e a literatura. Estas variáveis foram analisadas quanto ao número de internamentos diários para todos os dias do período de estudo (2005-2015). Foram observadas em separado, mas também agrupadas entre si,

resultando num total de vinte e sete variáveis, como se poderá perceber através do **Quadro 2**.

Após esta preparação de dados procedeu-se à construção de um resumo estatístico das variáveis independentes de cariz climático e de qualidade do ar, e com as variáveis dependentes: total de internamentos, internamentos verão e inverno. O resumo estatístico tem em conta a média, o valor máximo e mínimo, e desvio-padrão, destes dados para a totalidade dos dias, para os dias com episódios designados pela Agência Portuguesa do Ambiente, para os dias de poeiras validados e ainda, para os dias sem poeiras em circulação. Para este efeito foi utilizado o *Microsoft Office Excel*. Em seguida, através do *software SPSS Statistics 25 da IBM* foram aplicadas as várias técnicas estatísticas. A primeira, a correlação de Pearson, entre cada variável com formato de escala ou de intervalo. As variáveis utilizadas foram todas as dependentes, as variáveis climáticas e as de qualidade do ar. No entanto, para as variáveis nominais binárias, como se encontram com formato diferente relativamente às variáveis dependentes, foi aplicada, a correlação de Spearman, uma vez que é a mais indicado para a correlação entre variáveis de diferentes grandezas. Posteriormente, no mesmo *software*, foi realizada uma regressão linear múltipla *Stepwise*, entre as variáveis independentes e cada uma das variáveis dependentes. O objetivo foi procurar perceber quais as variáveis independentes mais explicativas, bem como, o seu grau de explicação para cada variável dependente, embora, como se já referiu não seja o método ideal para avaliar a relação entre determinantes ambientais e de saúde. Foram consideradas as variáveis mais explicativas.

Quadro 2: Lista das variáveis dependentes consideradas neste estudo.

1	Internamentos	10	Internamentos mulheres	19	Internamentos mulheres ≥ 65
2	Internamentos inverno	11	Internamentos mulheres inverno	20	Internamentos mulheres inverno ≥ 65
3	Internamentos verão	12	Internamentos mulheres verão	21	Internamentos mulheres verão ≥ 65
4	Internamentos 0-16	13	Internamento homens	22	Internamentos homens 0-16
5	Internamentos 0-16 inverno	14	Internamentos homens inverno	23	Internamentos homens inverno 0-16
6	Internamentos 0-16 verão	15	Internamentos homens verão	24	Internamentos homens verão 0-16
7	Internamentos ≥ 65	16	Internamentos mulheres 0-16	25	Internamentos homens ≥ 65
8	Internamentos ≥ 65 inverno	17	Internamentos mulheres inverno 0-16	26	Internamentos homens inverno ≥ 65
9	Internamentos ≥ 65 verão	18	Internamentos mulheres verão 0-16	27	Internamentos homens verão ≥ 65

3.3.2. Efeito das partículas norte africanas na saúde humana: relação com os internamentos

O pacote de *software* DLNM, *Distributed Lag Non-linear Models*, deriva dos DLM, *Distributed Lag Models*, e a transformação destes últimos modelos para os DLNM foi concebida por Armstrong em 2006, tendo a sua componente conceptual e metodológica sido revista e proposta por Gasparrini em 2010 (Gasparrini, 2018). Em ambos os métodos, a componente principal de inovação da relação entre as variáveis independentes e dependentes, é o desfasamento temporal das consequências provocadas por essa mesma relação (Gasparrini, 2018). A utilização desta ferramenta permite perceber o efeito imediato de um fenómeno, assim como o efeito desfasado e cumulativo no tempo (Gasparrini *et al.*, 2010; Gasparrini & Armstrong, 2011), onde a descrição das associações é definida como exposição-desfasamento-resposta (Gasparrini, 2018; Gasparrini *et al.*, 2018; Silva, 2015).

A execução destes modelos poderá ser desenvolvida de duas formas, uma futura, em que se deduz determinado risco no futuro conforme a exposição a um fenómeno durante determinado tempo, e uma passada, em que o risco de algo é inferido pela exposição no passado (obtida através de uma série de dados temporais) a determinado fenómeno (Silva, 2015).

Atualmente, os DLM e DLNM têm sido usados em diversas áreas, como a economia e a epidemiologia ambiental, por exemplo, no estudo de cancro e farmacoepidemiologia (Gasparrini, 2018). Estes modelos fazem parte da família dos modelos GAM (*Generalized Additive Models*), que foram propostos por Hastie e Tibshirani em 1990 e utilizam-se quando o comportamento de uma variável dependente não é linear (Vasconcelos, 2012). Estes modelos dependem ainda de uma função de suavização (graus de liberdade/nós ou *splines*), podendo avaliar aspetos de caráter temporal e sazonal das séries (Vasconcelos, 2012).

A estrutura da modelação dos DLNM é constituída por uma *crossbasis* (tabelas cruzadas bidimensionais) (Gasparrini 2018). A *crossbasis* é o resultado da combinação de matrizes unidimensionais (*onebasis*), onde estão presentes as dimensões da exposição-resposta e desfasamento temporal-resposta (Almendra *et al.*, 2019; Gasparrini, 2018; Gasparrini *et al.*, 2018). Posteriormente, nas tabelas cruzadas é incluída uma fórmula de regressão linear distribuída (DLM) ou não linear distribuída (DLNM) (Gasparrini *et al.*, 2018). Às *crossbasis* são ainda acrescentadas funções base como polinómios (poly), *splines*/graus de liberdade/nós (ns ou bs), limiares lineares (lin), indicativos (thr), argvar, arglag, lagnots (Gasparrini, 2018; Gasparrini *et al.*, 2018; Silva, 2015). Nos modelos, podem ser ainda aplicadas funções de ligação não lineares, de distribuição da regressão, que podem ser Quasipoisson, Poisson, Binomial, Gaussiana, Gama, entre outras (Vasconcelos, 2012).

Neste estudo, para criar o DLNM foi utilizado o pacote DLNM do *software R Studio*, onde se introduziu o mesmo esquema de dados explicado no subcapítulo anterior. A criação do respetivo modelo pressupôs duas fases, com recurso à modelação GAM (*generalized additive model*). Na primeira, onde se produziu uma análise de sensibilidade, em que o objetivo foi testar o comportamento das variáveis independentes introduzidas com a dependente, com base em diversos lags (2,7,14,21 e 28 dias) e graus de liberdade (4,5 e 6). Na primeira fase, foram tidas em conta as duas variáveis de poluição atmosférica (PM10 e PM2.5), bem como, as três variáveis de temperatura e a

humidade. A justificação desta escolha, prende-se no caso da concentração de partículas por serem as principais variáveis de estudo. Quanto às temperaturas e humidade, foram igualmente introduzidas, pelo facto de na correlação de Pearson e na Regressão linear múltipla, terem demonstrado comportamentos importantes na explicação dos internamentos. Relativamente às variáveis dependentes, só os internamentos gerais foram tidos em conta de forma a facilitar a definição dos parâmetros do modelo. Para tal foi utilizado o seguinte *script*, introduzido pela respetiva ordem:

- *lagknots <- logknots(X, Y)*.
- Nesta situação o “X” representa o *lag* (2,7,14,21 ou 28), enquanto que, o “Y” o número de graus de liberdade (4,5 ou 6). O *logknots* define a posição dos nós, em valores igualmente espaçados de desfasamento temporal (Gasparrini, 2019);
- *cb_temperatura <- crossbasis(data\$T.media, lag=X, argvar=list(fun="ns", df=Y), arglag=list(knots=lagknots), cumul=TRUE)*
- Aqui, já se aplica o *crossbasis*, para cada variável independente (lida através do *data\$...*), à qual se define o *lag* e os graus de liberdade a utilizar na combinação das duas *onebasis*. Utilizaram-se as funções *argvar* e *arglag*. O *arglag* e o *argvar*, têm como propósito gerar as matrizes do *lag* e do preditor, respetivamente (Silva, 2015);
- *modelo_temperatura <- gam(Internamentos ~ cb_temperatura, family=quasipoisson(), data)*
- Neste caso, aplica-se, a função *gam*, que permite o cruzamento entre a variável dos internamentos com o *crossbasis* da variável independente, através de uma distribuição *quasipoisson*;
- *summary(modelo_temperatura)*
- Nesta situação faz-se o sumário estatístico do modelo, onde se verifica o GCV, que é o valor que permite verificar a qualidade da relação entre a variável independente e dependente;
- *pred <- crosspred(cb_PM10, modelo_temperatura, cumul=TRUE, cen=0)*
- Aqui, aplica-se a função *crosspred*, onde se combina também, o *crossbasis* com o modelo resultante da função *gam*. O *crosspred* é uma função que gera uma matriz com a estimativa dos efeitos, onde as associações são “estimadas numa rede de valores do preditor original e do *lag*, calculadas versus o valor de referência do preditor” (Silva, 2015:18). No *cen*, é utilizado o valor ótimo para cada variável, neste caso 0 para as variáveis de concentração de partículas, uma vez que seria o valor ideal não ter poluição, enquanto que para as variáveis da temperatura o valor ideal foi medido através da mediana, 16,4°C para a “temperatura média”, para a “temperatura máxima” (22,3°C) e “temperatura mínima” (10,6°C);
- *plot(pred, "slices", lag=c(1), cumul=TRUE, main="Overall cumulative association")*
É a função para criar o *plot* ou gráfico do modelo.

Posteriormente, através dos valores de GCV (*generalised cross validation*) e da curva dos gráficos produzidos, verificou-se que os melhores resultados foram com a “temperatura média” e com o PM10 médio, com dois dias de *lag* e quatro nós (**Figura 31**). Os dois dias de *lag*, justificam-se pelo melhor valor de GCV, de acordo com os resultados analisados. Os dois dias de *lag* estão assim, de acordo com o mencionado na literatura, indo também ao encontro dos resultados da duração dos eventos (**Subcapítulo 4.2.1**). Quanto aos quatro nós foi simplesmente pela representação gráfica ser mais próxima do esperado, sendo este componente relativamente arbitrário, consoante a intenção de cada autor ao representar as suas variáveis. As variáveis que retratavam os valores máximos e mínimos também deram bons resultados, embora não fossem introduzidas por revelarem alguma redundância. Em seguida, introduziram-se ainda, três variáveis, uma de presença de poeiras, que foi a variável do inventário APA, por apresentar uma melhor significância em comparação com os dias de validação APA (a variável “Sem episódios” foi excluída pelo seu mau resultado estatístico), uma variável de tempo (“*time*”, ilustrada pela **Figura 32**) e dia da semana. Estas últimas duas variáveis têm o intuito de controlar possíveis variações dos fatores ao longo do período em estudo e que não estejam relacionados com as variáveis de interesse (internamentos). Desta forma, o *script* introduzido para essas duas variáveis foi:

- `modelo_tempo <- gam(Internamentos ~ ns(Time, df=(2*11)),
family=quasipoisson(), data)`
Aqui no `df=2*11`, o 2 é o número de nós e o 11 o número de anos em análise;
- `plot.gam(modelo_tempo, all.terms = TRUE)`
- `as.character(data$diasemana)`
- `modelo_diasemana <-
gam(Internamentos~as.character(diasemana),data,family=quasipoisson,na.action="na.exclude")`

Após a introdução e análise destas variáveis passou-se à fase final. Nesta fase, adicionou-se às restantes variáveis, a variável APA. A significância das variáveis de presença/ausência de partículas em circulação, foi obtida através do *p-value*, obtido no *summary* e na *anova*. Foram feitos os testes para a variável do inventário APA e para a variável dos dias de validação APA, e como foi referido a primeira teve melhores resultados com uma significância de 0.00609. O *script* introduzido foi o seguinte:

- `modelo_final <- gam(Internamentos~as.character(APA)+cb_tmedia+cb_pm10m + as.character(diasemana) + ns(Time, df=(2*11)), data,family=quasipoisson,na.action="na.exclude")`
- `summary(modelo_final)`
- `anova(modelo_final)`

Posteriormente, verificou-se o coeficiente *estimate* da variável APA, e a partir desse valor obteve-se o exponencial. Este resultado serve, assim, para avaliar o risco relativo de internamentos urgentes por doenças respiratórias, após ajustamento para as variáveis utilizadas, o que significa que assumindo não existir alteração nos comportamentos das mesmas, sempre que houver intrusão de poeiras há determinado risco relativo de acontecer face a não existir intrusão de poeiras. Os valores serão apresentados no **Subcapítulo 4.5.1**. Além do valor exponencial, obtiveram-se os graus de confiança, através das seguintes funções:

- `exp((coef(model3)))`
- `exp((confint.default(model3)))`

3.3.3. Efeito das partículas norte africanas na saúde humana: relação com a mortalidade

Após a recolha dos dados da página *Web SICO eVM*, estes foram tratados através do programa *Microsoft Office Excel*. Aqui, realizou-se uma análise estatística (média, moda, valores máximos, mínimos e número de dias acima da média diária) dos óbitos totais diários para o período de 2014 e 2015. Esta análise estatística foi produzida para o total dos dias dos dois anos, para os dias sem episódios, para os dias com episódios de intrusão de poeiras, de acordo com o inventário de validação, e ainda, para os sete dias após e anteriores aos episódios de intrusão de poeiras. Relativamente a estes, procedeu-se tal como para o modelo dos internamentos com o desfasamento, de forma a tentar inferir a influência que a concentração de partículas poderá ter na mortalidade após os episódios de poeiras, embora a relação que se tenta obter com estes dados seja de cariz preliminar.

Seguidamente, construíram-se ainda gráficos, em que se pretende demonstrar a variação da mortalidade para os sete dias anteriores e posteriores aos episódios de intrusão de poeiras saarianas. Nestes, introduziram-se ainda os valores de PM10 e PM2.5, de forma a tentar comparar visualmente a variação da mortalidade com a variação da concentração destes poluentes durante os períodos com intrusão de poeiras.

Esta análise, como já se referiu, tem um cariz preliminar, servindo não só para introduzir o estudo da relação tratada, mas também, para ajudar a suscitar o interesse de outros investigadores em estudar este fenómeno e os seus impactes na saúde dos portugueses. Refere-se que é de cariz preliminar, uma vez que não existem dados de mortalidade para a maior parte do período de análise, que por sua vez, também não têm a desagregação à escala da causa do óbito. Por estas razões a tentativa de estabelecer a relação entre a ocorrência de episódios de intrusão de poeiras e mortalidade será estabelecida de uma forma muito elementar.

4. Resultados

4.1. Distribuição intra e interanual dos episódios. Comparação entre o inventário APA e o inventário dos dias de validação

Como foi referido no **Subcapítulo 3.1**, a partir do inventário da Agência Portuguesa do Ambiente foi criado um inventário de dias de validação APA, com o objetivo de validar e confirmar os dias identificados como sendo, inequivocamente, dias de poeiras em circulação provenientes do Norte de África. O inventário de validação tem ainda como propósito flexibilizar e facilitar a caracterização desses mesmos dias, nos vários âmbitos que irão ser revelados neste quarto capítulo.

Assim sendo, e como também foi referenciado no **Subcapítulo 3.1.1**, foi feita uma comparação entre o inventário APA e o inventário de validação. O inventário de validação foi posteriormente pormenorizado ao nível da quantidade de episódios e duração de eventos que ocorreram entre o período de estudo (2005 a 2015), bem como ao nível da concentração das partículas estudadas, como se poderá assistir no **Subcapítulo 4.2.1**. É de salientar que os dias identificados pela APA entre 2006 e 2015 são 825 e os do inventário de validação são 246 (2005 a 2015), identificados nos **Quadros 29** e **30**, em anexo.

À escala anual, de acordo com a **Figura 11**, é visível que existe uma forte variação interanual, patente quer no inventário APA, quer nos dias de validação. No inventário da APA observa-se que houve mais episódios em 2011, 115 no total, sendo seguido por 2007 e 2009, com 110 e 105, dias respetivamente. O ano em que houve menos episódios foi 2015 com 58, seguido de 2013 e 2014, com 59 e 61, respetivamente. Quer isto dizer que nos últimos 3 anos do período de estudo, no caso da APA, registou-se o menor número de episódios. Quanto aos dias de validação, o ano com maior número de dias de intrusão de poeiras foi também 2011, com 49, seguido de 2010 e 2006, com 37 e 30 respetivamente. No inverso, 2013 e 2014 foram os anos em que se registou a menor frequência de dias de poeiras Saarianas, 8 em cada, seguido pelo ano de 2008, com 11.

Ao nível das estações do ano, pode-se observar através da **Figura 12**, que tanto o inventário APA como o inventário de validação apresentam um comportamento idêntico, pelo que se percebe que o verão é a estação do ano com mais episódios e o inverno a que regista menos. A primavera e o outono apresentam valores intermédios, embora a primavera revele a ocorrência de mais episódios. No entanto, observa-se através da

Figuras 13 e 14 que a variação dos episódios, de acordo com a estação do ano e o ano, é irregular, isto é, não tem um padrão que sugira uma tendência de crescimento ou decréscimo, ao longo dos onze anos de estudo. Assim sendo, durante o período do verão, no inventário APA foram registados 314 episódios, e durante o inverno 133. Quanto ao inventário de validação, durante o verão foram registados 108 episódios, enquanto que no inverno apenas houve 20.

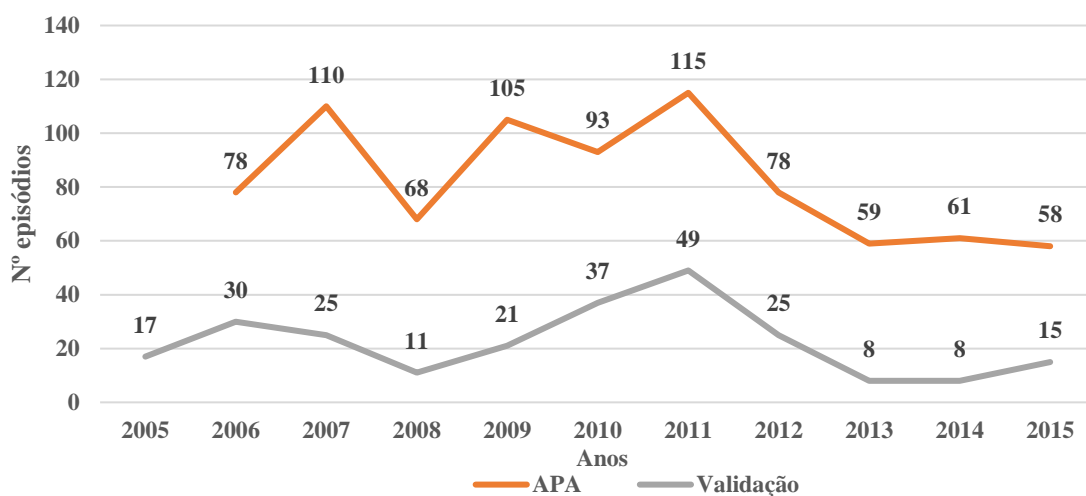


Figura 11: Comparação da quantidade de dias de intrusão de poeiras por ano, entre o inventário da APA e os dias de validação.

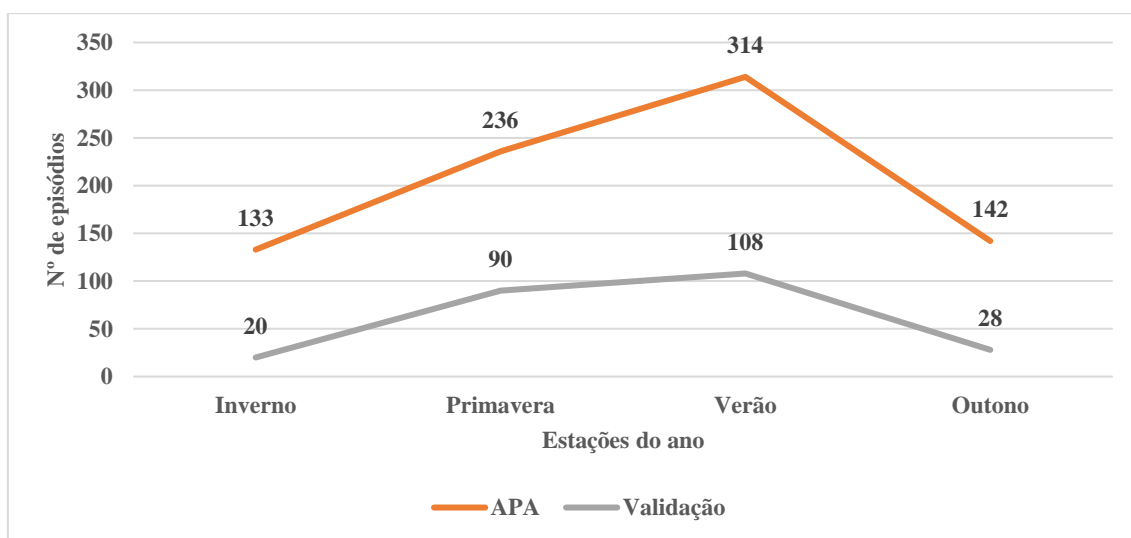


Figura 12: Comparação da quantidade de dias de intrusão de poeiras por estação, entre o inventário da APA e os dias de validação.

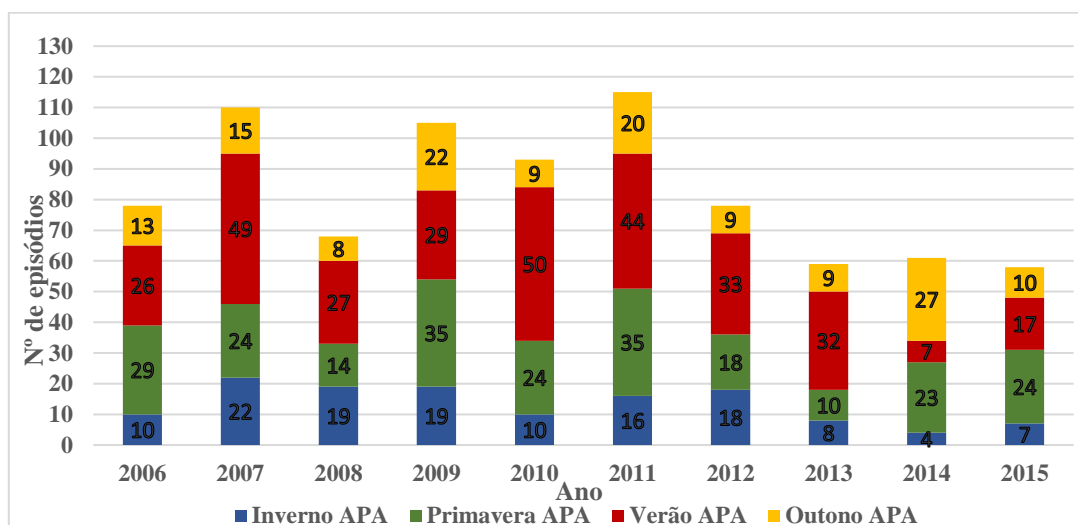


Figura 13: Variação estacional dos episódios de intrusão de poeiras Saarianas, durante o período estudado, de acordo com o inventário da APA.

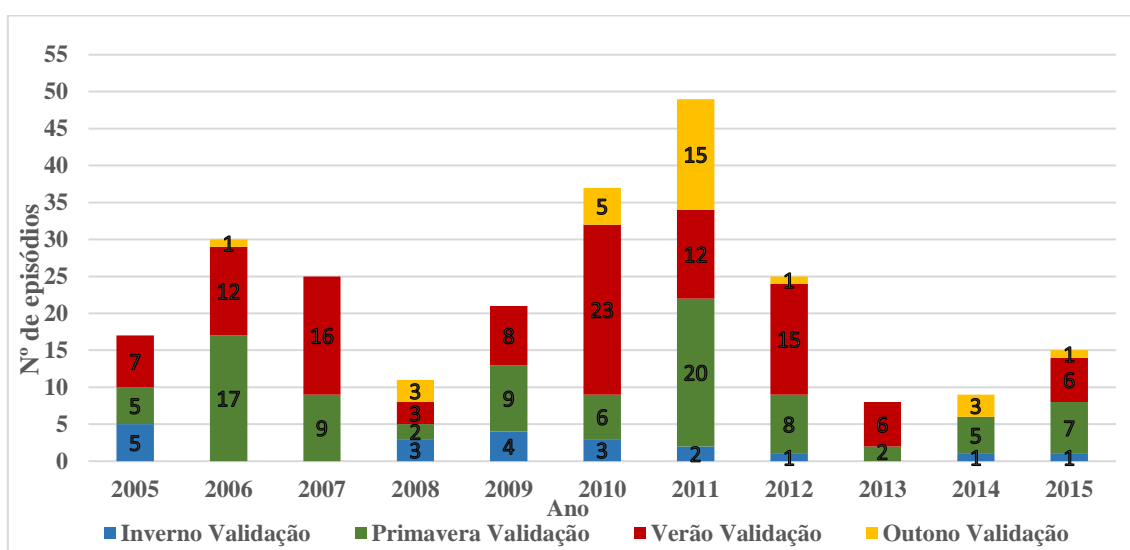


Figura 14: Variação estacional dos episódios de intrusão de poeiras Saarianas, ao longo do período estudado, de acordo com os dias de validação.

Quanto à variação ao longo dos meses do ano (**Figura 15**) percebe-se que o comportamento é semelhante no inventário APA e no inventário de validação. Nos meses de verão observa-se o pico no número de episódios e nos meses de inverno os valores mínimos. Nos meses de primavera assiste-se ao aumento e nos meses de outono ao seu declínio. Assim sendo, de acordo com o inventário APA, o mês com mais episódios é

julho, com 98, seguido de junho e agosto com 93. Com menos episódios observa-se dezembro com 30, novembro com 31 e janeiro 37. Opõem-se assim, duas séries de três meses seguidos com os valores mais baixos ou mais altos. Quanto aos dias de validação, agosto tem o maior número de dias (36), seguido de setembro com 33, e depois abril, junho e julho com 29. Os meses com menos dias são janeiro, sem qualquer registo, novembro com 1 e dezembro com 6.

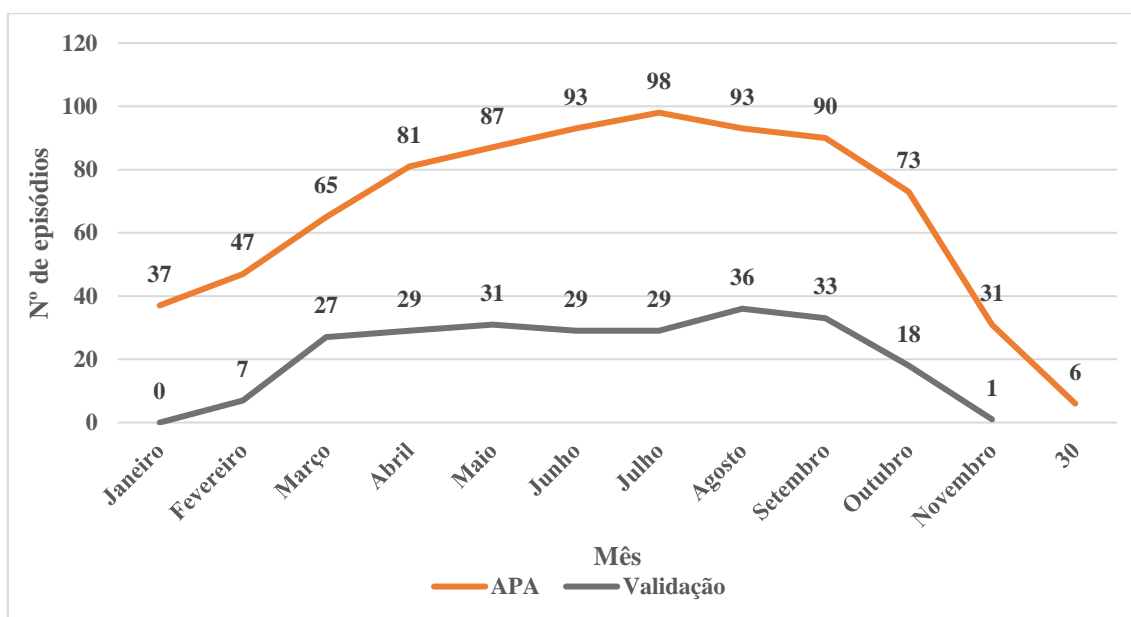


Figura 15: Comparação da quantidade de dias de intrusão de poeiras por mês, entre o inventário da APA e os dias de validação.

4.2. Caracterização da intrusão de poeiras norte africanas no Alentejo Central nos dias de validação

4.2.1. Pormenorização dos dias com poeiras norte africanas em circulação: Número e duração de eventos, e concentração de partículas na atmosfera, para os dias de validação

Nesta análise, um evento significa uma sequência de dois ou mais dias seguidos de intrusão de poeiras norte africanas. Aqui, a análise foi dividida por estação do ano e por ano para o período analisado. De acordo com o **Quadro 3**, as estações do ano com mais eventos são o verão com 29 eventos, seguido da primavera com 21. Em oposição, com menor frequência, estão o inverno com 3, seguido do outono com 4. A duração dos eventos é dada entre parênteses, sendo que os valores estão por ordem de ocorrência do

evento. Isto significa que, geralmente, os eventos prolongam-se por 2 a 3 dias seguidos, podendo atingir no máximo 9 dias consecutivos.

Quadro 3: Número e duração dos eventos (+ de 1 dia seguido) nos dias de validação.

Anos	Estação do ano			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
2005	1 (4 dias)	2 (2 dias)	2 (3 e 2 dias)	0
2006	0	3 (3, 6 e 4 dias)	3 (6, 2 e 3 dias)	0
2007	0	2 (3 dias)	3 (2, 2 e 9 dias)	0
2008	1 (2 dias)	0	1 (3 dias)	1 (3 dias)
2009	0	2 (7 e 2 dias)	2 (2 e 3 dias)	0
2010	1 (2 dias)	2 (2 e 3 dias)	5 (3, 4, 5, 5 e 3) dias	1 (5 dias)
2011	0	4 (2, 4, 4 e 9 dias)	4 (3, 2, 3 e 3 dias)	2 (9 e 5 dias)
2012	0	3 (2, 3 e 3 dias)	4 (4, 3, 3 e 4 dias)	0
2013	0	0	3 (2 dias)	0
2014	0	1 (3 dias)	0	0
2015	0	2 (2 dias)	2 (2 dias)	0

Relativamente à concentração das partículas PM10 e PM2.5 também se detalhou para as mesmas unidades temporais, o ano, a estação do ano e o mês. Assim, de acordo com o **Quadro 4**, percebe-se através da primeira coluna que apenas dois anos têm mais de 50% dos dias com o valor médio acima do limite designado pela Diretiva 2008/50/CE, sendo que 2005 chegou aos 88%. A segunda coluna apresenta o valor médio de horas por dia, ao longo de cada ano, em que o valor horário passou o limite permitido. Ou seja, os dias com poeiras norte africanas em circulação durante 2006, tiveram em média, nesse ano, 17 horas em que os valores permitidos foram excedidos. No entanto, em 2009 a média diária com horas em que são excedidos os valores de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ é de apenas uma hora. Muito embora os valores dos limites utilizados sejam médios diários, foram neste contexto aplicados para limitar o valor horário, de forma a perceber durante quanto tempo se excedeu a concentração máxima permitida. Na terceira coluna, observa-se o número máximo de horas em que, pelo menos num dia desse ano, se registou excedência dos

limites. Assim sendo, percebe-se que durante 2005, 2006 e 2010, pelo menos um dos dias com poeiras teve todos os valores horários (24 registos, 1 por cada hora do dia) acima do permitido. Na quarta coluna, observa-se que o valor mais elevado de concentração de PM10 foi registado em 2006, com 640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por sua vez, 2013 teve o valor mais baixo entre os máximos registados (130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para os dados de PM2.5 (**Quadro 5**), percebe-se que só em 2013 metade dos dias ultrapassaram o valor definido pela Comissão Europeia, para estas partículas. Relativamente à média de horas com valores horários que excedem o limite destacam-se 2005 e 2010 com 17. Aqui, salienta-se ainda a falta de dados, como se poderá observar através da segunda coluna, sendo uma limitação. Curiosamente, 2005 e 2010 também têm o valor máximo de horas 21. O valor registado mais elevado foi em 2015 com 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido de 2013 com 222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Quadro 4: Caracterização das concentrações de PM10 por ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.

Fonte dos dados: QualAr – estação de Terena.

Nota: Os círculos vermelhos correspondem aos valores mais elevados, enquanto que o oposto se verifica para os círculos azuis.

	% dias validação com valor médio $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de horas dos dias com valor médio $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº máximo de horas	Valor mais elevado $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2005	88	16	24	230
2006	37	17	24	640
2007	12	15	18	123
2008	55	13	22	193
2009	29	1	16	151
2010	16	12	24	397
2011	32	12	16	224
2012	32	13	21	250
2013	0	-	9	130
2014	11	13	13	266
2015	20	11	16	219

Quanto à análise estacional (**Quadro 6**) observa-se que, durante as quatro estações do ano, mais de 50% dos dias não chegam a ultrapassar os limites designados. Em todo o caso, percebe-se que o inverno é a estação do ano com maior percentagem de dias acima

do limite, com 45%, apesar de ter menos episódios como já se observou. Na segunda coluna, o valor mais elevado ocorre no inverno, 16 horas em média, sendo que o valor mais baixo é no outono (11 horas). Na coluna do número máximo de horas, a primavera e o verão registaram dias com 24 horas em que os valores horários excederam os 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na última coluna, observa-se que a primavera tem o valor mais elevado, 640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que o outono tem o valor mais baixo, 224 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Quadro 5: Caraterização das concentrações de PM2.5 por ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.

Fonte dos dados: QualAr – estação de Terena.

Nota: Os círculos vermelhos correspondem aos valores mais elevados, enquanto que o oposto se verifica para os círculos azuis.

	% dias validação com valor médio $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de horas dos dias com valor médio $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº máximo de horas	Valor mais elevado $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2005	6	17	21	87
2006	3	11	11	85
2007	32	11	16	123
2008	0	-	-	-
2009	14	12	14	93
2010	5	17	21	48
2011	0	-	-	-
2012	0	-	-	-
2013	50	9	12	222
2014	0	-	-	-
2015	13	-	11	229

No **Quadro 7**, observa-se que a percentagem de dias com excedência do valor limite legal é muito baixa, sendo que o valor mais alto é de 10% no verão. A média de horas em excedência do valor limite legal também é baixa, situando-se entre as 11 (na primavera e outono) e 12 (no inverno e verão). O número máximo de horas tem os valores mais elevados na primavera e verão (21 horas), tal como acontece com os PM10. O valor mais elevado é de 222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no verão.

No **Quadro 8**, onde se analisa, por mês, as caraterísticas das concentrações das partículas PM10 para os dias do inventário de validação, percebe-se que apenas agosto teve metade dos dias acima do limite, enquanto janeiro, novembro e dezembro não teve nenhum dia.

Na segunda coluna, maio apresenta o valor médio maior, com 17 horas diárias em que é excedido o valor legal, enquanto, janeiro teve um valor médio de 0, ou seja, nenhum ou quase nenhum dia teve um valor horário em que o limite foi ultrapassado. Na terceira coluna, março, maio e agosto tiveram pelo menos um dia inteiro em que a concentração de partículas foi maior que o permitido. O valor mais elevado registado foi em junho, com 640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mês com o valor mais baixo é abril com 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Quadro 6: Caraterização das concentrações de PM10 por estação do ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.

Fonte dos dados: QualAr – estação de Terena.

Nota: Os círculos vermelhos correspondem aos valores mais elevados, enquanto que o oposto se verifica para os círculos azuis.

	% dias validação com valor médio $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de horas dos dias com valor médio $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº máximo de horas	Valor mais elevado $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Inverno	45	16	22	244
Primavera	30	14	24	640
Verão	32	13	24	397
Outono	24	11	15	224

Quadro 7: Caraterização das concentrações de PM2.5 por estação do ano, nos dias de validação, no Alentejo Central.

Fonte dos dados: QualAr – estação de Terena.

Nota: Os círculos vermelhos correspondem aos valores mais elevados, enquanto que o oposto se verifica para os círculos azuis.

	% dias validação com valor médio $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de horas dos dias com valor médio $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº máximo de horas	Valor mais elevado $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Inverno	5	12	12	44
Primavera	9	11	21	94
Verão	10	12	21	222
Outono	3	11	11	131

Quanto às partículas PM2.5 (**Quadro 9**) salienta-se, novamente, o problema da existência de lacunas de dados, embora estes não tenham tanto impacto como no caso dos PM10.

Na primeira coluna, percebe-se que nenhum dos meses teve além dos 12%, sendo que o mês que atingiu esse valor é setembro. Quatro dos meses tiveram 0%, entre eles fevereiro, maio, novembro e dezembro. A média de horas com valor mais elevado foi de 15 em março, enquanto que esse mesmo mês e agosto tiveram num dia 21 horas sempre com valores a exceder o indicado. O valor mais elevado foi registado em julho 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo em abril com 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Quadro 8: Caraterização das concentrações de PM10 por mês, nos dias de validação, no Alentejo Central.

Fonte dos dados: QualAr – estação de Terena.

Nota: Os círculos vermelhos correspondem aos valores mais elevados, enquanto que o oposto se verifica para os círculos azuis.

	% dias validação com valor médio $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de horas dos dias com valor médio $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº máximo de horas	Valor mais elevado $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Janeiro	0	0	-	-
Fevereiro	29	13	15	143
Março	41	16	24	244
Abril	10	13	15	115
Maio	23	17	24	231
Junho	38	13	19	640
Julho	21	11	22	397
Agosto	50	14	24	178
Setembro	24	10	15	159
Outubro	22	13	14	224
Novembro	0	-	-	-
Dezembro	0	-	-	-

Quadro 9: Caraterização das concentrações de PM2.5 por mês, nos dias de validação, no Alentejo Central.

Fonte dos dados: QualAr – estação de Terena.

Nota: Os círculos vermelhos correspondem aos valores mais elevados, enquanto que o oposto se verifica para os círculos azuis.

	% dias validação com valor médio $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de horas dos dias com valor médio $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº máximo de horas	Valor mais elevado $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Janeiro	-	-	-	-
Fevereiro	0	-	-	-
Março	11	15	21	93
Abril	7	9	9	86
Mai	0	-	-	-
Junho	10	9	11	94
Julho	7	6	7	229
Agosto	11	14	21	106
Setembro	12	12	14	123
Outubro	6	11	11	131
Novembro	0	-	-	-
Dezembro	0	-	-	-

4.3. Caraterização das situações típicas de circulação atmosférica que favorecem o transporte das poeiras do norte de África até Portugal

A caraterização das situações típicas de circulação atmosférica nos dias de intrusão de poeiras, segundo os dias do inventário de validação, teve em conta a análise de uma série larga de dados, como foi referido em 3.2.3. A exploração desses mesmos dados foi realizada tendo em consideração as estações do ano, uma vez que é a escala temporal mais utilizada pelos vários autores citados ao longo do segundo capítulo. A localização dos sistemas de pressão foi identificada através do geopotencial aos 700 e 850 hPa, sendo depois classificada com base na análise da sua presença a estas duas altitudes

Assim, no inverno (**Quadro 10 e Figura 16**) existem duas situações sinóticas principais, ou seja, as que mais vezes ocorrem quando existe intrusão de partículas norte africanas na área de estudo. A primeira situação é uma alta pressão que se localiza no norte do Norte de África, nomeadamente, entre Marrocos e a Argélia, podendo o núcleo por vezes

chegar à Líbia. Esta situação foi registada em 6 dos 20 dias de validação durante o inverno, significando assim 30% dos dias. Nesta situação as partículas são originárias predominantemente da Argélia e de Marrocos, porém vêm também do Sára Ocidental, Mauritânia e Mali, mas em menor frequência. A sua rota principal é a partir do oceano Atlântico, ou seja, não vêm em direção à área de estudo em forma de linha reta, pelo que fazem uma trajetória em forma de arco como foi referido no **Subcapítulo 2.3** por Querol *et al.*, (2010). De acordo com os campos de retrotrajetórias, as poeiras são na maioria das situações transportadas aos 750 e 1500 metros de altitude. A concentração de partículas PM10 e PM2.5, permitiu perceber que, nestes episódios o valor médio diário de PM10, passou o valor limite legal ($74 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sendo que o valor médio diário máximo chegou aos $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto aos PM2.5, o valor médio diário ficou abaixo dos $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no entanto, o valor médio diário máximo chegou aos $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A segunda situação é uma baixa pressão, que se verificou 4 vezes (20% dos dias de validação no inverno) e que se localiza no noroeste do Norte de África, na generalidade das situações, sobre o oceano Atlântico perto da costa noroeste de Marrocos, mas também sobre este país, porém em terra. As poeiras são predominantes da Argélia e de Marrocos, embora também sejam provenientes da Mauritânia, Sára Ocidental, Líbia e Tunísia, mas com menos frequência. O seu transporte faz-se através do Mediterrâneo, atravessando Espanha antes de chegar a Portugal continental, e à área de estudo, a altitudes de 750, 1500 e 2500 metros. No que toca às partículas, apenas o PM10 médio máximo diário ficou no limite do permitido ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Na primavera (**Quadro 11 e Figura 17**), existem as mesmas situações sinóticas principais que no inverno. Refira-se, em primeiro lugar, a situação dominada pela presença de um anticiclone no norte do Norte de África, localizado sensivelmente no mesmo local que no padrão descrito no inverno, tendo sido registada em 20 dos 90 dias de validação (22%). Nesta situação as poeiras também são provenientes na maioria dos casos da Argélia e de Marrocos, porém, vêm também do Sára Ocidental, Mali, Mauritânia, Níger, Chade, Tunísia e Líbia com alguma frequência. A sua rota principal é uma vez mais a partir do oceano Atlântico. A chegada das plumas observa-se, geralmente, aos 2500 metros de altitude. Relativamente aos valores de PM10 e PM2.5, para este tipo de situações salienta-se, que o PM10 médio diário está ligeiramente acima do limite médio diário permitido pela Diretiva 2008/50/CE, sendo que, o valor da concentração média diária máxima de PM10 quase triplica relativamente ao limiar. Os PM2.5 têm um comportamento mais

discreto, embora a concentração média máxima diária exceda o limiar de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto à segunda situação, a mesma está associada à presença de uma depressão junto à costa atlântica marroquina, tendo sido registada em 27 dias (30% dos episódios desta estação). Nesta situação as poeiras também são originárias predominantemente de Marrocos e Argélia, no entanto, também provêm com alguma frequência do Sáara Ocidental e da Mauritânia, e chegam à área de estudo maioritariamente pelo Mediterrâneo, mas algumas vezes também pelo Atlântico, sem a forma de arco, passando perto do estreito de Gibraltar. As plumas de poeiras circulam geralmente a 1500 metros de altitude. Relativamente à concentração de partículas, observa-se que o valor médio diário de PM10 ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$), excede o limite imposto pela diretiva comunitária e que o valor de PM10 máximo tem o triplo do permitido.

No verão (**Quadro 12** e **Figura 18**), além das situações anticiclónicas já descritas em relação às outras duas estações, ocorre uma nova situação sinótica que leva ao transporte das poeiras norte africanas para a área de estudo: uma depressão térmica. Assim, a localização do centro de alta pressão (anticiclone) no norte do Norte de África, como já foi explicado anteriormente, foi verificada em 23 ocasiões, correspondendo a 21% dos dias. Nesta situação as poeiras são, novamente, provenientes em grande parte dos casos da Argélia, Marrocos e Sáara Ocidental, mas também em menor frequência do Mali e da Mauritânia. A rota é a mesma, pelo Atlântico e as plumas das poeiras verificam-se de forma mais regular aos 2500 metros de altitude. Quanto à concentração de partículas medida à superfície, foram os PM10 que demonstraram os resultados mais interessantes, sendo que, o valor médio diário chegou aos $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e o valor médio máximo chegou aos $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por sua vez, a depressão de origem térmica localiza-se a noroeste do Norte de África (entre o sudoeste de Portugal e o noroeste de Marrocos) e a sua espessura alcança os 850 hPa, ou seja, aproximadamente 1500 metros de altitude. Esta depressão térmica, é encimada por um anticiclone, já patente aos 700 hPa, ou aproximadamente 3000 metros, sobre o norte do Norte de África. Este fenómeno, foi referido algumas vezes no **Subcapítulo 2.2**. Esta situação verifica-se em 28 dos 108 dias, sendo que isso corresponde a 26% dos dias de intrusão de verão, sendo por isso, uma situação sinótica mais propícia à intrusão de poeiras, comparando com a primeira situação sinótica de verão. As partículas, mais uma vez, têm como principal origem Marrocos e a Argélia, porém, também provêm do Sáara Ocidental, Mauritânia e Mali. O trajeto normal que estas plumas de poeira adotam, neste tipo de situação, é através do Mediterrâneo, passando por

Espanha até chegar a Portugal continental. São transportadas, maioritariamente aos 2500 metros. Os valores médios diários da concentração de partículas não são elevados, embora, alguns valores médios diários chegam a ultrapassar o valor limite legal, tanto no caso das PM10 como PM2.5.

No outono (**Quadro 13 e Figura 19**), uma das situações é diferente, em relação às outras três estações. Nesta estação foram identificadas duas situações do tipo anticiclónico. Assim sendo, a primeira verifica-se ao longo do norte do Norte de África (como nas outras estações, embora às vezes sobre o oceano Atlântico a noroeste de Marrocos), entre a costa de Marrocos até à Líbia. Esta ocorre em 8 dos 29 dias, correspondendo a aproximadamente 28% dos dias. As poeiras são transportadas desde a Argélia e Marrocos, embora também do Sáara Ocidental, Mauritânia e Mali, em menor frequência. Através das retrotrajetórias, observa-se que as plumas se deslocam pelo oceano Atlântico, e chegam à área de estudo na maioria dos casos entre os 750 a 1500 metros de altitude. No que toca às partículas, apenas o PM10 médio máximo diário passa ligeiramente o valor limite legal. Quanto à segunda alta pressão, esta localiza-se na Europa Central, com núcleos de grandes dimensões, entre França, Alemanha e Itália, verificando-se em 24% das ocasiões. Neste tipo de situações as poeiras são originárias da Argélia e Marrocos, mas também do Sáara Ocidental e da Tunísia, e chegam à área de estudo através do Mediterrâneo, entre os 750 e os 1500 metros de altitude. A concentração de partículas PM10 e PM2.5 são baixas, sendo que até o PM10 médio máximo que até aqui teve valores elevados, apresentou concentrações moderadas, ficando abaixo dos limites definidos.

Quadro 10: Situações de circulação atmosférica predominantes no inverno.

Situação mais recorrente	Centros de pressão	
	A	B
Localização do núcleo*	N do Norte de África	NW do Norte de África
Origem das poeiras*	Argélia e Marrocos	Argélia e Marrocos
Rota das poeiras*	Atlântico	Mediterrâneo
Altitude das poeiras*	750 e 1500 metros	750, 1500 e 2500 metros
PM10 Médio µg/m3	74	29
PM10 Máximo µg/m3	123	50
PM10 Mínimo µg/m3	23	22
PM2.5 Médio µg/m3	15	12
PM2.5 Máximo µg/m3	27	14
PM2.5 Mínimo µg/m3	9	10

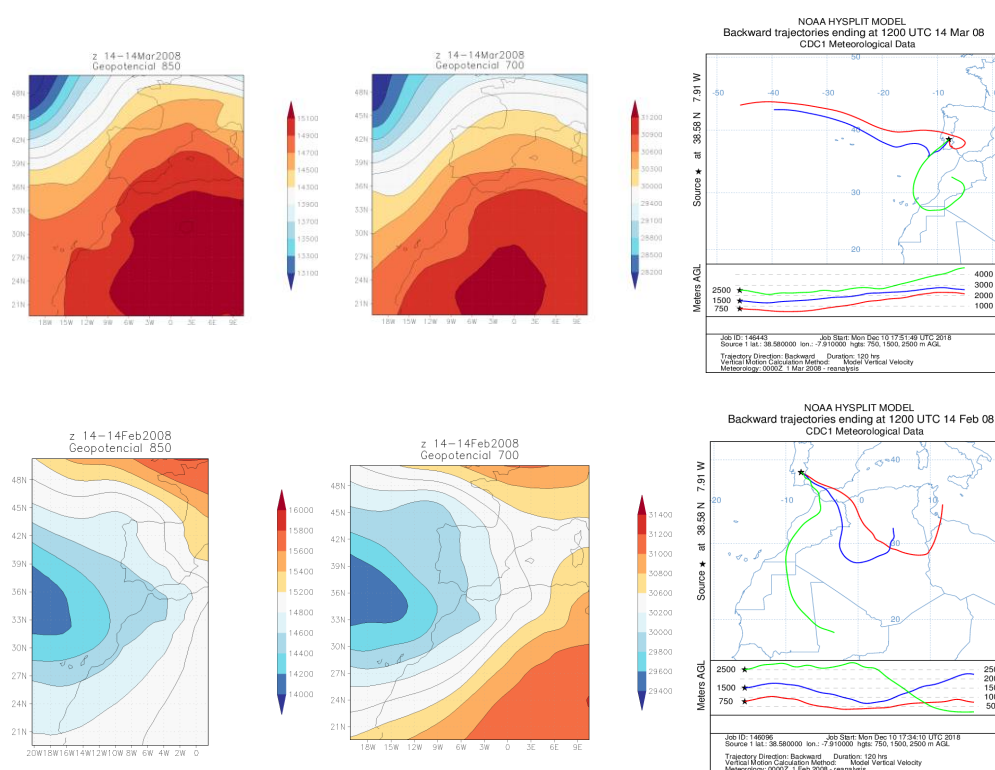


Figura 16: Situações sinóticas identificadas durante o inverno, exemplos dos dias 14 de março de 2008 (em cima) e 14 de fevereiro de 2008 (em baixo). Da esquerda para a direita: Geopotencial a 850 hPa (Gama de valores 15100-13100/16000-14000), Geopotencial a 700 hPa (Gama de valores 31200-28200/31400-29400) e retrotrajetórias (750, 1500 e 2500 m. altitude).

Fonte: Geopotencial: ERA Interim. Retrotrajetórias: HYSPLIT, NOAA.

Quadro 11: Situações de circulação atmosférica predominantes na primavera.

Situação mais recorrente	Centros de pressão	
	A	B
Localização do núcleo*	N do Norte de África	NW do Norte de África
Origem das poeiras*	Argélia e Marrocos	Argélia e Marrocos
Rota das poeiras*	Atlântico	Mediterrâneo
Altitude das poeiras*	2500 metros	1500 metros
PM10 Médio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	56	52
PM10 Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	154	156
PM10 Mínimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16	15
PM2.5 Médio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18	15
PM2.5 Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	34	31
PM2.5 Mínimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11	5

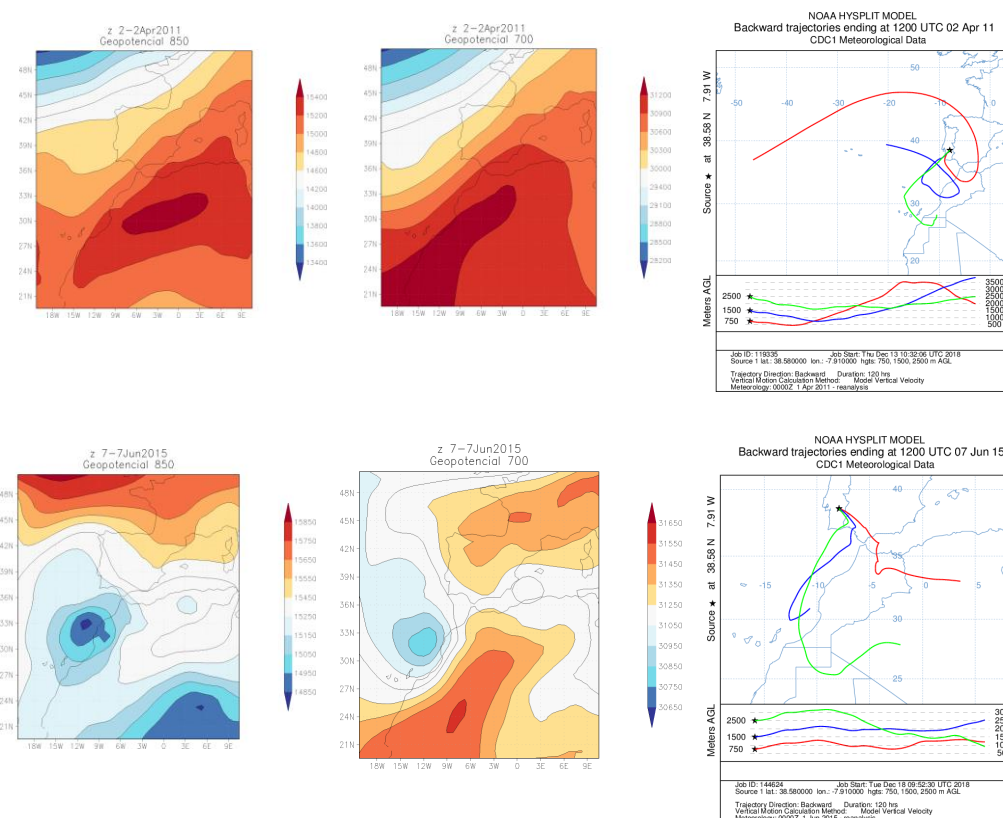


Figura 17: Situações sinóticas identificadas durante a primavera, exemplos dos dias 2 de abril de 2011 (em cima) e 7 de junho de 2015 (em baixo). Da esquerda para a direita: Geopotencial a 850 hPa (Gama de valores 15400-13400/15850-14850), Geopotencial a 700 hPa (Gama de valores 31200-28200/31650-30650) e retrotrajetórias (750, 1500 e 2500 m. altitude).

Fonte: Geopotencial: ERA Interim. Retrotrajetórias: HYSPLIT, NOAA.

Quadro 12: Situações de circulação atmosférica predominantes no verão.

Situação predominante	Centros de pressão	
	A	B (850 hPa)/A (700hPa)
Localização do núcleo*	N do Norte de África	NW do Norte de África / N do Norte de África
Origem das poeiras*	Argélia, Marrocos e Saara Ocidental	Argélia e Marrocos
Rota das poeiras*	Atlântico	Mediterrâneo
Altitude das poeiras*	2500 metros	2500 metros
PM10 Médio µg/m3	53	43
PM10 Máximo µg/m3	98	62
PM10 Mínimo µg/m3	33	21
PM2.5 Médio µg/m3	16	18
PM2.5 Máximo µg/m3	23	33
PM2.5 Mínimo µg/m3	11	9

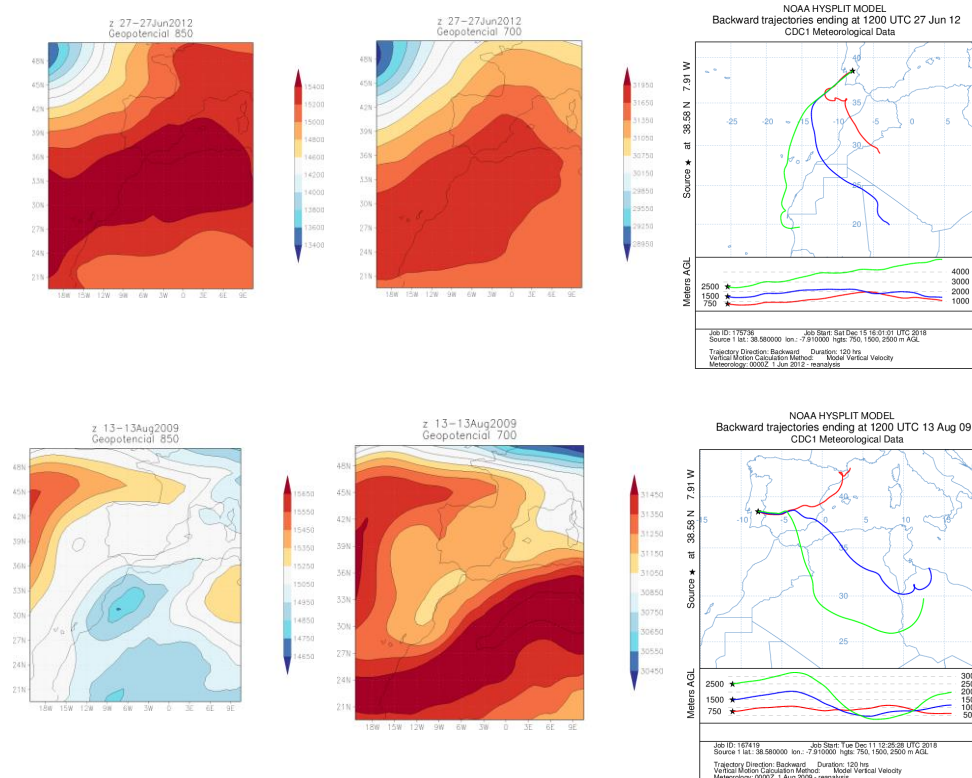


Figura 18: Situações sinóticas identificadas durante o verão, exemplos dos dias 27 de junho de 2012 (em cima) e 13 de agosto de 2009 (em baixo). Da esquerda para a direita: Geopotencial a 850 hPa (Gama de valores 15400-13400/15650-14650), Geopotencial a 700 hPa (Gama de valores 31950-28950/31450-30450) e retrotrajetórias (750, 1500 e 2500 m. altitude).

Fonte: Geopotencial: ERA Interim. Retrotrajetórias: HYSPLIT, NOAA.

Quadro 13: Situações de circulação atmosférica predominantes no outono.

Situação predominante	Centros de pressão	
	A	A
Localização do núcleo*	NW-N do Norte de África	Europa Central
Origem das poeiras*	Argélia e Marrocos	Argélia e Marrocos
Rota das poeiras*	Atlântico	Mediterrâneo
Altitude das poeiras*	750 e 1500 metros	750 e 1500 metros
PM10 Médio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	48	38
PM10 Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	53	48
PM10 Mínimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	42	23
PM2.5 Médio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16	17
PM2.5 Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	19	32
PM2.5 Mínimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12	7

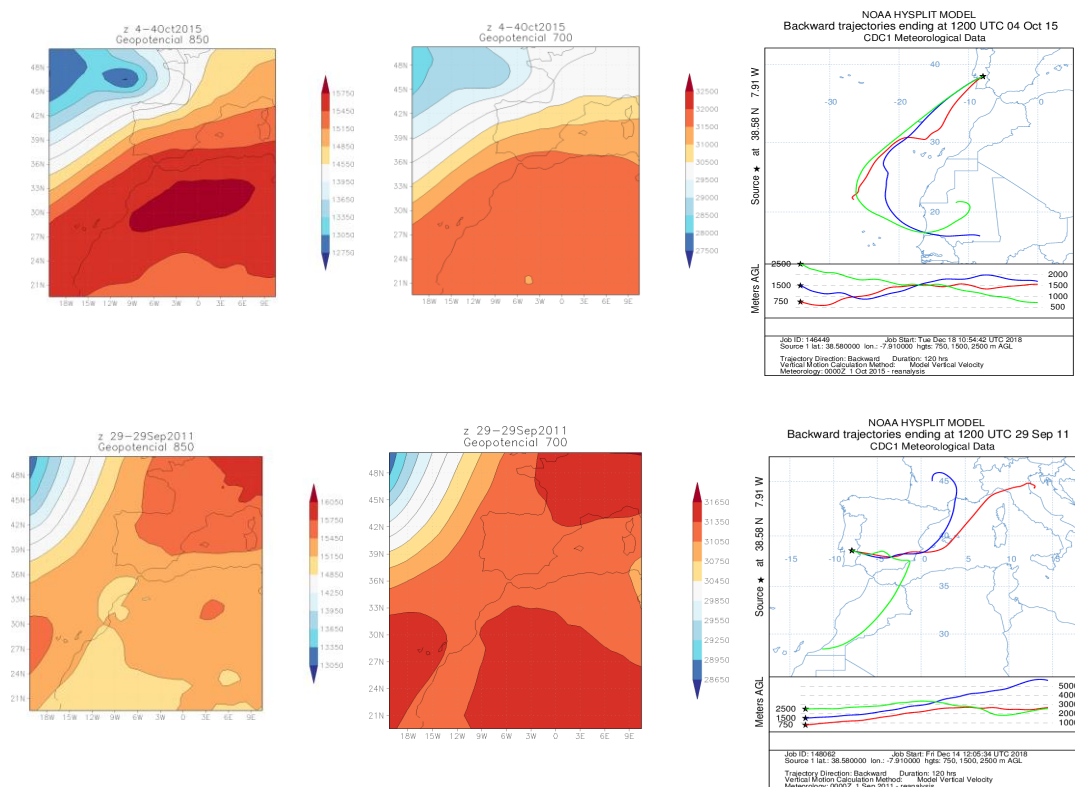


Figura 19: Situações sinóticas identificadas durante o outono, exemplos dos dias 4 de outubro de 2015 (em cima) e 29 de setembro de 2011 (em baixo). Da esquerda para a direita: Geopotencial a 850 hPa (Gama de valores 15750-12750/16050-13050), Geopotencial a 700 hPa (Gama de valores 32500-27500/31650-28650) e retrotrajetórias (750, 1500 e 2500 m. altitude).

Fonte: Geopotencial: ERA Interim. Retrotrajetórias: HYSPLIT, NOAA.

4.3.1. Delimitação das plumas de poeira nos dias de validação

A delimitação das plumas das partículas foi realizada para os dias de validação, através da metodologia explicada no **Subcapítulo 3.2.2**. Tem como objetivo reforçar os resultados relativos à reconstituição da trajetória das poeiras, mas sobretudo, perceber a intensidade com que as plumas afetam a área de estudo durante as diferentes estações do ano, para os anos em análise.

Desta forma, durante o inverno (**Figura 20**) percebe-se que a concentração e dimensão das plumas do conjunto de episódios é baixa no seu todo. No entanto, é visível uma zona com uma tonalidade mais carregada entre o noroeste de Marrocos e o sul de Portugal. Observa-se ainda, que as plumas se estendem desde a Mauritânia, Argélia e Tunísia, podendo mesmo chegar até quase aos Açores, e ao Atlântico a noroeste de Portugal continental. Através do **Quadro 14**, para esta estação confirma-se que a sobreposição de plumas é baixa, comparando com as outras, resultando da pouca quantidade de episódios registados. Assim sendo, a área total (área somada) de todas as plumas é de apenas 54 528 656 Km². Esta estação além de ter menos episódios, como se observou, tem ainda a área média e máxima mais baixa, revelando que as plumas são limitadas espacialmente. No entanto, é a segunda estação do ano com a área mínima mais elevada, 642 037 Km².

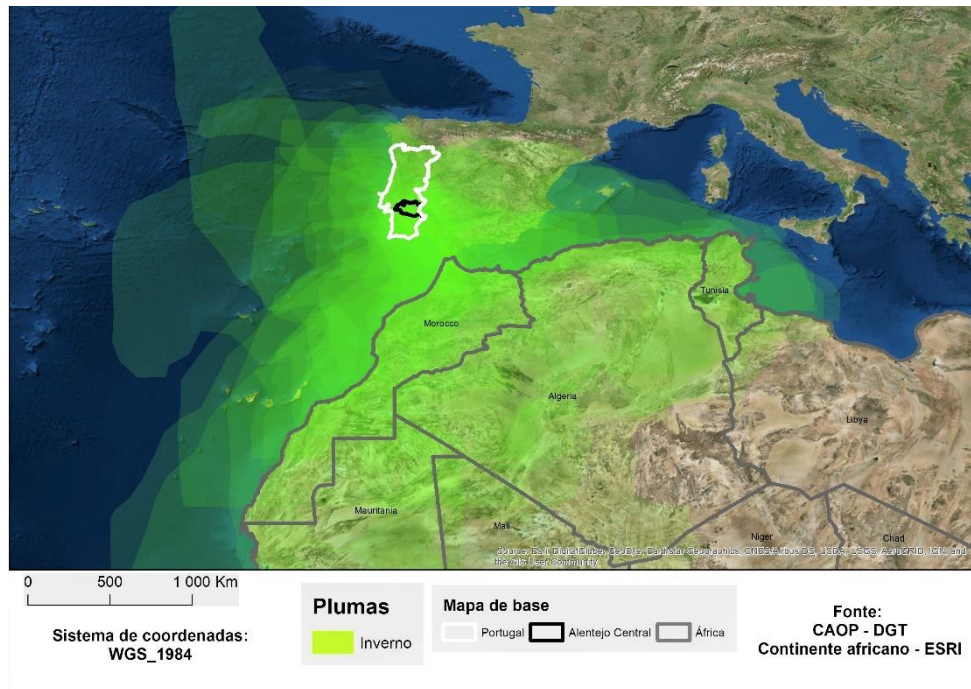


Figura 20: Limites das plumas de partículas norte africanas durante o inverno. **Nota:** A cor mais ténue representa 1 pluma, sendo que à medida que há maior sobreposição a cor vai ficando mais forte. O verde mais carregado significa a sobreposição de várias plumas, no máximo de 20.

Na primavera (**Figura 21**) a situação muda drasticamente, além do número de episódios ser muito maior, as plumas apresentam dimensões muito maiores (**Quadro 14**). Observa-se na **Figura 21** que existe uma grande sobreposição das plumas dos episódios entre os países de origem das poeiras, Mauritânia, Mali, Argélia, Marrocos e Sára Ocidental, mas também entre as áreas recetoras destas partículas, nomeadamente a Península Ibérica, e mais em pormenor a área de estudo, o Alentejo Central. Apenas através do **Quadro 14** e dos seus dados numéricos, se consegue confirmar a ideia de que a figura sugere. Assim sendo, durante a estação da primavera a área das plumas aumentou quase 6x, sendo um aumento vertiginoso ($295\,057\,890\text{ Km}^2$) face ao inverno. A área média, apesar de tudo, aumentou ligeiramente, cerca de um milhão de quilómetros quadrados relativamente ao inverno. A área mínima desceu, ou seja, em comparação ao inverno, esta estação tem episódios com plumas mais pequenas, embora, também tenha episódios com plumas com áreas maiores.

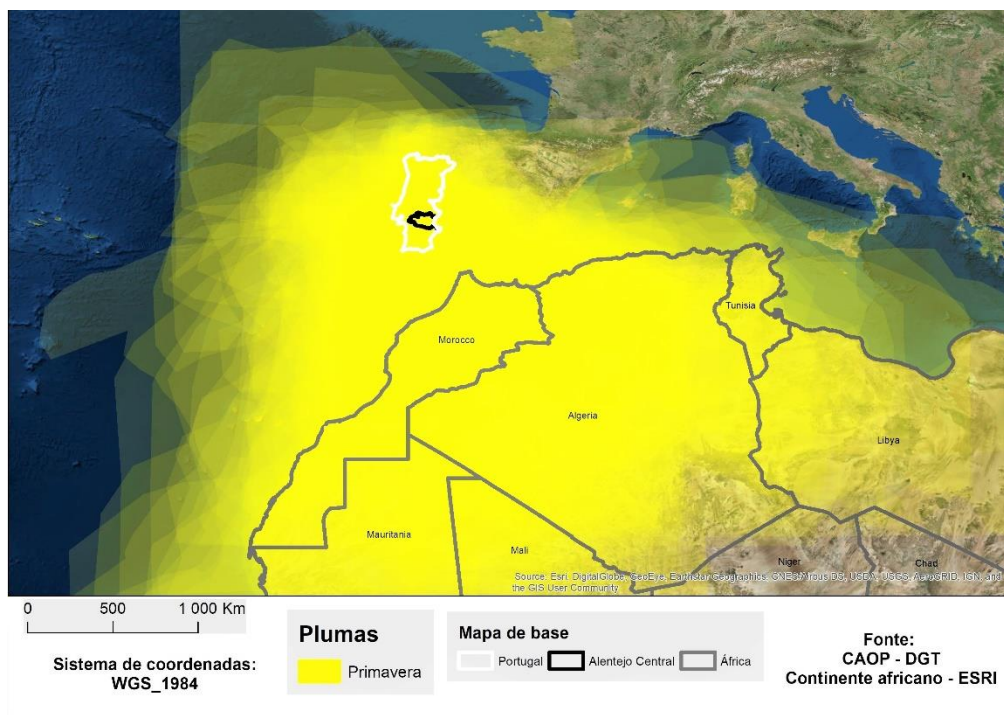


Figura 21: Limites das plumas de partículas norte africanas durante a primavera. **Nota:** A cor mais ténue representa 1 pluma, sendo que à medida que há maior sobreposição a cor vai ficando mais forte. O amarelo mais carregado significa a sobreposição de várias plumas, no máximo de 90.

No verão (**Figura 22**) como se pode observar, o aumento da extensão das plumas é ainda mais notório. Nesta estação, a sobreposição de plumas sobre não só a área de estudo, mas sobre toda a área envolvente, desde os países de origem das poeiras, ao oceano Atlântico, e ainda até ao sul da Península Ibérica, é muito elevada. As plumas estendem-se, assim, por grandes áreas, não apresentando trajetórias tão definidas como as observadas no inverno, revelando que as plumas são menos limitadas espacialmente.

Com base nos dados apresentados no **Quadro 14**, observa-se que, em relação ao verão, o total de área ocupada pelas plumas quase que duplica face a primavera, e é quase 12x maior que durante o inverno. As áreas médias e máximas de cada pluma aumentam significativamente, sendo que também a área mínima aumentou por comparação à primavera. Nesta estação, é visível não só um maior predomínio da quantidade de episódios, mas também da área que as plumas ocupam.

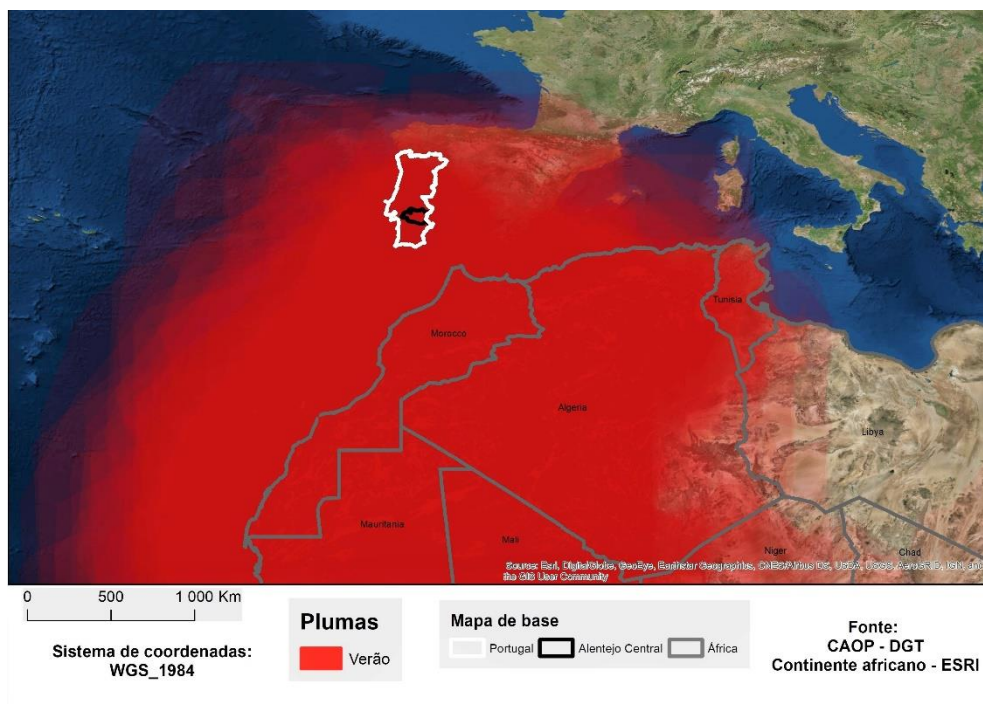


Figura 22: Limites das plumas de partículas norte africanas durante o verão. **Nota:** A cor mais ténue representa 1 pluma, sendo que à medida que há maior sobreposição a cor vai ficando mais forte. O vermelho mais carregado significa a sobreposição de várias plumas, no máximo de 108.

Por último, no outono (**Figura 23**), a intensidade das plumas tende a tornar-se novamente menor. O número de episódios é menor, sendo que sugere algumas semelhanças com o inverno. Observa-se uma área com sobreposição elevada entre Marrocos e o sul de Portugal, até à área de estudo sensivelmente. No entanto, as áreas das plumas de poeiras dão outras indicações. De acordo com o **Quadro 14**, a área total apesar de ser menor relativamente à primavera em quase metade, a área média, mínima e máxima é mais elevada, ou seja, o outono tem menos episódios que a primavera, embora, esses mesmos episódios contemplem áreas maiores.

Quadro 14: Áreas das plumas de partículas norte africanas.

	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Área total Km²	54 528 656	295 057 890	545 999 626	128 642 971
Área média Km²	2 726 433	3 278 421	5 102 800	4 435 964
Área mínima Km²	642 037	238 608	356 139	863 942
Área máxima Km²	5 597 217	8 541 153	12 387 070	10 937 495

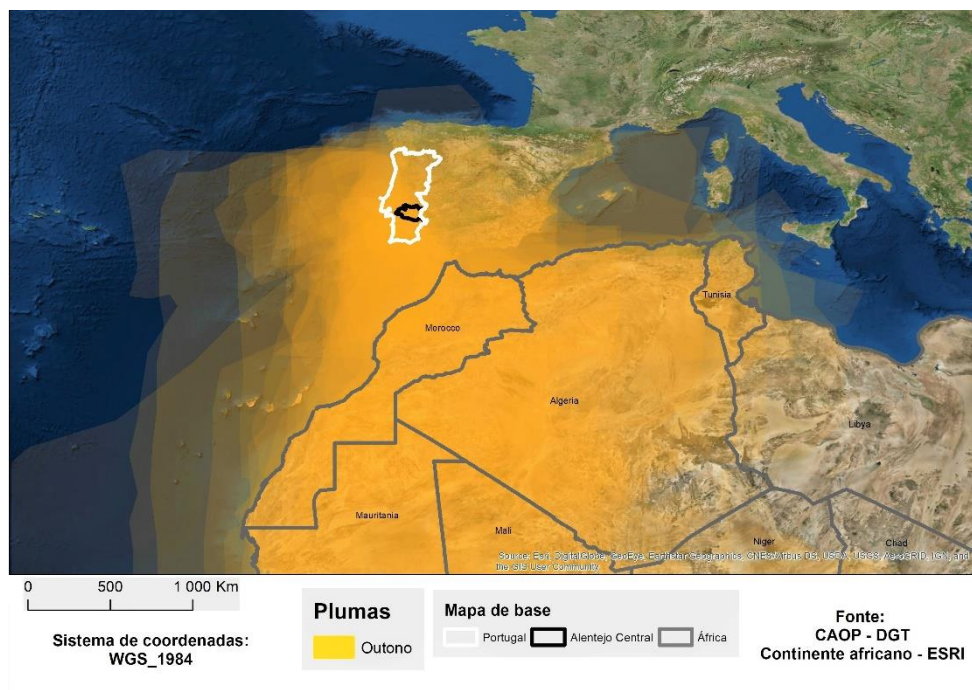


Figura 23: Limites das plumas de partículas norte africanas durante o outono. **Nota:** A cor mais ténue representa 1 pluma, sendo que à medida que há maior sobreposição a cor vai ficando mais forte. O laranja mais carregado significa a sobreposição de várias plumas, no máximo de 28.

4.4. Relação entre os internamentos hospitalares, e as determinantes ambientais naturais (variáveis climáticas, de qualidade do ar e presença/ausência de poeiras em circulação).

Como se referiu no **Subcapítulo 3.3.1**, foi produzido um conjunto de resultados que permitiriam numa primeira fase, introduzir e contextualizar os dados que irão integrar o modelo final, que permitirá perceber se os episódios de intrusão de poeiras estão relacionados com os internamentos. Deste modo, foi realizado um sumário estatístico respeitante às variáveis independentes (determinantes ambientais), e às variáveis dependentes (internamentos hospitalares), tendo em conta o período analisado, abrangendo os dias da APA, os dias de validação e ainda os dias sem episódios (sem poeiras).

Foi ainda realizada uma análise de correlações, utilizando dois tipos de coeficientes. O primeiro, de Pearson que, como foi referido, calcula a correlação linear entre variáveis na mesma escala de grandeza. O segundo, de Spearman foi usado para as variáveis que não estão na mesma escala, sendo adequado, para avaliar relações monotónicas (lineares ou não lineares). Seguidamente, realizaram-se modelos de regressão linear múltipla entre

todas independentes e dependentes, de forma a perceber, quais das primeiras explicam mais a variação das segundas.

4.4.1. Sumário estatístico das variáveis independentes e de internamentos

O comportamento das variáveis, de acordo com a APA, os dias de validação, os dias sem poeiras e com a totalidade dos dias, apresenta ligeiras, mas importantes diferenças, como demonstra o **Quadro 15**.

Assim sendo, a “temperatura média” apresenta um valor médio, para todos os dias do período de estudo, de 16,9°C, sendo que o seu valor máximo é de 33,4°C e o valor mínimo de 2,5°C. Os valores mais baixos de “temperatura média” são registados durante os dias sem poeiras. Nestes dias, a média da “temperatura média diária” é de 15,9°C, o valor máximo de 31,45°C e o mínimo de 2,5°C. Por oposição, os dias de validação apresentam valores mais elevados, à exceção do valor máximo. Desta forma, o valor médio da média diária é de 22,4°C, enquanto que o valor máximo é de 31,45°C e o mínimo de 8,5°C. Quanto aos valores do desvio-padrão, percebe-se que os dias de validação são os que apresentam valores mais próximos à média, sendo assim mais uniformes. Em todo o caso, os dias sem poeiras apresentam sempre temperatura mais baixas, mesmo comparando com os dias da APA.

Quanto à “temperatura máxima” durante todos os dias do período de estudo, tem um valor médio de 23,2°C, um valor máximo de 42,4°C e mínimo de 6,2°C. Os valores mais baixos, são, novamente, registados nos dias sem poeiras, e os mais elevados nos dias de validação. Assim, nos dias sem poeiras, o valor médio da “temperatura máxima” é de 21,9°C, o valor máximo de 42,4°C e o mínimo de 6,2°C. Por sua vez, nos dias de validação a média do valor máximo é de 30,1°C, o valor máximo de 41,8°C, e o mínimo de 12,6°C. Quanto ao desvio-padrão é, novamente, mais baixo nos dias do inventário de validação, pelo que os valores são menos dispares entre si. Salienta-se ainda, que os valores da APA, são outra vez mais elevados que os dos dias sem poeiras.

No que toca à “temperatura mínima”, são visíveis contrastes idênticos aos descritos relativamente à “temperatura média” e a “temperatura máxima”. Assim, os valores são mais elevados os dias de validação, e menos elevados nos dias sem poeiras. Considerando a totalidade dos dias do período estudado, observa-se uma média de 10,2°C, um máximo

de 24,7°C e o mínimo de -4°C. Por sua vez, nos dias sem poeiras, a média é de 9,4°C, o máximo de 22,2°C e o mínimo de -4°C. Nos dias de validação o valor médio é de 14,6°C, o máximo de 23,6°C e o mínimo de 2,3°C. Os valores de desvio-padrão são, novamente, mais baixos nos dias de validação.

Relativamente à “humidade relativa”, o comportamento é o oposto por comparação à temperatura, apresentando valores mais elevados nos dias sem poeiras, e mais baixos nos dias com poeiras. Desta forma, nos dias todos, o valor médio de “humidade relativa” é de 62,1%, o valor máximo de 98,8% e o mínimo de 15,7%. Nos dias sem poeiras, os valores registados são para a média de 63,7%, para o máximo 98,8% e o mínimo de 14,7%. No inverno, nos dias de validação, o valor médio é de 54,1%, o máximo de 90,9% e o mínimo de 24,3%. Quanto ao desvio-padrão este é mais baixo nos dias de validação. Os dias da APA também têm valores mais baixos que os dias sem poeiras.

A “precipitação” é uma variável com um comportamento parecido para os vários parâmetros estatísticos. Quer isto dizer, que não ostenta variações significativas, embora nos dias de validação sejam ligeiramente diferentes. Assim, para todos os dias, para os dias sem poeiras e para os dias da APA, o valor médio é de 4,6 mm. Para os dias de validação a média é de 2,8 mm. Os valores mínimos são iguais, 0 mm, para os 4 cenários. Nos valores máximos é onde se verificam os maiores contrastes, sugerindo a indicação de que nos dias em que se verificam poeiras a precipitação poderá ser menor. Desta forma, para todos os dias e dias sem episódios o máximo é de 39,1 mm, enquanto que, para os dias da APA é de 32,5 mm e para os dias de validação 16,8 mm. Os valores do desvio-padrão indicam que os dias de validação, uma vez mais, têm os valores mais uniformes (menos díspares) relativamente à média.

Quadro 15: Sumário estatístico das variáveis independentes e dos internamentos.

Fontes: KNMI *Climate Explorer*; *Atmospheric Sciences Water and Climate*; QualAr; Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão	N
Todos os dias					
Temperatura média (°C)	16,9	33,4	2,5	6,3	3378
Temperatura máxima (°C)	23,2	42,4	6,2	8	3761
Temperatura mínima (°C)	10,2	24,7	-4	5,2	3519
Humidade relativa (%)	62,1	98,8	15,7	15,1	3945
Precipitação (mm)	4,6	39,1	0	7,3	1619
Velocidade do vento (m/s)	2,1	5,1	0,2	0,7	3955
Concentração média PM10 (µg/m ³)	21,5	155,6	0	13,2	3164
Concentração média PM2.5 (µg/m ³)	10,6	139	0	6,7	3288
Concentração máxima PM10 (µg/m ³)	49,8	640	0	38,3	3154
Concentração máxima PM2.5 (µg/m ³)	27,9	391	0	21,2	3288
Internamentos	2,2	11	0	1,8	8933
Internamentos inverno	3,4	11	0	2,2	3313
Internamentos verão	1,3	8	0	1,2	1389
Dias sem episódios					
Temperatura média (°C)	15,9	31,45	2,5	6,1	2635
Temperatura máxima (°C)	21,9	42,4	6,2	7,6	2954
Temperatura mínima (°C)	9,4	22,2	-4	5,0	2760
Humidade relativa %	63,7	98,8	14,7	14,7	3116
Precipitação mm	4,6	39,1	0	7,4	1264
Velocidade do vento (m/s)	2,1	5,1	0,2	0,8	3116
Concentração média PM10 (µg/m ³)	18,0	130,2	0	9,3	2485
Concentração média PM2.5 (µg/m ³)	9,6	139	0	6,7	2585
Concentração máxima PM10 (µg/m ³)	43,4	442	0	31,5	2480
Concentração máxima PM2.5 (µg/m ³)	26,1	391	0	20,4	2585
Internamentos	2,3	11	0	1,9	7130
Internamentos inverno	3,4	11	0	2,2	2827
Internamentos verão	1,3	8	0	1,2	955
Dias com poeiras - APA					
Temperatura média (°C)	20,7	33,4	7,05	5,8	722
Temperatura máxima (°C)	28,0	42,4	8,6	7,7	790
Temperatura mínima (°C)	13,0	24,7	1	4,5	742
Humidade relativa %	55,5	91	15,7	14,5	812

Precipitação mm	4,6	32,5	0	6,8	355
Velocidade do vento (m/s)	1,8	3,8	0,6	0,6	822
Concentração média PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33,7	155,6	4	15,9	662
Concentração média PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,2	38,9	0	5,5	693
Concentração máxima PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72,6	640	16	49,9	657
Concentração máxima PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34,6	222	0	22,8	693
Internamentos	2,1	10	0	1,7	1745
Internamentos inverno	3,5	10	0	2,1	463
Internamentos verão	1,4	6	0	1,2	434
Dias com poeiras - Validação					
Temperatura média (°C)	22,4	31,45	8,5	5,5	221
Temperatura máxima (°C)	30,1	41,8	12,6	7,0	236
Temperatura mínima (°C)	14,6	23,6	2,3	4,3	228
Humidade relativa %	54,1	90,9	24,3	13,5	239
Precipitação mm	2,8	16,8	0	4,2	112
Velocidade do vento (m/s)	1,7	3,4	0,9	0,5	240
Concentração média PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	47,6	155,6	4	22,7	193
Concentração média PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16,1	35,0	0	6,0	194
Concentração máxima PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	103,6	640	16	70,4	193
Concentração máxima PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	41,1	222	0	31,7	194
Internamentos	1,9	11	0	1,7	476
Internamentos inverno	4,2	11	1	2,3	83
Internamentos verão	1,4	5	0	1,1	148

A “velocidade do vento” é uma variável com um comportamento semelhante à “precipitação”, apresentando valores semelhantes entre a totalidade dos dias e os dias sem poeiras, mas também, com valores mais baixos nos dias em que se verificam partículas. Assim, nos dois primeiros cenários referidos, o valor médio é de 2,1 m/s, o máximo de 5,1m/s, e o mínimo 0,2 m/s. Depois, como se referiu, nos dias com poeiras os valores são mais baixos, sendo o valor médio 1,8 m/s para a APA, e 1,7 m/s para os dias de validação. O valor máximo, difere apenas em 4 décimas, sendo de 3,8 m/s para a APA e de 3,4 m/s para os dias de validação. Por sua vez, o valor mínimo difere apenas por 3 décimas, sendo 0,6 m/s para a APA, e 0,9 m/s para os dias de validação. O desvio-padrão é, novamente, mais favorável aos dias de validação.

Quanto ao conjunto de variáveis da concentração de partículas PM10 e PM2.5 verifica-se que nos dias com poeiras, a concentração é maior, como seria expectável. Assim, quanto ao valor médio de “PM10 médio diário” para todos os dias, é de 21,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o valor máximo de 155,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para o cenário sem poeiras, o valor médio é de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo de 130,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo, novamente 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por oposição, nos dias de validação foi quando se observaram os valores mais elevados. Para o valor médio do “PM10 médio diário”, registou-se 47,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para o valor máximo 155,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e para o mínimo 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para os valores da concentração máxima de PM10, a média de todos os dias é de 49,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o valor máximo 640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e o mínimo 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para os dias sem episódios, a média é de 43,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo 442 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante os dias de validação, o valor médio registado foi de 103,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo 640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No que diz respeito à concentração média de PM2.5, o valor médio para todos os dias é de 10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo de 139 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto aos dias sem poeiras, estes têm valores mais baixos que os dias de validação, embora o valor máximo absoluto registado tenha ocorrido num dos dias sem poeiras, pelo que o elevado valor poderá ter decorrido de outro fator (como, por exemplo, poluição de outra origem, ou incêndios florestais). Assim, nos dias sem poeiras o valor médio é de 9,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo 139 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para os dias de validação, o valor médio de 16,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Relativamente à concentração máxima de PM2.5, o valor médio para todos os dias é de 27,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo 391 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nos dias sem poeiras o valor médio é de 26,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo também de 391 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por último, para os dias de validação, o valor médio é de 41,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo 222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Os valores do desvio-padrão das partículas já não revelam o comportamento descrito em relação às variáveis climáticas, em que o inventário de validação apresenta sempre os valores mais uniformes face à média. Nesta situação, relativamente às concentrações máximas, é nos dias da APA que os valores menos se distanciam da média. No caso das concentrações médias têm o desvio-padrão mais baixo verifica-se nos dias sem poeiras.

Relativamente às variáveis dos internamentos, as mesmas apresentam um comportamento diferente entre si. No total dos internamentos, os valores médios mais elevados foram

registados nos dias sem poeiras com 2,3 internamentos por dia, enquanto que nos dias do inventário de validação (valor mais baixo), é cerca de 1,9. Quanto aos valores máximos e mínimos, eles estão à volta dos 11 e 0, respetivamente, em ambos os cenários. Durante o inverno e o verão o comportamento é diferente, sendo que, quando há poeiras, os valores são mais elevados do que quando não há, sobretudo durante o inverno. Assim, durante os dias sem poeiras no inverno há 3,4 internamentos por dia, enquanto que no verão 1,3. Durante os dias de validação, no inverno registou-se uma média de 4,2 e no verão 1,4. Estes valores podem ser explicados pelo facto de que no período mais frio, há uma maior incidência das patologias respiratórias, em que variáveis como a temperatura poderão desempenhar fatores importantes. No entanto, a qualidade do ar e nomeadamente a intrusão de poeiras, poderá comportar-se como um fator agravante dessas mesmas condições no inverno. Quanto aos valores máximos e mínimos rondam também os 11 e 0, respetivamente, em ambas as estações para ambos os cenários. A única exceção é nos dias de validação, em que o valor mínimo no inverno é de 1. Entre os quatro cenários os valores de desvio-padrão são ligeiramente diferentes entre si, embora não demonstrem variações muito grandes respetivamente às médias.

No Alentejo Central, entre 2005 e 2015 foram registadas 7123 pessoas internadas de urgência, num total de 8933 internamentos urgentes (vários indivíduos com mais de uma hospitalização), por causas respiratórias (referenciadas no **Quadro 1**). Desse número de internamentos durante o período referido, em 30,5% dos dias registou-se um internamento por dia, em 27,5% dois por dia, em 17,7% três por dia e em 11% quatro internamentos por dia; por oposição, em 13,1% dos dias ocorreram cinco ou mais internamentos num só dia (**Figura 24**). Salienta-se que num só dia foram registados onze internamentos.

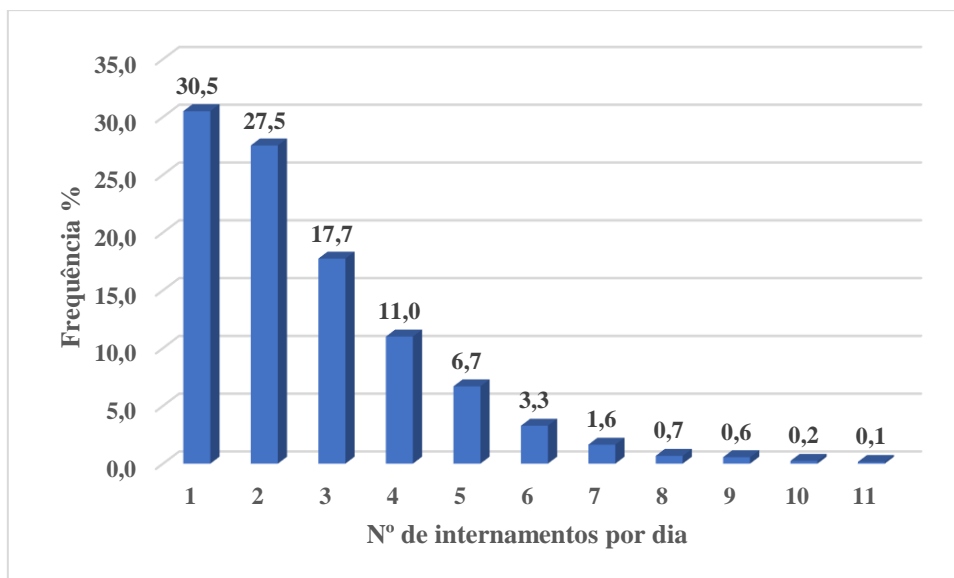


Figura 24: Percentagem do total de internamentos urgentes por dia no Alentejo Central, por patologias respiratórias, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

Do total de internamentos urgentes, refira-se que 42,3% foram mulheres e 57,7% foram de homens (**Figura 25**). Em termos de faixa etária, observa-se que são os idosos os mais vulneráveis com 67% dos registos, enquanto nos jovens a percentagem foi de 18,3% e nos adultos 14,9% (**Figura 26**), não havendo grande diferença entre estas categorias etárias.

Considerando a totalidade dos internamentos urgentes, observa-se ainda, que a grande maioria deles se deveu sobretudo a uma doença (**Figura 27**). Essa doença é a pneumonia com 76% dos casos, seguido da doença pulmonar obstrutiva crónica com 10,5% e infeções na parte inferior do sistema respiratório com 8,7%. Por oposição, com valores muito baixos, surge a rinite, que nem chega a 0,1%, com 0,1% a pneumoconiose, 0,2% as infeções na parte superior do sistema respiratório, 0,4% a bronquite e 0,5% a gripe.

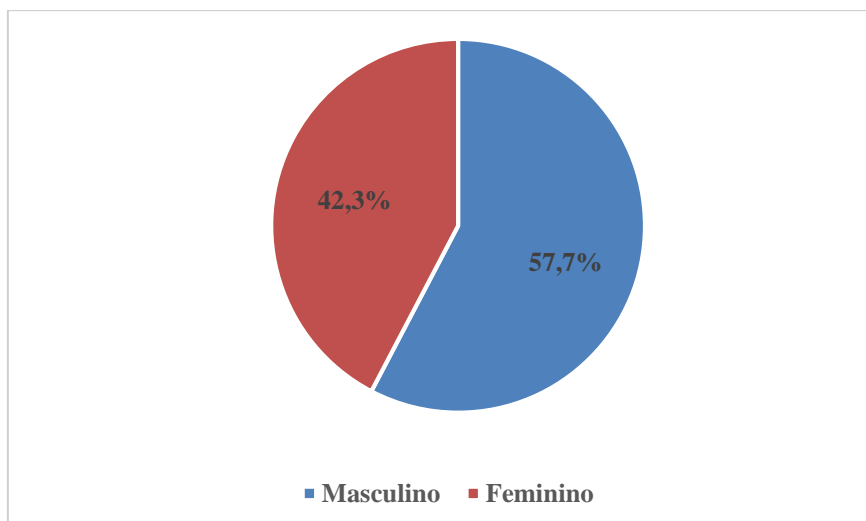


Figura 25: Percentagem do total de internamentos urgentes provocados por patologias respiratórias, por género no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

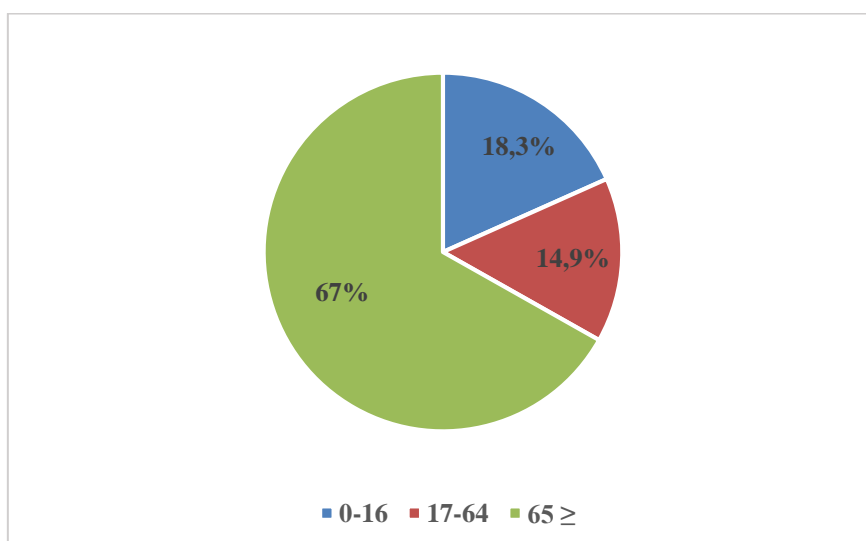


Figura 26: Percentagem do total de internamentos urgentes provocados por patologias respiratórias, por faixa etária no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

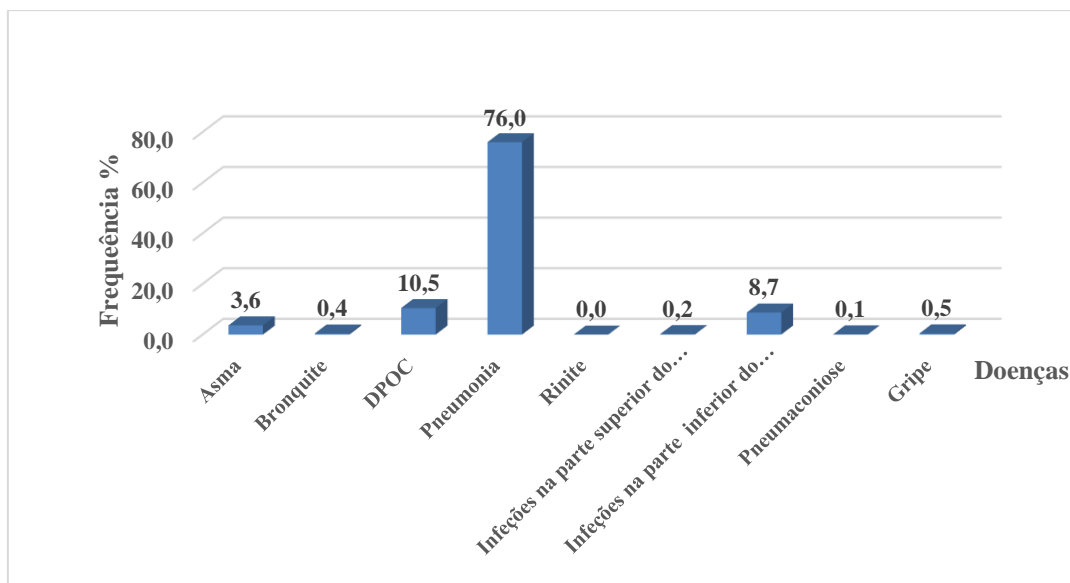


Figura 27: Percentagem do total de internamentos urgentes por patologias respiratórias no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

Relativamente aos períodos temporais estudados, observa-se que no que toca aos anos (**Figura 28**), os internamentos no global, aparentam demonstrar um padrão de decréscimo, sendo que, 2005 tem 12,2%, do total de registos, enquanto 2010 tem a menor percentagem, 7,3%, face ao total de internamentos. Relativamente às estações do ano (**Figura 29**), verifica-se que é o inverno que registou mais internamentos (37,1%), enquanto o verão foi a que menos observou (15,5%). A primavera é a segunda estação do ano com mais registos (28,4%), enquanto o outono o segundo com menos (19%). Por último, ao nível dos meses (**Figura 30**), é visível que durante os meses de inverno há maior percentagem de pessoas internadas com problemas respiratórios, sendo fevereiro o mês mais problemático, 13,1% do total de internamentos, surgindo janeiro logo a seguir com 13% e março já a baixar aos 11,3%. Por oposição, os meses de verão confirmam que nesta estação verificam-se menos internamentos, sendo que, agosto é o mês com menos hospitalizações (4,5%), setembro com 5% e julho com 5,7%.

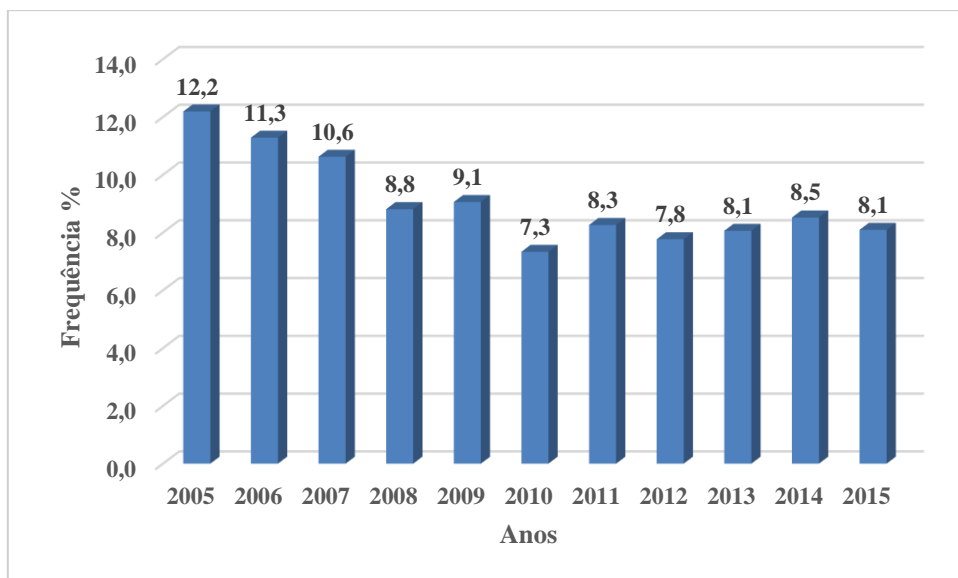


Figura 28: Percentagem do total de internamentos causados por patologias respiratórias, por ano, no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

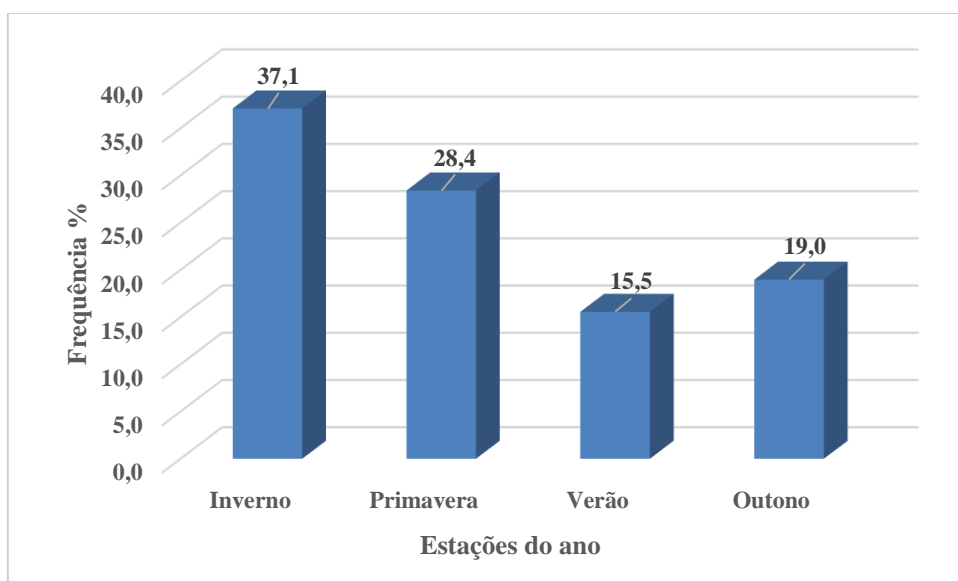


Figura 29: Percentagem do total de internamentos causados por patologias respiratórias, por estação do ano, no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

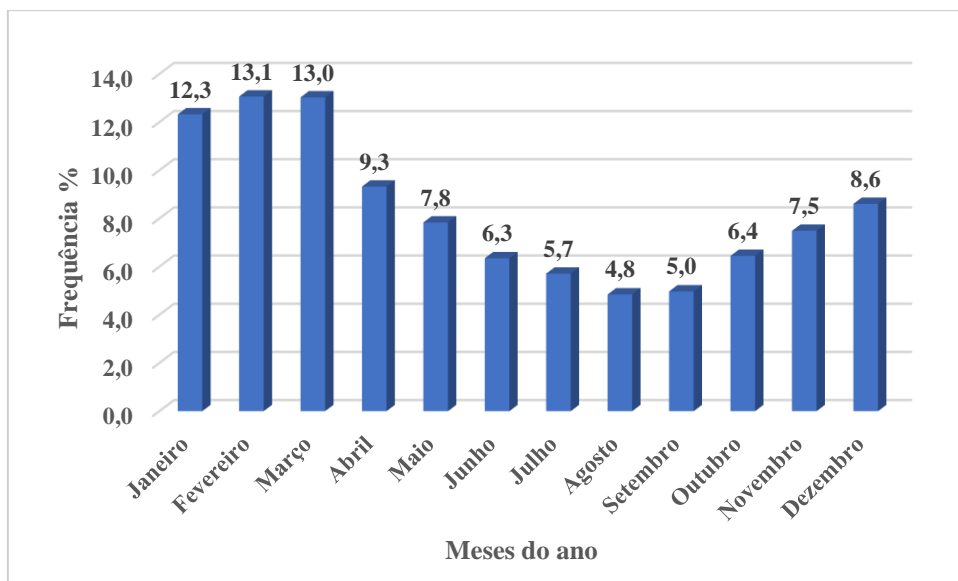


Figura 30: Percentagem do total de internamentos causados por patologias respiratórias, por mês, no Alentejo Central, entre 2005 e 2015.

Fonte: Agrupamento de Centros de Saúde do Alentejo Central.

4.4.2. Correlação de Pearson

A correlação de Pearson, não é o método mais indicado para estudar a relação de variáveis biofísicas com a saúde, uma vez que estas não se distribuem de uma forma linear e não apresentam entre si uma relação direta, no entanto, foi utilizado para testar. A avaliação da significância da correlação (valores-p) é um procedimento que visa testar a Hipótese Nula, ou seja, permite perceber se a relação não é um mero acaso estatístico. O nível de significância introduzido foi de 0,05, pelo que os resultados abaixo desse valor serão os mais interessantes, uma vez que são estatisticamente significativos. Os valores obtidos dos coeficientes de correlação de Pearson revelaram-se muito baixos, apesar de, em certas situações, o resultado da significância demonstrar correlações importantes.

Assim, a partir do **Quadro 16** percebe-se que as correlações com melhor significância estatística são entre os “internamentos total” e as variáveis da temperatura e humidade com valores de 0. No entanto, existem ainda outras correlações estatisticamente significativas, nomeadamente entre o “PM10 médio” (0,002) e o “PM10 máximo” (0,035) com o total de internamentos. Uma outra correlação com uma significância importante é entre a “precipitação” e os internamentos no verão (0).

No **Quadro 17** as variáveis com correlações estatisticamente significativas, relativamente aos “internamentos 0-16” e internamentos de idosos com 65 ou mais anos, são a “humidade relativa” e as variáveis de temperatura (0). Para o caso da primeira variável descrita, apresenta ainda uma significância estatística relevante com a “velocidade média do vento” (0,023). Outras correlações com significâncias importantes são encontradas, entre os “internamentos 0-16 verão” com a “humidade relativa” e a “precipitação”, com valores entre os 0 e os 0,029, mas também entre os “internamentos ≥ 65 inverno”, com a “temperatura máxima” (0,023), “PM10 médio” (0,002) e “PM2.5 máximo” (0,015). Por último, entre os internamentos ≥ 65 verão com a precipitação (0).

No **Quadro 18** as correlações que apresentam os valores de significância mais elevados são entre as variáveis da temperatura, com os “internamentos mulheres” e “internamentos homens”. Aqui, os valores de significância, entre as variáveis “internamentos mulheres” e “internamentos homens”, com a “humidade relativa”, as temperaturas: média, máxima e mínima apresentam valores de 0. Por sua vez, a variável “internamentos mulheres” apresenta ainda bons resultados com os “PM10 médio” (0,002), “PM10 máximo” (0,008) e “PM2.5 médio” (0,012) e “PM2.5 máximo” (0,038). Com a variável “internamentos mulheres inverno” e os “PM2.5 máximo” o valor de significância é de 0,02, enquanto, os “internamentos mulheres verão” com a “precipitação” e a “velocidade média do vento” têm 0 e 0,04, respetivamente. A significância dos “internamentos homens no verão” com a “precipitação” é de 0.

De acordo com o **Quadro 19**, as correlações com valores estatisticamente significativos são entre as variáveis “internamentos mulheres 0-16” e “internamentos mulheres ≥ 65 ”, com as variáveis das temperaturas e humidade (0). A variável “internamentos mulheres ≥ 65 ” é ainda, estatisticamente significativa com os “PM10 médio” (0,04). Além desta última variável, também os internamentos mulheres ≥ 65 no inverno e verão, apresentam significância estatística com os “PM10 médio” (0,014 e 0,045, respetivamente). Os internamentos mulheres ≥ 65 no inverno, têm ainda, significância estatisticamente importante com os “PM2.5 máximo” (0,035). Por sua vez, os internamentos mulheres 0-16 no verão, apresentam uma significância importante com a “humidade” de 0,043, com a “precipitação” 0 e com a “temperatura máxima” 0,017.

Para as variáveis do **Quadro 20**, as correlações estatisticamente mais significativas verificam-se entre os “internamentos homens 0-16” e os “internamentos homens ≥ 65 ”

anos e uma vez mais, com as variáveis da temperatura e humidade (0). Entre os “internamentos homens verão 0-16” e os “internamentos homens verão ≥ 65 ” anos, com a “precipitação” também se verifica uma correlação estatisticamente significativa de 0. Por último, os “internamentos homens inverno ≥ 65 ” anos também têm uma significância estatística relevante com o “PM10 médio”, de 0,011.

Quadro 16: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais. **Fonte dos dados:** ARSAC. Elaboração própria.

	Internamentos total		Internamentos Inverno		Internamentos verão	
	Corr.Pear	Valores-p	Corr.Pear	Valores-p	Corr.Pear	Valores-p
Humidade relativa	0,163	0,000	-0,029	0,38	0,025	0,426
Precipitação	0,017	0,398	-0,003	0,91	-0,049	0,000
Temperatura média	-0,332	0,000	0,028	0,43	0,048	0,146
Temperatura máxima	-0,314	0,000	0,037	0,26	0,044	0,168
Temperatura mínima	-0,321	0,000	-0,009	0,80	0,031	0,335
V. Vento	-0,012	0,415	0,04	0,22	0,029	0,365
PM10 médio	-0,055	0,002	0,075	0,04	0,002	0,958
PM2.5 médio	-0,031	0,072	-0,027	0,44	0,005	0,879
PM10 máximo	-0,038	0,035	0,03	0,42	0,014	0,67
PM2.5 máximo	-0,025	0,153	-0,073	0,04	0,007	0,831

Quadro 17: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais. **Fonte dos dados:** ARSAC. Elaboração própria.

	Internamentos 0-16		Internamentos 0-16 inverno		Internamentos 0-16 verão		Internamentos ≥65		Internamentos ≥65 inverno		Internamentos ≥65 verão	
	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	CorrPeaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p
Humidade relativa	0,133	0,000	-0,019	0,557	0,069	0,029	0,101	0,000	-0,054	0,097	0,01	0,759
Precipitação	0	0,642	0,044	0,429	-0,02	0,000	0,015	0,964	-0,025	0,984	-0,038	0,000
Temperatura média	-0,279	0,000	-0,01	0,775	0,009	0,793	-0,223	0,000	0,052	0,146	0,037	0,254
Temperatura máxima	-0,26	0,000	-0,019	0,568	-0,022	0,497	-0,208	0,000	0,074	0,023	0,043	0,175
Temperatura mínima	-0,276	0,000	-0,003	0,942	0,002	0,959	-0,216	0,000	-0,006	0,872	0,027	0,402
V. Vento	-0,036	0,023	0,001	0,975	-0,056	0,074	0	0,99	0,041	0,201	0,039	0,218
PM10 médio	-0,031	0,077	0,034	0,35	0,02	0,556	-0,033	0,066	0,116	0,002	-0,015	0,655
PM2.5 médio	-0,012	0,505	0,062	0,078	0,014	0,69	-0,024	0,164	-0,037	0,302	0,015	0,664
PM10 máximo	-0,027	0,131	-0,015	0,684	0,017	0,621	-0,019	0,274	0,057	0,119	0,017	0,621
PM2.5 máximo	-0,008	0,645	0,021	0,559	0,017	0,624	-0,021	0,234	-0,085	0,015	0,026	0,445

Quadro 18: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais. **Fonte dos dados:**

ARSAC. Elaboração própria.

	Internamentos Mulheres		Internamentos mulheres inverno		Internamentos mulheres verão		Internamentos homens		Internamentos homens inverno		Internamentos homens verão	
	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p	Corr.Peaa	Valores-p
Humidade relativa	0,125	0,000	-0,022	0,499	-0,006	0,851	0,125	0,000	-0,015	0,642	0,024	0,455
Precipitação	0,027	0,469	-0,025	0,948	-0,042	0,000	0,016	0,58	0,019	0,943	-0,031	0,000
Temperatura média	-0,274	0,000	0,02	0,582	0,014	0,669	-0,238	0,000	0,015	0,666	0,054	0,1
Temperatura máxima	-0,259	0,000	0,029	0,368	0,017	0,588	-0,226	0,000	0,02	0,54	0,042	0,191
Temperatura mínima	-0,257	0,000	0,006	0,854	0,004	0,893	-0,238	0,000	-0,019	0,582	0,044	0,173
V. Vento	0,006	0,687	0,022	0,494	0,065	0,04	-0,023	0,143	0,027	0,402	-0,026	0,41
PM10 médio	-0,055	0,002	0,066	0,071	-0,05	0,141	-0,025	0,157	0,045	0,225	0,05	0,144
PM2.5 médio	-0,044	0,012	-0,048	0,171	-0,016	0,647	-0,007	0,68	0,001	0,988	0,029	0,398
PM10 máximo	-0,047	0,008	0,018	0,624	-0,012	0,719	-0,005	0,777	0,017	0,646	0,027	0,429
PM2.5 máximo	-0,037	0,032	-0,082	0,02	-0,017	0,619	-0,005	0,764	-0,009	0,79	0,002	0,944

Quadro 19: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais. **Fonte dos dados:** ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos mulheres 0-16		Internamentos mulheres inverno 0-16		Internamentos mulheres verão 0-16		Internamentos mulheres ≥65		Internamentos mulheres inverno ≥65		Internamentos mulheres verão ≥65	
	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p
Humidade relativa	0,092	0,000	-0,023	0,471	0,065	0,043	0,087	0,000	-0,021	0,507	-0,017	0,595
Precipitação	0	1	-0,015	0,744	-0,011	0,000	0,03	0,564	-0,01	0,663	-0,037	0,000
Temperatura média	-0,215	0,000	-0,035	0,332	-0,063	0,058	-0,192	0,000	0,055	0,125	0,045	0,17
Temperatura máxima	-0,197	0,000	-0,017	0,611	-0,077	0,017	-0,183	0,000	0,057	0,083	0,054	0,092
Temperatura mínima	-0,209	0,000	-0,036	0,306	-0,036	0,267	-0,175	0,000	0,031	0,37	0,019	0,548
V. Vento	-0,019	0,224	-0,01	0,761	0,005	0,885	0,017	0,278	0,017	0,603	0,058	0,066
PM10 médio	-0,024	0,175	0,041	0,268	-0,018	0,602	-0,036	0,04	0,091	0,014	-0,068	0,045
PM2.5 médio	-0,03	0,089	-0,016	0,645	-0,04	0,248	-0,032	0,069	-0,046	0,19	0,013	0,706
PM10 máximo	-0,015	0,408	0,032	0,381	-0,003	0,92	-0,034	0,06	0,027	0,459	-0,031	0,367
PM2.5 máximo	-0,021	0,235	-0,054	0,126	-0,011	0,757	-0,033	0,06	-0,075	0,035	0,017	0,627

Quadro 20: Correlações de Pearson entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes ambientais. **Fonte dos dados:** ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos homens 0-16		Internamentos homens inverno 0-16		Internamentos homens verão 0-16		Internamentos homens ≥65		Internamentos homens inverno ≥65		Internamentos homens verão ≥65	
	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p	Corr.Pea	Valores-p
Humidade relativa	0,105	0,000	0,005	0,867	0,031	0,33	0,064	0,000	-0,056	0,084	0,031	0,326
Precipitação	-0,002	0,753	0,101	0,194	-0,017	0,000	-0,005	0,58	-0,029	0,632	-0,02	0,000
Temperatura média	-0,212	0,000	-0,017	0,635	0,026	0,436	-0,142	0,000	0,018	0,612	0,006	0,852
Temperatura máxima	-0,201	0,000	-0,034	0,305	0,013	0,688	-0,128	0,000	0,053	0,103	0,01	0,757
Temperatura mínima	-0,213	0,000	0,006	0,855	0	0,995	-0,148	0,000	-0,046	0,193	0,001	0,974
V. Vento	-0,03	0,059	-0,019	0,551	-0,064	0,042	-0,016	0,311	0,016	0,621	0,01	0,747
PM10 médio	-0,032	0,069	0,011	0,76	0,038	0,26	-0,013	0,463	0,093	0,011	0,02	0,547
PM2.5 médio	0,015	0,384	0,049	0,17	0,048	0,164	-0,005	0,773	-0,008	0,813	0,013	0,712
PM10 máximo	-0,013	0,468	-0,033	0,376	0,031	0,356	0,003	0,868	0,049	0,186	0,028	0,412
PM2.5 máximo	0,015	0,396	0,012	0,744	0,034	0,321	0,001	0,975	-0,064	0,07	0,038	0,261

4.4.3 Correlação de Spearman

Os resultados das correlações de Spearman demonstraram, tal como as de Pearson, valores de coeficiente r muito baixos, embora, nalguns casos, com relevância estatística. Nestas correlações procedeu-se, novamente, à realização do teste de significância, com o nível de 0,05. Nestes modelos, foram só tidas em conta as variáveis binárias em formato nominal, tal como se afirmou no **Subcapítulo 3.3.1**.

Desta forma, através do **Quadro 21**, observa-se que as correlações são pouco relevantes, sendo que, existem significâncias de certa forma importantes. Desta forma, percebe-se que o total de internamentos apresenta correlações estatisticamente significativas com as variáveis de presença e ausência de poeiras, “Validação” (0,006), “APA” (0,013) e “Sem episódios” (0,037). Com alguns dias da semana também se observam correlações muito significativas, com a “Segunda-feira” e “Domingo” (0), com a “Quarta-feira” (0,002) e com a “Sexta” (0,025). Os internamentos no inverno demonstram resultados relevantes com a “Segunda” e “Quarta-feira” (0) e com o “Domingo” (0,01). Por sua vez, os internamentos no verão demonstram significância estatística importante com a “Terça-feira” (0,01) e com o “Domingo (0,025)”.

No **Quadro 22**, são visíveis alguns valores estatisticamente significativos, embora menos comparando com o quadro anterior. Assim, de uma forma geral, as variáveis apresentam correlações estatisticamente significativas maioritariamente com os dias da semana. Os internamentos dos jovens demonstram correlações estatisticamente relevantes com o “domingo” (0,005), “APA” (0,04) e “Sem episódios” (0,07). Os internamentos da faixa etária mais nova durante o inverno com a “Quarta-feira” (0,036), embora, a mesma variável no verão só apresente uma significância importante com a “Sexta-feira” (0,02). Os internamentos da população mais idosa apresentam resultados de significância importantes com a “Segunda-feira” (0), “Terça-feira” (0,035), “Sexta-feira” (0,02), “Sábado” (0,011) e “Domingo” (0). Por sua vez, os internamentos de pessoas com ou mais de 65 anos no inverno, apresentam significâncias importantes com a “Segunda-feira” (0), enquanto, a mesma variável no verão com o “Sábado” (0,038) e “Domingo” (0,018).

Quadro 21: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais. Fonte dos dados: ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos total		Internamentos Inverno		Internamentos verão	
	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.
APA	-0,039	0,013	-0,001	0,979	0,02	0,513
Validação	-0,043	0,006	0,052	0,11	0,013	0,674
Sem episódios	0,033	0,037	-0,012	0,72	-0,016	0,609
Segunda-Feira	-0,089	0,000	-0,123	0,00	-0,02	0,525
Terça-Feira	0,030	0,054	0,029	0,36	0,08	0,01
Quarta-Feira	0,048	0,002	0,107	0,00	0,022	0,471
Quinta-Feira	0,030	0,057	0,029	0,37	-0,008	0,787
Sexta-Feira	0,035	0,025	0,037	0,24	-0,051	0,1
Sábado	0,028	0,076	0	1,00	0,046	0,137
Domingo	-0,083	0,000	-0,079	0,01	-0,07	0,025

Quadro 22: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais. Fonte dos dados: ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos 0-16		Internamentos 0-16 inverno		Internamentos 0-16 verão		Internamentos ≥65		Internamentos ≥65 inverno		Internamentos ≥65 verão	
	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.
APA	-0,032	0,04	-0,027	0,406	0,014	0,652	-0,018	0,262	0,058	0,071	0,007	0,834
Validação	-0,021	0,19	0,02	0,532	-0,021	0,493	-0,026	0,104	0,059	0,067	0,011	0,731
Sem episódios	0,029	0,07	0,023	0,472	-0,009	0,771	0,016	0,306	-0,053	0,096	-0,005	0,868
Segunda-Feira	-0,003	0,87	-0,025	0,432	0,045	0,15	-0,094	0,000	-0,124	0,000	-0,002	0,955
Terça-Feira	0,004	0,82	-0,038	0,236	0,018	0,552	0,033	0,035	0,046	0,154	0,056	0,071
Quarta-Feira	0,018	0,252	0,067	0,036	-0,028	0,373	0,03	0,054	0,046	0,149	0,047	0,129
Quinta-Feira	0,022	0,163	0,031	0,338	0,029	0,357	0,015	0,335	-0,001	0,968	-0,039	0,211
Sexta-Feira	-0,008	0,634	0,002	0,954	-0,072	0,02	0,037	0,02	0,043	0,179	-0,054	0,084
Sábado	0,011	0,494	0,026	0,424	0,009	0,784	0,04	0,011	0,008	0,811	0,065	0,038
Domingo	-0,044	0,005	-0,062	0,053	-0,001	0,986	-0,062	0,000	-0,017	0,6	-0,074	0,018

Quadro 23: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais. Fonte dos dados: ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos Mulheres		Internamentos mulheres inverno		Internamentos mulheres verão		Internamentos homens		Internamentos homens inverno		Internamentos homens verão	
	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.
APA	-0,034	0,03	-0,044	0,17	-0,017	0,592	-0,024	0,125	0,048	0,135	0,013	0,672
Validação	-0,027	0,082	0,046	0,15	-0,05	0,108	-0,038	0,017	0,027	0,404	0,01	0,745
Sem episódios	0,029	0,071	0,034	0,282	0,021	0,51	0,019	0,222	-0,058	0,071	-0,012	0,699
Segunda-Feira	-0,053	0,001	-0,099	0,002	-0,002	0,944	-0,083	0,000	-0,101	0,002	0,002	0,943
Terça-Feira	0,031	0,052	0,049	0,125	0,036	0,242	0,04	0,012	0,026	0,424	0,037	0,234
Quarta-Feira	0,042	0,008	0,082	0,01	0,011	0,733	0,024	0,131	0,049	0,127	0,015	0,642
Quinta-Feira	0,018	0,257	0,026	0,419	-0,002	0,943	0,026	0,098	0,034	0,294	0,003	0,934
Sexta-Feira	0,008	0,605	0,024	0,462	-0,05	0,106	,032	0,04	0,027	0,398	-0,035	0,256
Sábado	0,021	0,187	-0,011	0,742	0,045	0,15	0,023	0,147	0,022	0,496	-0,007	0,829
Domingo	-0,067	0,000	-0,071	0,027	-0,037	0,235	-0,062	0,000	-0,056	0,082	-0,014	0,648

Quadro 24: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais. Fonte dos dados: ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos mulheres 0-16		Internamentos mulheres inverno 0-16		Internamentos mulheres verão 0-16		Internamentos mulheres ≥65		Internamentos mulheres inverno ≥65		Internamentos mulheres verão ≥65	
	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.
APA	-0,033	0,036	-0,03	0,344	-0,021	0,499	-0,015	0,333	-0,005	0,884	-0,009	0,768
Validação	-0,01	0,53	0,039	0,222	-0,018	0,563	-0,019	0,22	0,047	0,141	-0,003	0,919
Sem episódios	0,027	0,092	0,026	0,417	0,024	0,443	0,014	0,37	0,01	0,765	0,011	0,721
Segunda-Feira	0,006	0,689	-0,026	0,414	0,05	0,115	-0,057	0,000	-0,086	0,007	-0,029	0,357
Terça-Feira	-0,006	0,714	-0,038	0,237	-0,009	0,779	0,03	0,059	0,044	0,171	0,029	0,352
Quarta-Feira	0,014	0,379	0,076	0,018	-0,023	0,467	0,026	0,105	0,003	0,923	0,032	0,305
Quinta-Feira	0,02	0,199	0,042	0,194	0,036	0,249	0,009	0,574	0,016	0,616	-0,052	0,094
Sexta-Feira	0,01	0,513	-0,007	0,827	-0,052	0,096	0,014	0,362	0,051	0,11	-0,001	0,978
Sábado	-0,006	0,724	0,019	0,56	-0,023	0,476	0,023	0,138	-0,019	0,553	0,077	0,013
Domingo	-0,039	0,012	-0,065	0,043	0,02	0,517	-0,045	0,004	-0,009	0,784	-0,056	0,071

Quadro 25: Correlações de Spearman entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015) e determinantes de presença/ausência de poeiras e temporais. Fonte dos dados: ACSAC. Elaboração própria.

	Internamentos homens 0-16		Internamentos homens inverno 0-16		Internamentos homens verão 0-16		Internamentos homens ≥65		Internamentos homens inverno ≥65		Internamentos homens verão ≥65	
	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.	Corr.Spear	Sig.
APA	-0,021	0,182	-0,014	0,653	0,034	0,268	-0,015	0,335	0,086	0,007	0,011	0,713
Validação	-0,028	0,075	0,005	0,867	-0,019	0,54	-0,022	0,16	0,027	0,401	0,026	0,406
Sem episódios	0,019	0,229	0,019	0,548	-0,03	0,331	0,014	0,378	-0,088	0,006	-0,013	0,678
Segunda-Feira	-0,011	0,479	-0,005	0,883	0,029	0,357	-0,085	0,000	-0,106	0,001	-0,019	0,551
Terça-Feira	0,016	0,312	-0,008	0,802	0,029	0,357	0,02	0,212	0,031	0,331	0,006	0,842
Quarta-Feira	0,003	0,86	-0,003	0,919	-0,025	0,416	0,017	0,268	0,037	0,244	0,063	0,043
Quinta-Feira	0,027	0,088	0,017	0,592	0,02	0,516	0,018	0,25	0,001	0,983	-0,013	0,679
Sexta-Feira	-0,011	0,482	0,008	0,793	-0,046	0,138	0,04	0,012	0,029	0,358	-0,037	0,228
Sábado	0,023	0,141	0,048	0,135	0,008	0,801	0,03	0,054	0,024	0,461	0,041	0,183
Domingo	-0,047	0,003	-0,057	0,074	-0,014	0,658	-0,04	0,01	-0,016	0,625	-0,042	0,18

Relativamente ao **Quadro 23**, no que diz respeito às significâncias, tal como aconteceu anteriormente, as correlações mais relevantes ocorrem sobretudo com os dias da semana. Os internamentos das mulheres têm correlações estatisticamente significativas com a “APA” (0,03), “Segunda-feira” (0,001), “Quarta-feira” (0,008) e o “Domingo” (0). Os internamentos das mulheres no inverno também demonstram correlações significativas com a “Segunda-feira” (0,002), “Quarta-feira” (0,01) e “Domingo” (0,027). Quanto aos internamentos dos homens, também se verificam significâncias importantes, com a “Validação” (0,017), com a “Segunda-feira” (0), com a “Terça-feira” (0,012), com a “Sexta-feira” (0,04) e “Domingo” (0). Por último, os internamentos dos homens no inverno apresentam, ainda, significância relevante com a “Segunda-feira” (0,002).

Quanto ao quadro seguinte, **Quadro 24**, existem alguns valores de significâncias relevantes, sobretudo com os dias da semana. As correlações estatisticamente mais significativas, são entre os “Internamentos mulheres 0-16”, com a “APA” (0,036) e o “Domingo” (0,012). Esta mesma variável, mas durante o inverno, apresenta significâncias importantes, com a “Quarta-feira” (0,018) e o “Domingo” (0,043). A variável “Internamentos mulheres ≥ 65 ” com a “Segunda-feira (0)” e o “Domingo” (0,004). Esta última variável no inverno, tem correlação estatisticamente relevante, com a “Segunda-feira” (0,007), enquanto, no verão verifica-se com o “Sábado” (0,013).

Por último, no **Quadro 25**, relativamente às significâncias, os resultados são estatisticamente menos significativos, em comparação aos outros quadros. Verifica-se, assim, entre os “Internamentos de homens dos 0-16” com o “Domingo” (0,003), entre os internamentos de homens com ou mais de 65 anos e a “Segunda-feira” (0), “Sexta-feira” (0,012) e o “Domingo” (0,01). Os internamentos de idosos no inverno, têm correlação estatisticamente significativa com a “APA” (0,007), “Sem episódios” (0,006) e a “Segunda-feira” (0,001). A mesma variável no verão é estatisticamente relevante com a “Quarta-feira” (0,043).

4.4.4. Regressão linear múltipla

Como se referiu no **Subcapítulo 3.3.1**, foi aplicado este método apenas para, numa fase exploratória, preliminar, verificar a associação entre determinantes ambientais e de saúde, embora, a metodologia mais indicada para tal se desenvolva no **Subcapítulo 4.5.1**. A regressão linear, **Quadro 26**, permite distinguir de entre as variáveis ambientais e nominais (de 0 a 1), aquelas que melhor explicam as variações nos internamentos. Os resultados demonstrados na tabela abaixo, apesar de aparentemente baixos, devem ser tidos em conta, um vez que no estudo de relações deste tipo no âmbito da saúde humana, as mesmas poderão ser consideradas relevantes, dado que para o R^2 ter uma maior percentagem de explicação, seria necessário introduzir outro tipo de variáveis relacionadas com o quotidiano da população e com os seus comportamentos, entre outras.

Desta forma, observando o **Quadro 26**, percebe-se primeiramente que as melhores relações (entre 14% e 12%) das variáveis independentes são com os internamentos ≥ 65 inverno, internamentos inverno e internamentos total. Existem ainda algumas relações entre os 9% e os 6%, nomeadamente com os internamentos 0-16, internamentos mulheres inverno, internamentos mulheres inverno ≥ 65 , internamentos homens, internamentos mulheres, internamentos homens inverno ≥ 65 e internamentos homens verão. Seguidamente, percebe-se a maioria das relações tem apenas 5% ou menos de explicação, sendo que existem algumas sem relação. Quanto às variáveis independentes, aquelas que mais influenciam os internamentos no geral são as temperaturas e as partículas. Assim verifica-se que o PM10 médio diário foi inserido 10 vezes (número de vezes que integram os modelos de regressão após o processo *stepwise*), a temperatura média diária 7, a temperatura mínima 6 e o PM2.5 médio diário 5. Relativamente às variáveis nominais, a APA foi a inserida mais vezes (4), seguido de dias sem episódios (2) e os dias de validação com 1.

Por sua vez, de acordo com o **Quadro 26**, as variáveis relativas aos internamentos 0-16 verão, internamentos ≥ 65 verão, internamentos mulheres verão, internamentos mulheres verão 0-16, não são satisfatoriamente explicadas por nenhuma variável independente. No geral, as variáveis ligadas ao período do verão têm piores comportamentos que as restantes, expressando assim que os internamentos por doenças respiratórias durante o verão não são significantes, nem são explicados por variáveis ambientais. A única exceção são os internamentos de homens no verão, que porventura a variável que mais explica é a concentração média diária de PM10.

Quadro 26: Regressões lineares múltiplas entre os internamentos no Alentejo central (2005-2015), determinantes ambientais e variáveis de presença/ausência de poeiras. Fonte dos dados: ACSAC. Elaboração própria.

Variável resposta	Variáveis independentes selecionadas na regressão linear	R	R2	R2aj
Internamentos ≥65 inverno	T. máxima, PM2.5 médio diário, APA	0,37	0,14	0,12
Internamentos inverno	T. média, PM2.5 médio diário, PM10 médio diário	0,36	0,13	0,12
Internamentos total	T. média, PM10 médio diário, V. Vento	0,35	0,12	0,12
Internamentos 0-16	T. mínima, PM10 médio diário, T. média	0,30	0,09	0,09
Internamentos mulheres inverno	T. máxima, PM2.5 médio diário, PM10 médio diário	0,30	0,09	0,08
Internamentos mulheres inverno ≥65	T. média, PM2.5 médio diário	0,29	0,08	0,07
Internamentos homens	T. média, PM10 médio diário, V. Vento	0,28	0,08	0,08
Internamentos mulheres	T. mínima, APA	0,26	0,07	0,07
Internamentos homens inverno ≥65	APA, PM2.5 médio diário	0,26	0,07	0,06
internamentos homens verão	PM10 médio diário, Sem episódios	0,24	0,06	0,05
Internamentos homens inverno 0-16	T. mínima, HR	0,23	0,05	0,04
Internamentos ≥65	T. mínima, APA	0,23	0,05	0,05
Internamentos mulheres 0-16	T. mínima, PM10 máximo diário	0,22	0,05	0,04
Internamentos homens 0-16	T. média, PM10 médio diário	0,21	0,05	0,04
Internamentos homens ≥65	T. mínima, PM10 médio diário	0,19	0,04	0,04
Internamentos homens inverno	T. média	0,19	0,04	0,03
Internamentos verão	PM10 médio diário, Sem episódios	0,18	0,03	0,03
Internamentos mulheres ≥65	T. mínima	0,16	0,03	0,02
Internamentos mulheres inverno 0-16	PM10 máximo diário	0,15	0,02	0,02
Internamentos 0-16 inverno	HR	0,14	0,02	0,01
Internamentos homens verão ≥65	PM10 médio diário	0,14	0,02	0,02
Internamentos homens verão 0-16	V. Vento	0,14	0,02	0,02
Internamentos mulheres verão ≥65	Validação	0,12	0,01	0,01
Internamentos 0-16 verão	Sem relação	Sem relação	Sem relação	Sem relação
Internamentos ≥65 verão	Sem relação	Sem relação	Sem relação	Sem relação
Internamentos mulheres verão	Sem relação	Sem relação	Sem relação	Sem relação
Internamentos mulheres verão 0-16	Sem relação	Sem relação	Sem relação	Sem relação

4.5. Associação estatística de episódios de intrusão de poeiras no Alentejo Central com internamentos e mortalidade, no período entre 2005 e 2015

4.5.1. Modelação do impacto das poeiras e outras condições ambientais nos internamentos: GAM & DLNM

A produção de um modelo DLNM, pressupôs duas fases, como foi referido anteriormente. A primeira, com a análise de sensibilidade, na qual se avaliou entre as variáveis independentes quais as que seriam mais significativas. Assim, foram escolhidas a “temperatura média” e a concentração média diária de PM10, por dois motivos, por apresentarem valores de GCV inferiores (quanto mais baixo o valor melhor) e por serem as variáveis menos redundantes. Isto é, estas duas variáveis escolhidas não tinham o valor de GCV mais baixo, no entanto, o seu valor é significativo e não apresentavam redundância, como se verificou entre as variáveis de PM10 e de temperatura. As PM2.5 não foram inseridas por apresentarem um GCV muito elevado por comparação com as outras variáveis. Importa ainda salientar, que para a “temperatura média” e “PM10 médio”, foram escolhidos dois dias de *lag* e quatro nós, como já foi justificado. Assim, através da **Figura 31** e do **Quadro 27**, são visíveis os valores mencionados e a representação gráfica das duas variáveis escolhidas.

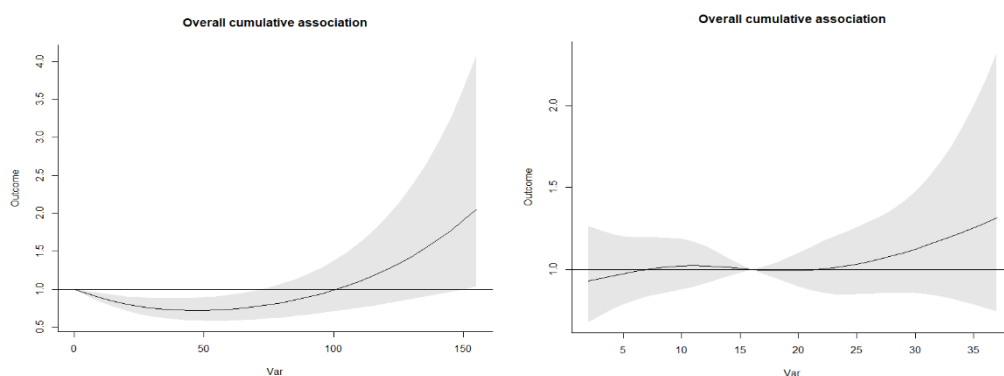


Figura 31: Curvas exposição-resposta entre o total de internamentos e a concentração média diária de PM10 (à esquerda) e temperatura média diária (à direita)¹, com um desfasamento temporal de dois dias (valor de referência para o poluente de 0 µg/m³ e para a temperatura de 16,4°C). **Nota:** O eixo do Y em ambos os gráficos refere-se ao risco relativo de internamentos e do X aos valores da variável independente, no caso da direita de concentração de PM10 e da esquerda temperatura.

1- Estes modelos foram ainda ajustados à variável *time*, APA e dias da semana.

Quadro 27: GCV, lag e número de nós das variáveis independentes utilizadas.

	PM10 médio diário	Temperatura média diária
LAG	2	2
NÓS	4	4
GCV	1,5286	1,4537

Desta forma, percebe-se quanto ao gráfico da esquerda que há um aparente efeito protetor entre os $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor de referência) e $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, querendo isto dizer que não há risco relativo de haver internamentos até aos $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que não quer dizer que não seja fator de problemas de saúde. No entanto, este aparente efeito protetor poderá ser justificado pelo valor de referência atribuído, uma vez que há muito poucos dias com valor de concentração média diária de PM10 de 0, porém o mesmo foi adotado, uma vez que seria o valor ideal. O valor de GCV foi de 1,5286. Para o GCV não há valores de referência, ou seja, não há uma gama de valores ideais, sendo que, quanto mais baixo melhor. Há a possibilidade de se obter um valor mais baixo conjugando diferentes lag e nós, embora depois em termos gráficos, a modelação resultante seria muito difícil de interpretar e diferente do expectável.

Por sua vez, a temperatura demonstra um efeito protetor até pouco depois dos 5°C , sendo que depois desse valor até perto dos 15°C , há um efeito que demonstra algum risco relativo, embora por volta dos 16°C a curva volta a baixar (devido ao valor de referência), e depois volta novamente a subir sobretudo a partir dos 25°C , onde se percebe que o risco relativo de internamento começa a aumentar. O valor de GCV foi de 1,4537, mais baixo que o dos PM10.

Em seguida, para a segunda e última fase, foram adicionadas mais três variáveis, a do tempo, com a contagem de todos os dias dos onze anos de estudo de 1 a 4017 e dos dias da semana - de segunda-feira a domingo e ainda de ausência/presença de poeiras, tendo sido o inventário da APA que proporcionou o melhor resultado em termos de significância estatística. Assim, na variável “tempo” foram ainda introduzidos dois nós, por apresentarem um comportamento mais regular no gráfico, em que os intervalos de confiança das linhas apresentam melhor resultado (**Figura 32**).

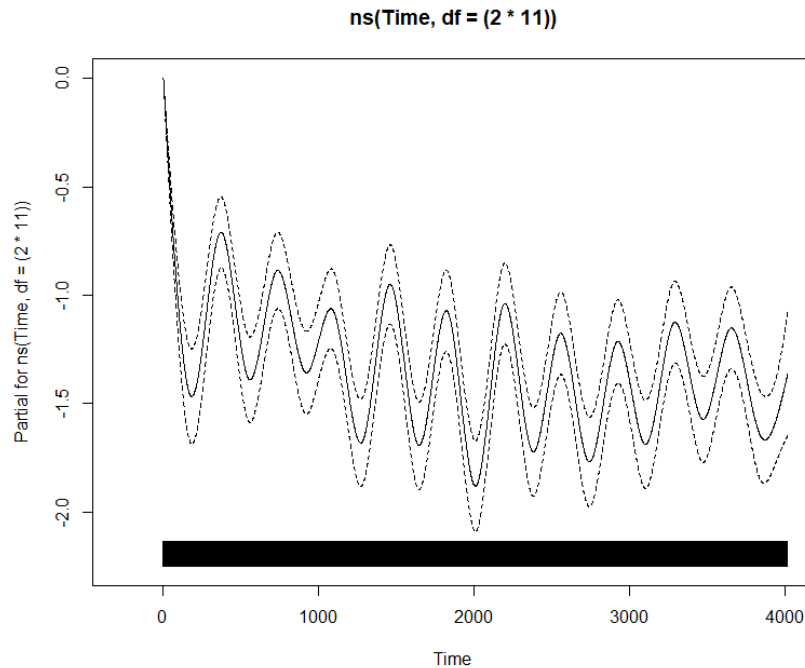


Figura 32: Variável tempo, com dois graus de liberdade (2) para os onze anos de estudo (11).

Após a introdução destas variáveis, descritas na sintaxe final, como descrito no **Subcapítulo 3.3.2**, foram realizados testes com a variáveis do inventário da APA e dos dias de validação, sendo que, o resultado com melhor significância foi com a variável do inventário da APA (0,00609). Os dias de validação obtiveram um resultado de 0,669. Isto poderá dever-se ao facto do número de dias que compõe os dias de validação ser muito menor, face ao inventário APA. Como foi referido, após a obtenção deste valor obteve-se o valor exponencial, estando representado na **Figura 33**. O valor obtido é de 1,12. Isto significa que o Risco Relativo de internamentos urgentes por doenças respiratórias é 1,12 vezes (ou 12%) mais elevado em dias com poeiras (APA) após ajustamento para a temperatura média diária, PM10 médio diário, tempo e dia da semana, ou seja, assumindo que não há alteração do comportamento das variáveis inseridas. A variável da validação não demonstra ainda significância estatística, uma vez que os intervalos de confiança estão sobre a linha do valor 1.

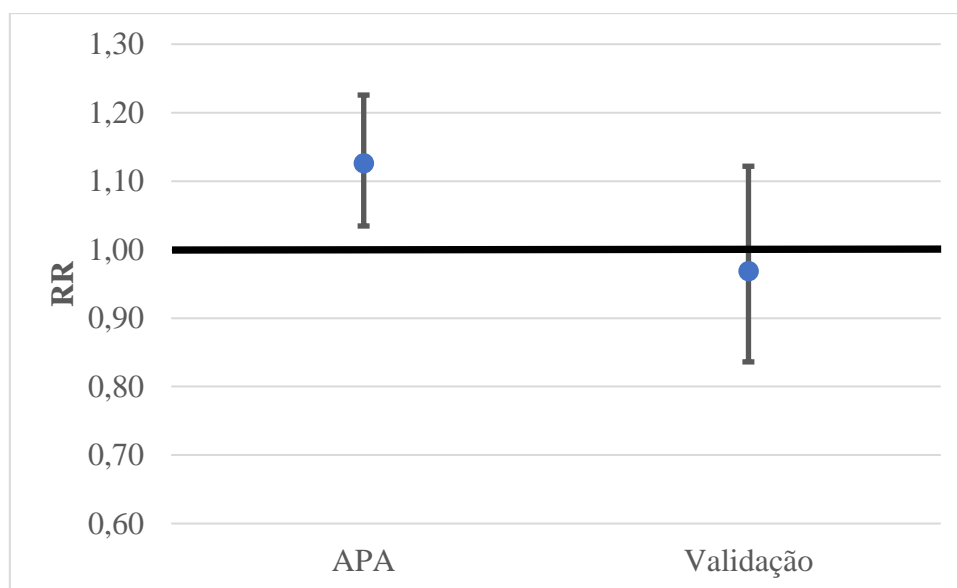


Figura 33: Boxplot dos resultados de risco relativo para as variáveis do inventário APA e dos dias de validação, com intervalos de confiança.

4.5.2. Análise do impacto das intrusões de poeira na mortalidade

A análise do impacto das intrusões de poeiras no comportamento e variação da mortalidade, pelas razões já explicadas no **Subcapítulo 3.3.3**, reveste-se de um caráter introdutório, preliminar.

Atentando ao **Quadro 28**, a mortalidade no Alentejo Central, entre os anos de 2014 e 2015, não sofreu uma grande variação, sendo que em 2015 a média total foi maior uma décima. O valor médio de óbitos durante dias sem episódios de intrusão de poeiras, em 2014, também foi inferior a 2015 por duas décimas, embora, esse valor seja igual em 2014 e muito próximo em 2015, à média total.

Durante os dias com episódios em 2014 há mais 1,8 óbitos em média que em 2015, sendo que, no primeiro ano, este valor chega a ser maior que a média total e que a média dos dias sem episódios, embora, apenas por uma décima. Tal já não acontece em 2015, onde o valor é bastante inferior.

Relativamente aos 7 dias posteriores ao efeito da intrusão de poeiras, o valor médio é maior em 2014, sendo que, para ambos os anos os valores são superiores aos dos dias dos episódios, e no caso de 2014 é ainda superior em cinco décimas à média total e à média dos dias sem episódios.

No que toca aos desvio-padrão, os valores de 2014 são menos desfasados em relação à média comparando com 2015, embora, para ambos os casos os dias com episódios apresentem também uma menor disparidade. A moda demonstra que o número de óbitos mais comum por dia é de 6, ou seja, um valor próximo ou igual às médias, à exceção dos dias com episódios onde este é inferior em 2014 e 2015.

Quanto aos valores máximos, durante os dois anos são maiores no total de dias e nos dias sem episódios, descendo depois nos dias com episódios, e voltam a subir após os dias de intrusão de poeiras. De referir, que o máximo diário em 2015 é maior que em 2014. Já com o mínimo diário a relação é inversa, durante os dois anos de estudo houve dias em que não se registaram óbitos, nomeadamente, no total dos dias e nos dias sem poeiras. Por sua vez, nos dias de partículas e nos dias seguintes aos mesmos, já se verificaram óbitos. Os valores mínimos são mais elevados em 2014.

O número de dias acima da média, é mais elevado em 2014 do que em 2015. Isto explica-se pelo facto de que o valor da média é inferior em 2014, mesmo que por uma décima. Desta forma, em 2014, contabilizam-se todos os dias com 6 mortes (valor superior a 5,9 que é o valor da média) e em 2015 não, começando a contabilizar a partir dos 6,1. No entanto, salienta-se que os dias com episódios têm menos dias acima da média, em ambos os anos, apesar de também terem menos dias.

Posteriormente, construiu-se ainda uma outra análise com a mortalidade, em que se pretende verificar a variação da mortalidade para os sete dias antes, durante os episódios e nos sete dias posteriores, para cada evento dos dias de validação registados em 2014 e 2015. Acrescendo a esta análise introduziu-se a variação dos PM10 e PM2.5 para o mesmo período.

Quadro 28: Resumo estatístico da mortalidade no Alentejo Central, entre 2014 e 2015.
Fonte: SICO-eVM

2014	Total	Sem episódios	Com episódios	7 dias seguintes aos episódios
Média	5,9	5,9	6,0	6,4
Desvio-padrão	2,5	2,5	1,7	2,4
Moda	6	6	4	6
Máximo diário	14	14	9	12
Mínimo diário	0	0	4	2
Nº de dias acima da média	204	200	4	21
Total de dias	365	357	8	42
2015	Total	Sem episódios	Com episódios	7 dias seguintes aos episódios
Média	6	6,1	4,2	5,7
Desvio-padrão	2,9	2,9	1,9	2,7
Moda	6	6	3	6
Máximo diário	17	17	9	14
Mínimo diário	0	0	2	1
Nº de dias acima da média	142	141	1	21
Total de dias	365	350	15	70

Assim, atentando à **Figura 34** consegue-se observar que durante o fenómeno (a amarelo, intrusão ocorrida em março de 2014) há um pico na concentração de PM10, seguido de outro no dia 13, porém, não passam o valor limite legal. No entanto, os valores de mortalidade nos quatro dias seguintes ao episódio não registam uma grande variação, comparando com os dias anteriores ao evento, mas no quinto e no sexto dia, sobretudo depois de mais uma exposição às partículas (2º pico nas concentrações PM10) a mortalidade sobe ligeiramente nos dias 14 e 15 (pico da mortalidade). Quanto ao PM2.5 tem um pico no dia anterior, embora também abaixo do limite legal.

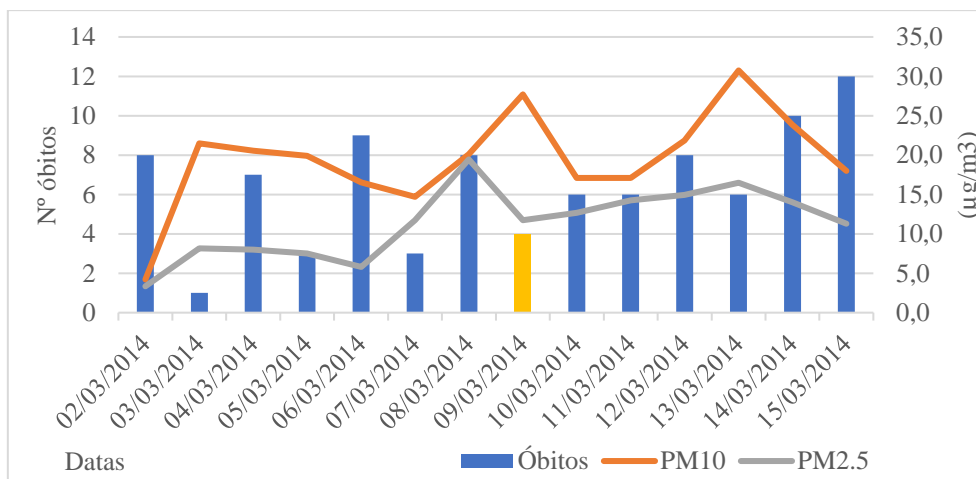


Figura 34: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 9 de março de 2014, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

Quanto à **Figura 35**, a mesma relação entre a ocorrência de um evento (abril de 2014) e um aumento de PM10 já não se verifica, sendo que os valores chegam mesmo a baixar durante o mesmo período. Apesar disso, após o evento a mortalidade aumenta ligeiramente no dia seguinte, coincidindo com um dos picos de PM10. O PM2.5 registra um aumento nos dois dias seguintes ao evento, para próximo dos valores limites legais.

Para maio de 2014, **Figura 36**, verifica-se que durante o episódio, acontece tal como na **Figura 34**, ou seja, há um pico de PM10 que chega a passar os 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). No terceiro e quarto dia após o episódio a mortalidade aumenta ligeiramente (pico da mortalidade), sendo que volta a baixar no quinto dia para valores pré-episódio.

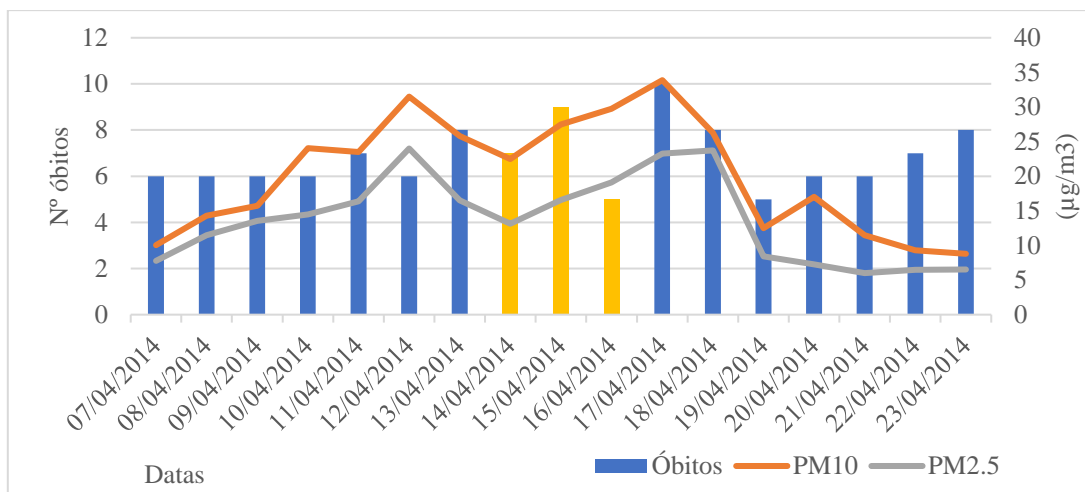


Figura 35: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 14 a 16 de abril de 2014, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

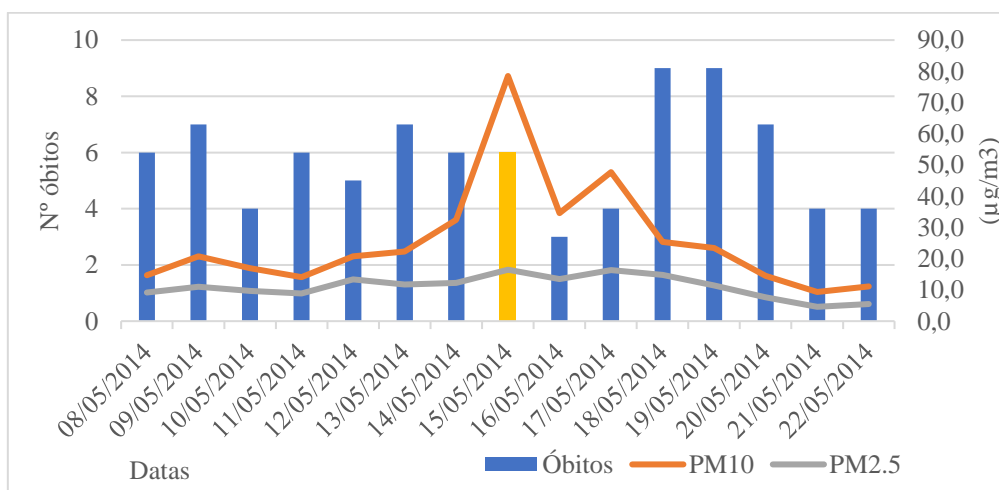


Figura 36: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 15 de maio de 2014, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

De seguida (**Figura 37**), percebe-se que durante o episódio (junho de 2014) o valor de mortalidade é baixo, mas o valor de PM10 aumenta significativamente, apesar de não chegar a um valor muito elevado. Apesar disso, verificam-se dois picos de PM10 fora do episódio, em que a mortalidade nos dois a três dias seguintes aumenta ligeiramente, sendo que, há 3 dias com os valores mais elevados. Durante o segundo pico de PM10 verifica-se também um grande crescimento dos valores de PM2.5, chegando mesmo a passar os 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), podendo contribuir para o aumento da mortalidade.

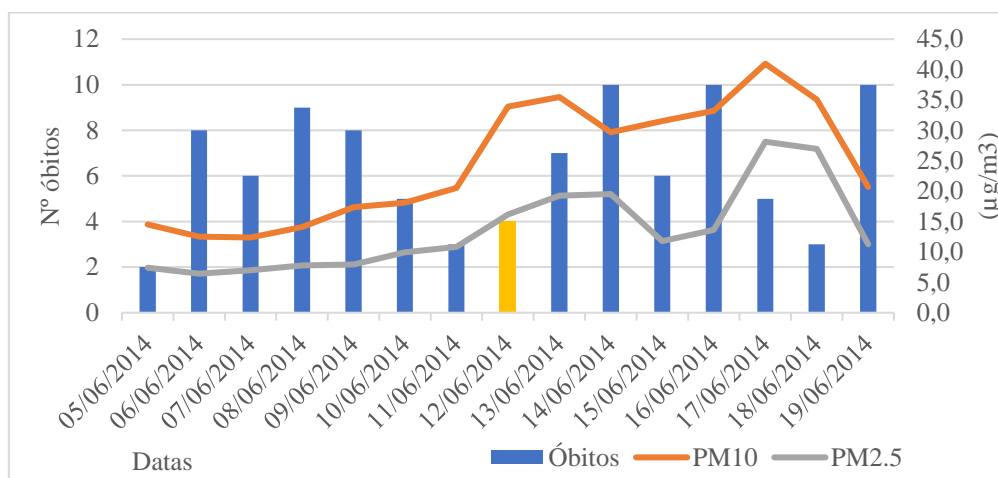


Figura 37: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 12 de junho de 2014, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

Durante o quarto episódio (setembro de 2014; **Figura 38**), não se verifica um pico de PM10 durante o dia do episódio, ao contrário do que vem acontecendo, sendo que, mesmo o valor de mortalidade está dentro dos valores dos dias anteriores. Apesar de ainda se verificar um pico de PM10 dias após o valor não chega a ser muito elevado, e a mortalidade não tem nenhum aumento para valores que se destaquem em relação aos outros dias.

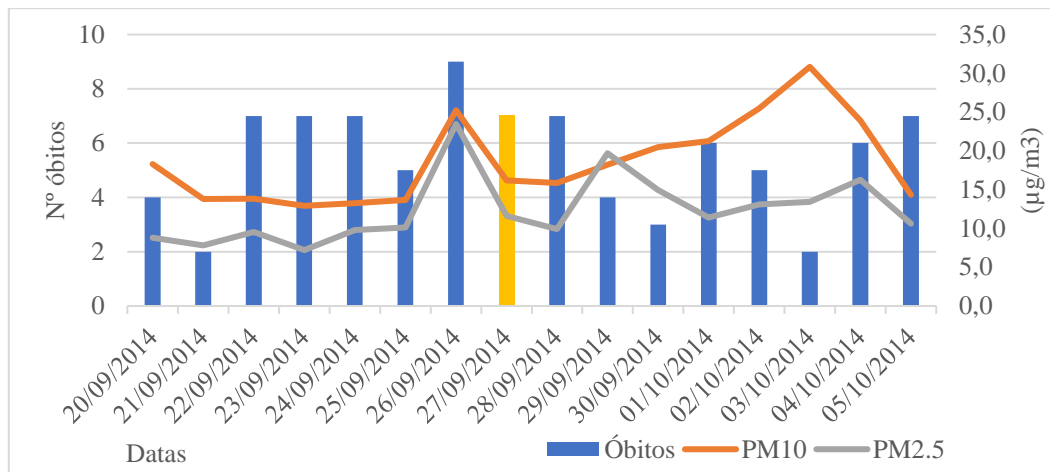


Figura 38: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 27 de setembro de 2014, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

Para o último episódio de intrusão de poeiras em 2014 (**Figura 39**), verifica-se que o valor de mortalidade é dos mais baixos, embora durante esse dia, no dia anterior e posterior os valores de PM10 registem entre os 40 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir do quinto dia após o episódio a mortalidade aumenta bastante em relação aos outros dias e mantém-se elevada durante os dois dias seguintes.

Para o primeiro fenómeno ocorrido em 2015 (fevereiro; **Figura 40**), observa-se que os valores de mortalidade não variam muito, sendo que, há dois picos, um antes do episódio, e outro, dois dias depois, que coincide com um pico de PM10 no dia anterior, embora a concentração das partículas não seja muito elevada.

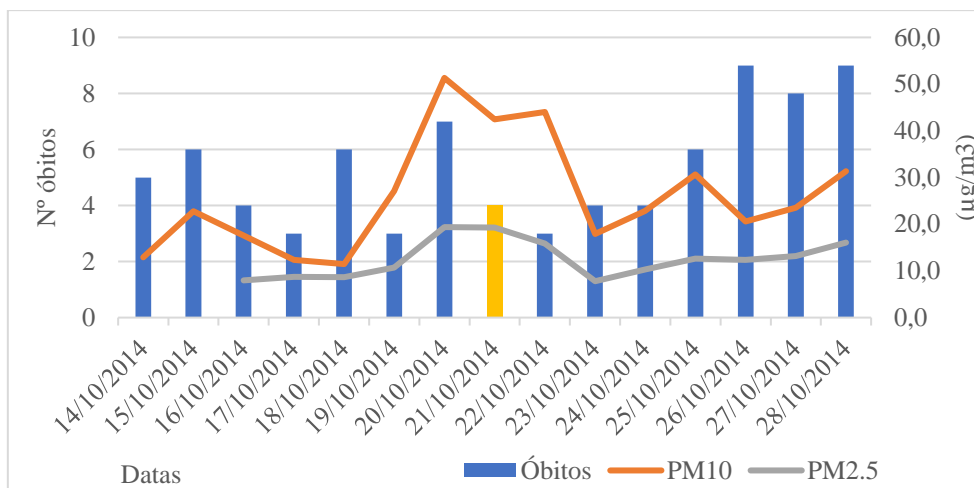


Figura 39: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 21 de outubro de 2014, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

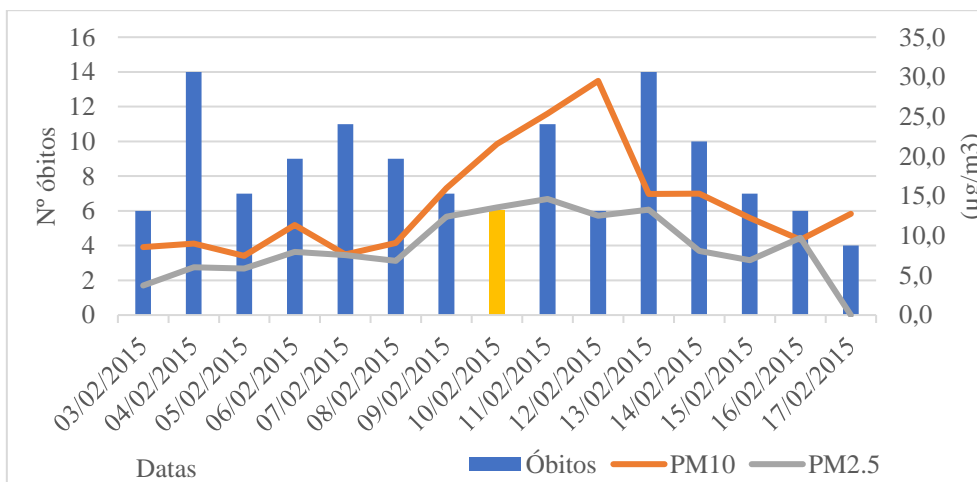


Figura 40: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 10 de fevereiro de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

Neste episódio de março (**Figura 41**), verifica-se que no dia do episódio, a mortalidade tem dos valores mais baixos, comparativamente aos outros dias. A concentração de

partículas para ambos os poluentes é muito baixa. No dia 13 (7 dias antes) houve uma grande concentração de partículas, bem acima do valor limite legal.

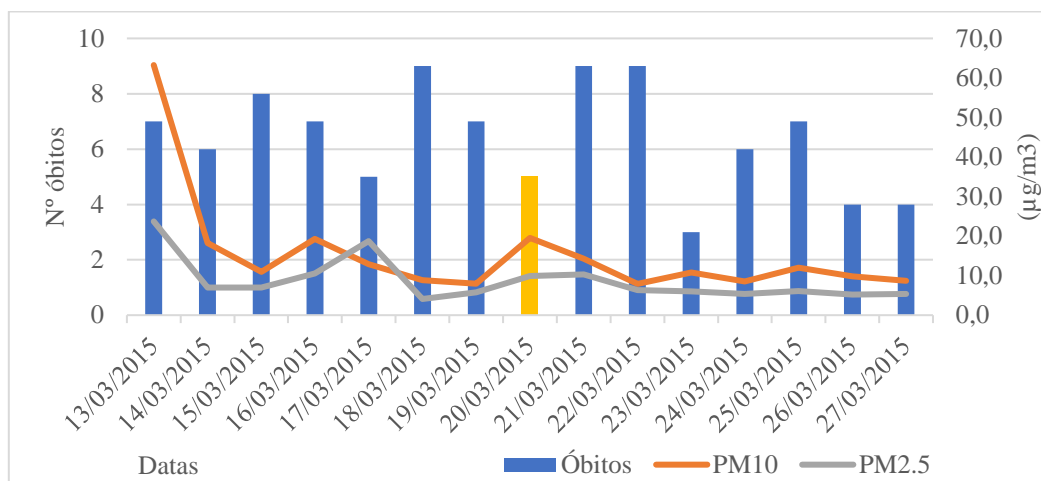


Figura 41: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 20 de março de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

De acordo com as **Figuras 42** (intrusão de abril de 2015) e **43** (evento de maio de 2015), verifica-se, novamente, um grande aumento na concentração de PM10 e um aumento mais ligeiro dos PM2.5 nos dias de episódios de poeiras. No episódio da **Figura 42**, os valores de PM10 chegam ao limite legal. Os valores da mortalidade, no entanto, são mais baixos durante os episódios que nos restantes dias, embora nos dias seguintes aumente, tal como se verifica na **Figura 43**, em que no dia seguinte à exposição às partículas houve mais óbitos que nos restantes dias.

Em junho de 2015 (**Figura 44**), verifica-se outra vez que durante os dias dos fenómenos a concentração de partículas atingia valores acima dos restantes dias, sendo que, no dia 7 chegou a passar o valor limite legal. Nos episódios de 7 a 8 e depois no dia 10, os valores de mortalidade estão em conformidade com os restantes dias, sendo que, no dia após o último episódio (passado 4 dias desde a primeira exposição a poeiras saarianas) o número de óbitos aumento significativamente. No episódio de dia 21 a concentração de poluentes não foi muito forte e os valores de mortalidade foram relativamente baixos.

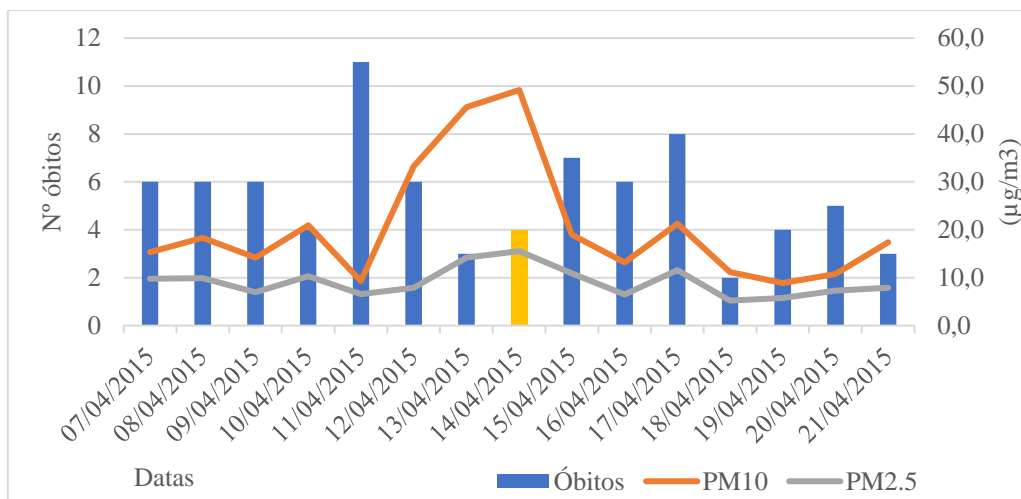


Figura 42: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 14 de abril de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

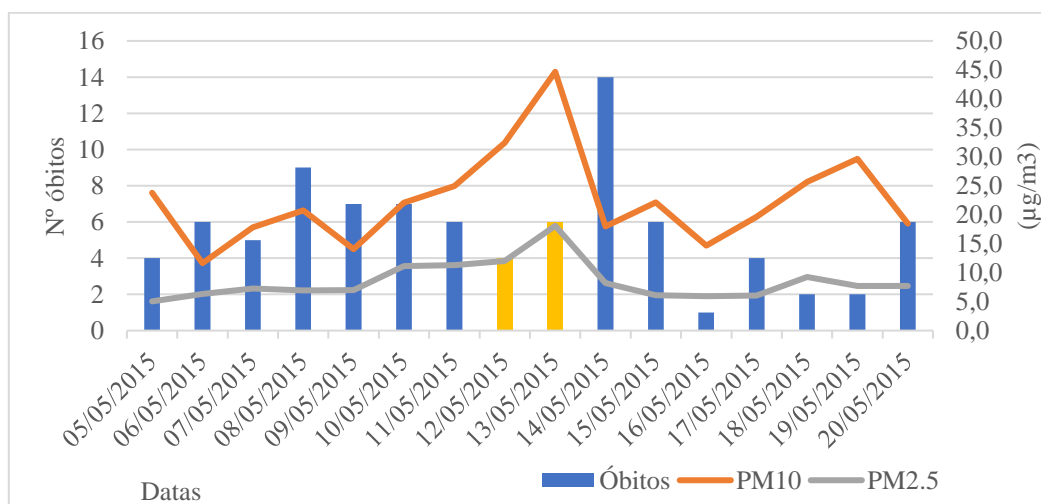


Figura 43: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 12 a 13 de maio de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

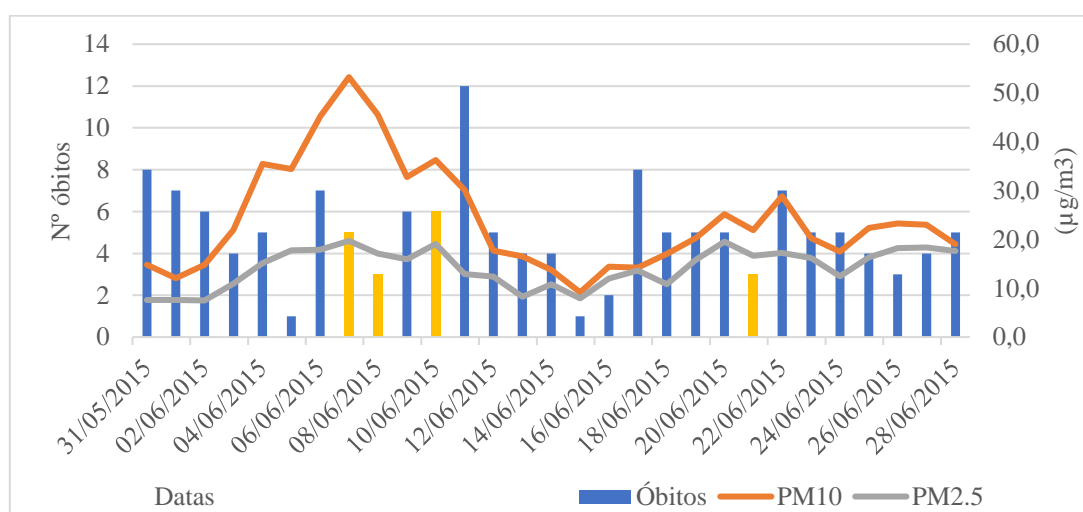


Figura 44: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 7 a 8, 10 e 21 de junho de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

No episódio de julho e nos dois eventos de agosto de 2015, **Figura 45, 46 e 47**, observa-se a mesma situação de eventos anteriores, em que em dias com poeiras os valores de PM10 e PM2.5 estão mais elevados, embora, com maior destaque para os PM10. Os valores de mortalidade são inferiores em comparação aos outros dias. Nos dias ilustrados por estas figuras, apesar de os valores de PM10 e PM2.5 ficarem em torno do valor limite legal ou até o ultrapassarem, não se verifica, como noutras situações, um aumento dos óbitos nos dias seguintes para valores acima do normal.

No último episódio de 2015 analisado (outubro de 2015; **Figura 48**), verificou-se, tal como anteriormente, que durante o dia de intrusão dos poluentes a concentração das partículas aumenta consideravelmente, sendo que, os valores atingem o valor limite legal. Quanto aos óbitos após a exposição aos PM10 e PM2.5, não demonstram grandes variações, quer antes, quer posteriormente ao episódio.

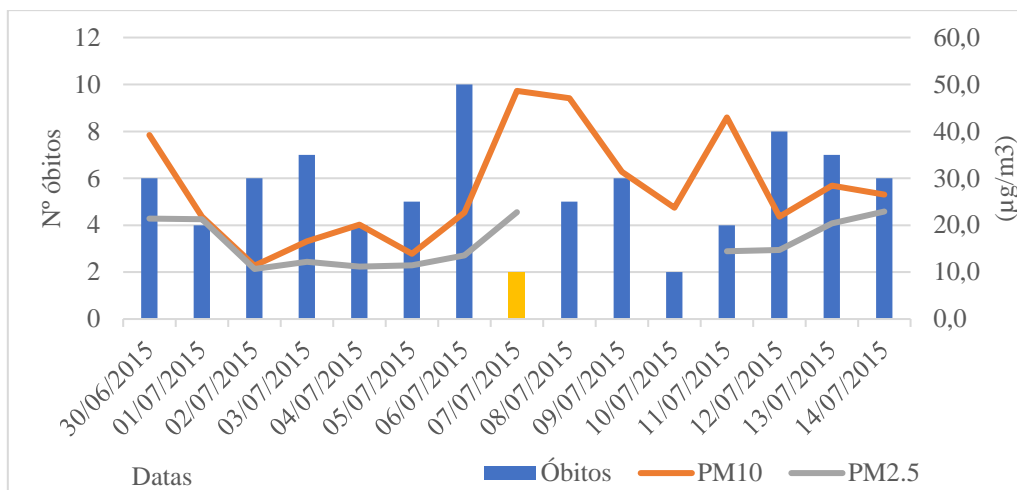


Figura 45: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o episódio de intrusão de poeiras de 7 de julho de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

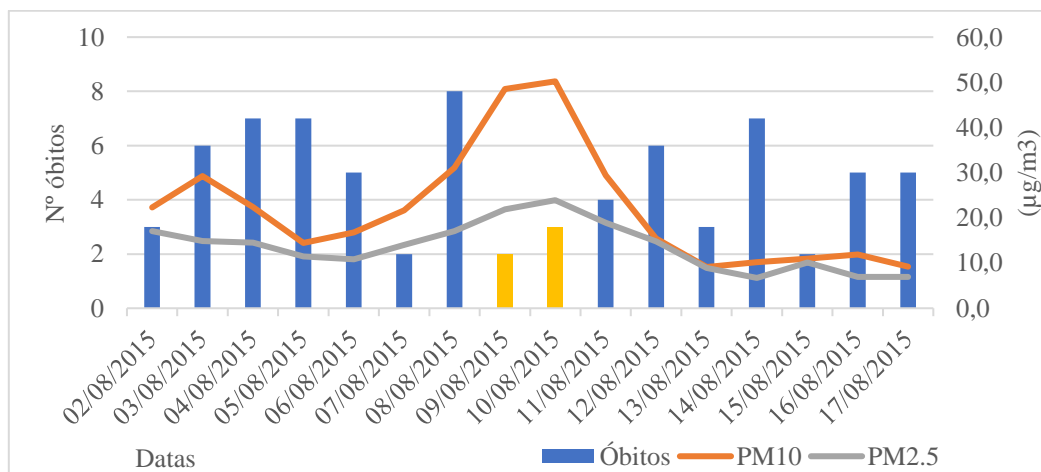


Figura 46: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 9 a 10 de agosto de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

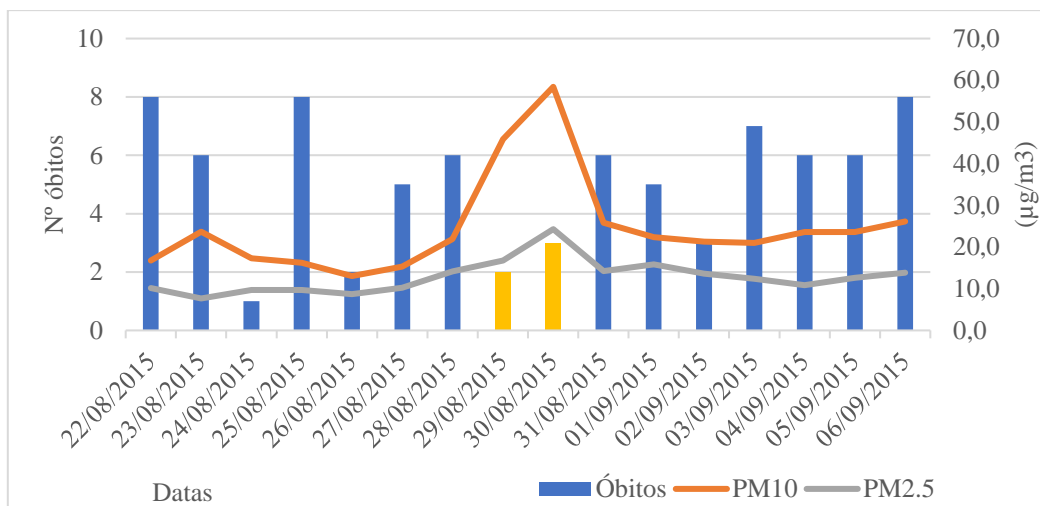


Figura 47: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 29 a 30 de agosto de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

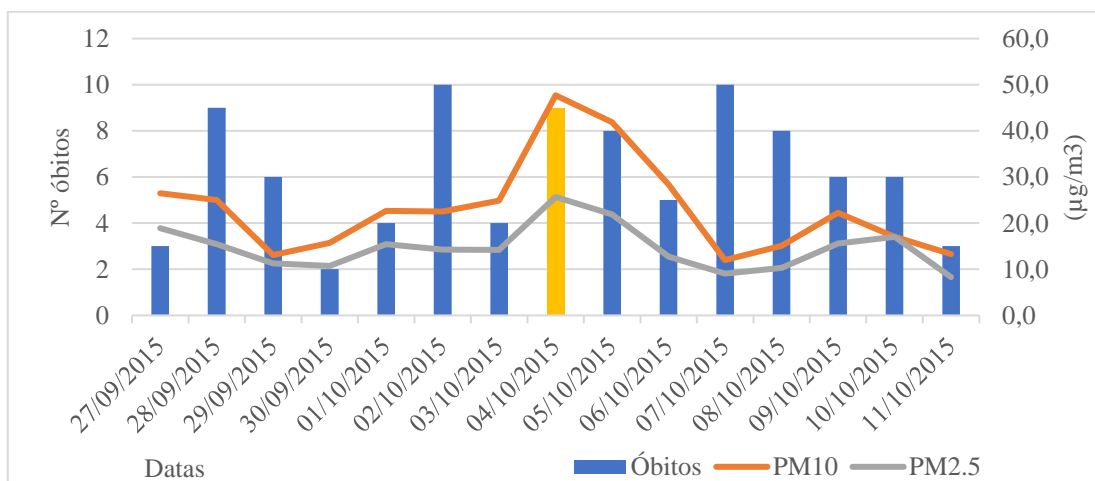


Figura 48: Variação da mortalidade e concentração de partículas PM10 e PM2.5, para os sete dias antes, durante e sete dias após o evento de intrusão de poeiras de 29 a 30 de agosto de 2015, identificado nos dias de validação.

Fonte: QualAr (concentração de partículas) e SICO-eVM (mortalidade).

5. Discussão dos resultados

Estudos realizados em vários países e cidades da bacia do Mediterrâneo, por autores como Middleton *et al.* (2008), Pérez *et al.* (2008), Jiménez *et al.* (2010), Mallone *et al.* (2011), Samoli *et al.* (2011), Tobías *et al.* (2011), Sajani *et al.* (2011), Díaz *et al.* (2012), Pérez *et al.* (2012), Alessandrini *et al.* (2013) e Neophytou *et al.* (2013), entre outros, demonstram que existe relação entre a ocorrência de intrusão de partículas saarianas com internamentos e mortalidade por causas cardíacas, respiratórias e até mesmo cerebrovasculares, particularmente na faixa etária mais envelhecida. No Alentejo Central, para o período de 2005 a 2015, verificou-se quanto aos internamentos urgentes por patologias respiratórias, que também existe relação com este fenómeno natural. Desta forma, através dos modelos GAM e DLNM verificou-se que, após ajustamento com a “temperatura média” e “PM10 médio diário”, os dias com intrusão de poeiras, identificados pelo inventário APA (maior significância que a variável da validação), apresentam um Risco Relativo de 1,12 vezes (ou 12%) mais internamentos urgentes, do que nos restantes dias (ou seja, o Risco de Relativo de hospitalização é 12% mais elevado nos dias com poeiras).

Por sua vez, a relação entre a mortalidade no Alentejo Central e a ocorrência destes episódios, não foi identificada, não pela sua inexistência, mas porque não foi possível a confirmação inequívoca, devido à escassez de dados de mortalidade (apenas dois anos de dados) e à sua falta de desagregação às causas, não sendo, por isso comparável com os resultados demonstrados na literatura. Em todo o caso, verifica-se em algumas situações, que nos dias posteriores a alguns episódios a mortalidade aumenta em comparação aos restantes dias, o que pode indicar uma relação. Verificou-se ainda que, em 2014, quando houve intrusão de poeiras, ocorreram +1,8 óbitos que em 2015, embora, apenas fosse mais elevado uma décima que o valor médio do total de óbitos e que nos dias sem episódios de 2014. Em 2014, já não verifica o mesmo cenário. Assim, percebe-se que a análise à mortalidade não pode ser comparável com os modelos desenvolvidos pelos vários autores, mencionados anteriormente, apesar de poder haver indicação de que há a possibilidade de haver relação.

A relação estatística, que os modelos DLNM e GAM apresentam entre a ocorrência dos episódios de poeiras saarianas e os internamentos hospitalares urgentes, demonstra que, como foi referido anteriormente, há uma relação significativa, em que se percebe que quando há intrusão de poeiras no Alentejo Central há o risco relativo de ocorrer 12% de

internamentos a mais do que quando não há intrusão. Além disso, através do resumo estatístico, percebe-se que geralmente no hospital de Évora se verifica um internamento urgente devido a patologias respiratórias por dia em 30,5% dos dias, dos onze anos de estudo. Em 17,2% dos dias do mesmo período verificam-se dois internamentos por dia, enquanto que, em 13,1% dos dias verificam-se cinco ou mais internamentos por dia, indo até onze. Por outro lado, constatou-se também que os homens registam mais internamentos (57,7%) que as mulheres (42,3%), e ainda que a faixa etária dos idosos é a mais vulnerável, como esperado, com 67% dos registos de internamentos, tal como mencionou Griffin & Kellogg (2004), Jiménez *et al.* (2010), Samoli *et al.* (2011a) e Sajani *et al.* (2011). Relativamente às doenças, os internamentos urgentes mais comuns estão associados a pneumonia (76%) e as doenças obstrutivas pulmonares (10,5%). O impacto das intrusões de poeiras no aumento da incidência destas doenças já havia sido apontado por Goudie (2014) e UNEP *et al.* (2016) no caso da pneumonia, e por Brunekreef & Holgate (2002), Chien *et al.* (2014), Goudie & Middleton (2006) e Middleton (2017) no caso das doenças obstrutivas pulmonares. Por sua vez, as doenças menos comuns que causam internamentos urgentes são a rinite <0,1%, pneumoconiose (0,1%) e infeções na parte superior do sistema respiratório (0,2%). A influência dos eventos de poeiras na rinite foi identificada por Goudie (2014) e UNEP *et al.* (2016) e nas infeções do sistema respiratório por Goudie (2014) e UNEP *et al.* (2016).

Outras análises estatísticas, como as correlações de Pearson e Spearman e a regressão linear múltipla proporcionaram ainda mais informações. Quanto às correlações estas demonstram no geral, que os internamentos têm relações estatisticamente significativas, principalmente, com as variáveis da temperatura, PM10 e humidade, mas também com as variáveis de presença de poeiras e alguns dias da semana. Quanto à regressão linear, as variáveis dependentes que maior explicação obtiveram a partir das variáveis independentes foram os internamentos de idosos no inverno (14%), internamentos no inverno (13%), internamentos no geral (12%), internamentos de homens (8%), internamentos de mulheres (7%), internamentos de crianças/jovens (9%) e internamentos idosos (5%). Devem salientar-se os resultados dos internamentos relacionados com a faixa etária mais idosa, demonstrando, que são a população mais vulnerável, como mencionam Jiménez *et al.* (2010), Samoli *et al.* (2011a) e Sajani *et al.* (2011), mas também os internamentos durante o inverno, quando as patologias respiratórias mais se

fazem sentir. Este cenário agrava-se quando se observam as duas variáveis juntas, isto é, considerando os internamentos de idosos no inverno.

Desta forma, as determinantes ambientais mais explicativas são as temperaturas (a melhor é a temperatura média) e a concentração de partículas (nomeadamente, os PM10), como se observou para as correlações e regressão. Assim, percebe-se que, parte da explicação dos internamentos por doenças respiratórias no Alentejo Central é condicionada pelas determinantes ambientais, nomeadamente, as temperaturas e concentração de partículas. Outro aspeto importante a mencionar relativamente aos internamentos é que durante o verão e o inverno, quando há intrusão de poeiras são registados mais internamentos em comparação aos dias sem intrusão de poeiras. No entanto, grande parte da explicação dos internamentos, poderá não estar aqui retratada, uma vez que poderá dever-se também aos comportamentos quotidianos de cada pessoa, ao seu estilo de vida e a outras componentes ambientais como a temperatura. Este resultado é assim passível de modificações consoante o tipo de dados introduzidos, podendo a intrusão de poeiras ser considerado como um fator agravante.

Durante o inverno, de acordo com os dados analisados, verificam-se mais internamentos (37,1 %) em comparação às outras estações, embora, a emissão e intrusão de poeiras para a atmosfera seja menor (Cachorro *et al.*, 2006; Querol *et al.*, 2010; Pey *et al.*, 2013). A emissão de poeiras durante o inverno, está associada a tempestades muito vincadas com presença de cumulonimbus e movimentos verticais na atmosfera (Goudie & Middleton, 2006). Posteriormente, o seu transporte para o Alentejo Central é depois marcado por dois cenários sinóticos (que se verificam também na primavera, verão e outono), uma baixa pressão e uma alta pressão (ocorreram em 20 e 30% dos dias de validação), ambas identificadas na literatura e nos resultados do presente estudo. Desta forma, de acordo com Escudero *et al.* (2005), a depressão localiza-se sobre o oceano Atlântico entre o sudoeste de Portugal e Marrocos, sendo que a circulação faz-se sentir entre os 850 e 700 hPa (Knippertz & Todd, 2012; Salvador *et al.*, 2014). Nesta situação as poeiras chegam à Península Ibérica a partir de este, ou seja, pelo Mediterrâneo (Rodríguez *et al.*, 2001; Knippertz & Todd, 2012). Os resultados obtidos para esta situação sinótica, que é das mais frequentes, revelaram que esta depressão se localiza de facto no noroeste do Norte de África, na generalidade das situações, ou sobre o oceano Atlântico perto da costa noroeste de Marrocos, mas também sobre o território terrestre deste país. As poeiras circulam às altitudes dos 750, 1500 e 2500 metros, chegando à área de estudo através do

Mediterrâneo, atravessando Espanha antes de chegar a Portugal continental, confirmando assim a literatura. Este sistema de circulação beneficia ainda de uma alta pressão no Mediterrâneo, a cerca de 850 hPa (Rodríguez *et al.*, 2001; Salvador *et al.*, 2014), que de acordo com os resultados obtidos, ocorre mais vezes durante a primavera. As poeiras provêm de acordo com Escudero *et al.* (2005) de Marrocos, Mali e Mauritânia, sendo que, os resultados demonstram que além destes países as poeiras vêm ainda da Argélia, Sáara Ocidental, Líbia e Tunísia. Esta situação sinótica verifica-se, geralmente, entre novembro e abril (Knippertz & Todd, 2012). Relativamente à concentração de partículas nesta situação sinótica, apenas o PM10 médio máximo diário ficou no limite do permitido.

Por sua vez, no caso da situação anticiclónica identificada, e também de acordo com Escudero *et al.* (2005) e Rodríguez *et al.* (2001) o centro de alta pressão localiza-se sobre o Norte de África, sendo que, segundo o ultimo autor pode também se situar a oeste do Mediterrâneo, no sul da Península Ibérica ou ainda, de acordo com Alonso-Pérez *et al.* (2011) sobre a costa atlântica do Norte de África. Este sistema situa-se a baixas altitudes, possibilitando que, as poeiras sejam facilmente identificadas entre a superfície e os 850 hPa (Escudero *et al.*, 2005). Segundo os resultados alcançados na presente investigação, esta situação sinótica foi também identificada com uma das principais durante a estação de inverno. A localização do núcleo é sobre o norte do Norte de África, entre Marrocos e a Argélia, podendo em certas ocasiões chegar à Líbia, confirmando assim o já descrito na literatura. O transporte das partículas faz-se através do Atlântico, chegando à Península Ibérica por oeste, com as plumas de poeira a descrever uma forma de arco mencionada por Querol *et al.*, (2010). Os resultados também corroboram esta informação. Os resultados demonstraram ainda que, as poeiras são geralmente transportadas entre os 750 e 1500 metros de altitude, uma vez mais como a bibliografia refere. De acordo com a literatura, nesta situação as partículas são provenientes essencialmente do Sahel, mas também no Sáara Ocidental, Mauritânia e oeste da Argélia (Querol *et al.*, 2010). No entanto, os dados demonstraram que as partículas são predominantemente provenientes de Marrocos e da Argélia, mas também em menor quantidade do Sáara Ocidental, Mauritânia e Mali. É ainda de salientar que, a literatura refere que os episódios decorrentes desta situação sinótica têm impactos significativos na qualidade do ar e ocorrem, sobretudo, entre janeiro e março (Escudero *et al.*, 2005; Querol *et al.*, 2010). De acordo com os resultados, de facto, verificou-se que nos dias em que esta alta pressão se fez sentir o valor médio diário de PM10, passou o valor limite legal ($74 \mu\text{g}/\text{m}^3$), e o valor

médio diário máximo chegou aos $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto aos PM_{2.5} o valor médio diário ficou abaixo dos $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no entanto, o valor médio diário máximo chegou aos $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Assim sendo, o inverno é uma estação com episódios pouco frequentes e menos duradores (Cachorro *et al.*, 2006; Pey *et al.*, 2013) a afetar a Península Ibérica (Querol *et al.*, 2010), e ainda, com plumas de poeira mais concentradas comparativamente às outras estações (Cachorro *et al.*, 2006; Pey *et al.*, 2013). Dentro do inverno, o período menos ativo é novembro e dezembro (Escudero *et al.*, 2005; Knippertz & Todd, 2012).

De facto, os resultados confirmam exatamente essa situação, em que o inverno é a estação onde se observam menos episódios e menos eventos, em quantidade e duração, de intrusão de poeiras no Alentejo Central, com base no inventário dos dias de validação e no inventário APA. Dentro deste período, os meses com menor atividade são: novembro, dezembro e janeiro, de acordo com a APA e o inventário de validação. Apesar disso, é nos meses de inverno que se verificam mais internamentos por doenças respiratórias, sobretudo fevereiro com 13,1%, março com 13% e janeiro com 12,3%. O presente estudo permitiu ainda confirmar que a intensidade e a dimensão das plumas no conjunto de episódios durante os meses de inverno é baixa, com plumas de poeira que, em termos de área média e máxima tomam valores mais baixos em comparação às outras estações, não havendo, porém, áreas dentro do Alentejo Central mais afetadas que outras. Apesar disso, os dados da concentração de partículas PM₁₀ indicam que, durante o inverno em 45% dos dias com intrusão de poeiras no Alentejo Central (percentagem mais elevada das quatro estações, para os dias de validação), o valor médio diário excedeu o valor limite legal. Isto pode ser explicado por existir uma maior concentração de partículas, uma vez que como se referiu, a área ocupada pela pluma é mais restrita. Durante os meses de inverno, apenas fevereiro e março apresentam dias acima do valor limite legal. Os valores de concentração de PM_{2.5} durante o período de inverno não são muito relevantes.

Quanto aos internamentos na primavera percebe-se que é a segunda estação com mais internamentos (28,4%). Entre o fim do inverno e início da primavera, as emissões de partículas norte africanas começam a ganhar mais vigor em que as poeiras atingem a Península Ibérica com maior regularidade (Querol *et al.*, 2010), sendo mesmo, considerado por Gherboudj *et al.* (2016) como um período intenso de emissão de partículas no Norte de África, embora, o número de internamentos decresça, como se observou. As situações sinóticas mais favoráveis que permitem a intrusão destas

partículas na área de estudo são as mesmas do inverno, embora com ligeiras variações. Assim, a depressão identificada por Escudero *et al.* (2005), localizada sobre o Atlântico, entre Portugal e Marrocos, e nos resultados a noroeste de Marrocos, aconteceu em 30% dos episódios desta estação, nos dias identificados no inventário de validação. Esta situação é semelhante em quase tudo à situação do inverno. As diferenças encontradas através da análise dos dados, prendem-se essencialmente com o seu transporte. Nesta situação, as poeiras chegam à área de estudo maioritariamente pelo Mediterrâneo, embora, em muitas ocasiões também pelo Atlântico, sem a forma de arco, passando perto do estreito de Gibraltar. Tal, pode-se explicar pela presença do anticiclone sobre o Mediterrâneo mencionado anteriormente, pela literatura e confirmado pelo presente estudo. As poeiras nesta situação já não são transportadas aos 750,1500 e 2500 metros, para só serem conduzidas na maioria das vezes aos 1500 metros de altitude. A proveniência das partículas continua a mesma. Quanto à concentração de partículas, o valor médio diário dos PM10 é ligeiramente mais elevado que o valor limite legal ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$), enquanto que o PM10 médio máximo tem o triplo do permitido.

A outra situação sinótica é a alta pressão sobre o norte do Norte de África, identificada também durante o inverno. Esta situação foi identificada na literatura por Salvador *et al.* (2014) e confirmada neste estudo, verificando-se, portanto, que se trata da mesma situação da estação anterior, com um sistema de alta pressão centrado no norte do Norte de África. Assim, foi registada em 22% dos dias de primavera, de acordo com o inventário de validação. Apesar de ser a mesma situação existem algumas diferenças, como por exemplo, as partículas serem transportadas na maioria dos casos a altitudes mais elevadas que no inverno, a 2500 metros de altitude, beneficiando ainda, de uma fraca intensidade do anticiclone dos Açores, como ainda do fluxo da baixa pressão da Islândia estar mais ativo (Salvador *et al.*, 2014). Uma questão que difere entre os dados analisados e a circulação das poeiras, é que de acordo com os modelos de retrotrajetórias e imagens de satélites as poeiras, nesta situação sinótica, entram em Portugal a partir do Atlântico, no entanto, Salvador *et al.* (2014) menciona, que entram a partir de este, por Espanha. Há, portanto, assim uma inconformidade, que poderá ser explicada pela posição do núcleo anticiclónico, sendo que mesmo sobre o Norte de África, este poderá estar por exemplo sobre a Líbia e aí fará sentido que entrem por Espanha.

As partículas são provenientes na maioria dos casos da Argélia e de Marrocos, porém, vêm também do Sára Ocidental, Mali, Mauritânia, Níger, Chade, Tunísia e Líbia com

alguma frequência. As concentrações de partículas, nesta situação sinótica, desta estação do ano, revelam que o PM10 médio diário está ligeiramente acima do limite permitido pela Diretiva 2008/50/CE, sendo que, o valor da concentração média diária máxima de PM10 quase triplica relativamente ao limiar. Os PM2.5 têm um comportamento mais discreto, embora a concentração média dos máximos diários exceda o limiar de 25 µg/m³.

Como foi referido anteriormente, a emissão de poeiras começa a acentuar-se na primavera. Este facto é visível através dos resultados, em que a primavera é a segunda estação com mais episódios e eventos registados, tanto pela APA, como pelo inventário de validação. No entanto, a duração dos eventos é cerca de dois a três dias. Em termos dos meses que compõem esta estação, de acordo com os inventários da APA, junho faz parte dos três meses com mais episódios, conjuntamente com os dois meses de verão. De acordo com o inventário de validação, existem dois meses que fazem parte do *top* três com mais episódios, abril e junho. De facto, como sugerem Escudero *et al.* (2005), os meses em que se observam mais intrusões de poeiras são entre maio e agosto, sendo que Knippertz & Todd (2012) menciona setembro como o limite em vez de agosto. Escudero *et al.* (2005) afirmam que abril é um mês com muito poucos episódios, apesar de no inventário de validação estar bem representado, contudo, os resultados coadunam-se com o referido na literatura. Quanto aos internamentos urgentes durante os onze anos de análise, para os meses desta estação, abril registou 9,3%, maio 7,8% e junho com 6,3%. Quanto às plumas de poeira identificadas nesta estação, além de serem mais (devido à existência de mais episódios de intrusão), as dimensões das plumas também são maiores. Cachorro *et al.* (2006), afirmam que na primavera as plumas de poeira começam a ser mais extensas e diluídas (não tanto como no verão). Este argumento é validado através das áreas das plumas, obtidas através da sua vetorização. Assim, a área ocupada pelas mesmas abrangeu 6x mais território que no inverno, ocupando cerca de 295 057 890 Km², a área média das plumas aumentou cerca de um milhão de quilómetros quadrados face à estação anterior e verificou-se ainda que esta estação além de ter plumas maiores que no inverno, também consegue produzir, plumas mais pequenas. Na área de estudo, não se evidenciou nenhuma área mais afetada que outra. Quanto à concentração de partículas PM10, só 30% dos dias registados neste período (para os dias do inventário de validação) tiveram valores médios diários acima do permitido, enquanto os PM2.5 só 9%.

Quanto aos internamentos no verão, constata-se que é nesta estação, que se registam menos internamentos (15,5%). Contudo, é no verão que se verifica o maior número de

episódios ocorridos (Prospero, 1996; Goudie & Middleton, 2001; Engelstaedter *et al.*, 2006; Marconi *et al.*, 2014), que se devem às fortes emissões de partículas para a atmosfera, que se justificam segundo Querol *et al.* (2010), devido à movimentação da Zona de Convergência Intertropical para norte, que permite a injeção de poeiras na Atmosfera Livre e que são posteriormente transportadas com maior intensidade para a Península Ibérica, Mediterrâneo, e também para o oceano Atlântico. Uma das situações sinóticas identificadas nesta estação prende-se com um anticiclone, cujo núcleo se localiza sobre o norte do Norte de África. Esta situação foi ainda identificada no inverno e primavera. A outra situação identificada destaca-se a presença de uma depressão de origem térmica. Quanto à primeira, esta não foi identificada pela literatura para este período, no entanto, foi confirmada na presente investigação. Ocorre em 21% dos dias de verão identificados pelo inventário de validação. As partículas são transportadas, de forma mais regular, aos 2500 metros de altitude e chegam à área de estudo pelo Atlântico, tal como é visível na primavera. Neste cenário as poeiras são, uma vez mais, originárias da Argélia, Marrocos e Sáara Ocidental, mas também, em menor frequência, do Mali e da Mauritânia. Através da concentração de partículas PM10 percebe-se que o valor médio diário chegou aos 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e o valor médio máximo atingiu os 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por sua vez, os PM2.5 não tiveram resultados relevantes.

Quanto à segunda situação sinótica, que é uma depressão térmica, está bem documentada na literatura, tendo sido igualmente identificada nos resultados em 26% dos dias do inventário de validação durante o verão. Ocorre, sobretudo, no verão (Ghosh & Pal., 2014; Knippertz & Todd, 2012), podendo, no entanto, também se observar durante a primavera (Ghosh & Pal., 2014) devido ao sobreaquecimento da superfície (Querol *et al.*, 2010; Knippertz & Todd, 2012). De acordo com os dados analisados, esta situação sinótica apenas ocorreu esmagadoramente durante o verão. Alonso-Pérez *et al.* (2011) afirmam que esta situação só se verifica entre junho e agosto.

O núcleo desta baixa pressão térmica localiza-se no Norte de África, à superfície, sendo assim, resultado do calor intenso, que por sua vez, é promovido pela forte insolação, dada a presença de um anticiclone em altitude, acima dos 850 hPa (Alonso-Pérez *et al.*, 2011; Escudero *et al.*, 2005; Querol *et al.*, 2010), sobrepondo-se à baixa térmica (Knippertz & Todd, 2012; Querol *et al.*, 2010). Como foi referido, este fenómeno foi identificado através dos campos de geopotencial analisados e ilustrados no **Subcapítulo 4.3**. A depressão, de acordo com os resultados, localiza-se no noroeste do Norte de África aos

850 hPa, na maioria das vezes sobre terra, diferindo assim das depressões descritas em relação às outras estações do ano, que se situavam maioritariamente sobre o oceano Atlântico. Quanto à alta pressão, esta situa-se em altitude sobre o Sára Ocidental, Marrocos ou a Tunísia (Knippertz & Todd, 2012), sendo que, os resultados obtidos através da análise dos dados demonstram exatamente isso, que o núcleo desta alta pressão se localiza ao longo do Norte de África, em altitude, existindo, no entanto evidências da baixa pressão térmica, por vezes mesmo aos 700 hPa.

Durante a influência desta situação, Salvador *et al.* (2014) afirmam as poeiras chegam de sul a sudoeste, através de ventos em altitude. Os resultados demonstraram que as poeiras chegam à área de estudo na maioria das situações através do Mediterrâneo, passando por Espanha até chegar a Portugal continental à altitude de 2500 metros. Ou seja, apesar de ser a baixa pressão térmica, localizada à superfície, a controlar o fluxo, as partículas são transportadas em altitude, demonstrando assim que esta depressão tem influência mesmo a níveis superiores. As partículas têm como principal origem Marrocos e a Argélia, porém, também poderão ser originárias, em menor número de casos, do Sára Ocidental, Mauritânia e Mali. De acordo com Escudero *et al.* (2005), os dias marcados por esta situação sinótica são os que têm mais poeiras envolvidas, embora, os dados da concentração de partículas demonstrem que os valores médios diários não são elevados, apesar, de em alguns dias os valores médios diários terem ultrapassado o valor limite legal, tanto no caso das PM10 como PM2.5.

O verão é a estação do ano em que se registam mais episódios e eventos, tendo em conta o inventário da APA e o inventário de validação. A duração dos eventos é cerca de dois a três dias. Quanto aos meses, como foi referido anteriormente, os mais ativos são entre maio e agosto (Escudero *et al.*, 2005), ou entre maio e setembro (Knippertz & Todd, 2012). De acordo com o inventário APA, o mês com mais episódios é julho, seguido de agosto, enquanto que de acordo com o inventário dos dias de validação, o mês mais ativo é agosto, seguido de setembro. Esta informação está, assim, a confirmar o mencionado na literatura. Quanto aos internamentos nesses meses, nota-se que apresentam menos internamentos: agosto (4,5%), setembro (5%) e julho (5,7%). A sobreposição de plumas durante o verão é bastante notória, sobretudo, devido à grande quantidade de episódios, duplicando a sua área ocupada face à estação anterior. Por sua vez, as áreas médias máximas e mínimas, das plumas vetorizadas no verão, aumentaram, por comparação à primavera. De acordo, com Cachorro *et al.* (2006), e à semelhança do que se referiu para

a primavera, durante esta estação verificam-se plumas bem extensas e pouco concentradas. No período de verão, não é visível no Alentejo Central nenhuma área mais afetada pelas plumas que outra. Relativamente à concentração de partículas PM10, apenas 32% dos dias de validação tiveram médias diárias acima do permitido por lei, sendo que, agosto registou metade dos dias desse mesmo mês acima do limite. Quanto aos PM2.5, a percentagem de dias com excedência do valor limite legal é de 10%, que apesar de ser um valor baixo, foi o mais elevado. Setembro, foi o mês em que os valores médios diários de PM2.5 foram mais elevados.

Quanto aos internamentos da última estação em análise, percebe-se que o outono é a segunda estação com menos internamentos (19%). Quanto à emissão de poeiras nesta altura do ano, começa a ficar menos intensa, sobretudo no final de outono que já é fraca (Querol *et al.*, 2010). A chegada das poeiras a Portugal e mais concretamente à área de estudo, estão dependentes dos sistemas de circulação. Na literatura não foram identificados nenhuns em particular para esta altura do ano. No entanto, pelos resultados obtidos evidenciam-se, novamente, duas situações, sendo que uma delas já é repetida ao longo do ano. Essa situação repetida ao longo do ano, é a alta pressão sobre o norte do Norte de África, entre Marrocos e a Líbia, que se identifica também nas outras três estações. Esta situação no outono foi observada em 28% dos dias de validação. As poeiras são provenientes na sua maioria de Marrocos e a Argélia, mas também do Sáara Ocidental, Mauritânia e Mali. Chegam à área de estudo entre os 750 a 1500 metros de altitude a partir do oceano Atlântico. No que toca às partículas, apenas o PM10 médio máximo diário passa ligeiramente o valor limite legal.

Quanto à segunda situação, é também ela uma alta pressão, desta vez situada sobre o centro da Europa (França, Alemanha e Itália) e verifica-se em 24% dos dias de validação durante o outono. Nesta situação as poeiras são provenientes da Argélia e Marrocos, mas também do Sáara Ocidental e da Tunísia, e chegam à área de estudo através do Mediterrâneo, entre os 750 e os 1500 metros de altitude. A concentração de partículas PM10 e PM2.5, foram baixas no geral, tendo mesmo os “PM10 médio máximo” que apresentaram nas outras estações valores elevados, ficando abaixo dos limites definidos. A fraca emissão de poeiras, proporciona que, segundo Cachorro *et al.* (2006), o número de episódios seja menor e os eventos menos duradouros. Desta forma, conforme demonstram os resultados da presente investigação, o outono é a terceira estação com mais episódios e eventos, confirmando o que Cachorro *et al.* (2006) referiu. No entanto,

ao contrário do que o autor disse, os dados apontam que os eventos são mais duradouros que nas outras estações. A quantidade de episódios durante este período está sobretudo distribuída entre setembro (durante os dias de outono) e outubro, decrescendo para valores muito baixos, posteriormente. Os internamentos são mais elevados em novembro (7,5%), outubro (6,4%) e setembro (5%), havendo sinais de um aumento à medida que o inverno se aproxima. Quanto às plumas, são mais intensas mas em menor quantidade (Cachorro *et al.*, 2006; Pey *et al.*, 2013). Isto confirma-se através da vetorização das imagens de satélite, como o número de episódios vetorizados ser menor, existindo algumas semelhanças com o inverno, no entanto, as áreas das plumas de poeiras dão outras indicações. A área total coberta pelas plumas é menor, relativamente à primavera, em quase metade, no entanto, atentando às áreas médias, mínima e máxima verifica-se que são mais elevadas, ou seja, o outono tem menos episódios que a primavera, embora, esses mesmos episódios contemplem áreas mais extensas. Quanto à concentração de partículas (PM10 e PM2.5), o outono apresenta a menor percentagem de dias de validação, com valores acima do limite legal, existindo por isso um decréscimo muito grande comparando com a estação anterior.

Importa, ainda, salientar que na literatura foi identificado uma outra situação sinótica, que também foi verificada através dos dados, embora não seja tão relevante como as mencionadas anteriormente. Essa situação é uma depressão sobre o Norte de África, entre Marrocos, Argélia e Tunísia, podendo inclusive se situar sobre o Mediterrâneo ocidental (Escudero *et al.*, 2005). De facto, como foi referido esta situação foi identificada, nomeadamente durante a primavera. As poeiras entram na Península Ibérica a partir de este, com proveniência da Argélia, Tunísia, Líbia e Chade (Escudero *et al.*, 2005). As análises dos dados confirmaram esta situação, apontando, no entanto, Marrocos e a Argélia como principais fontes de partículas. Uma particularidade destes episódios é que, de acordo com Escudero *et al.* (2005), normalmente são acompanhados por precipitação. No entanto, esta situação não se confirmou, embora deva referir-se que existe uma grande lacuna de dados de precipitação nos dias em que decorreram episódios com este tipo de situação sinótica.

Relativamente à frequência de episódios ao longo dos anos de análise, não foi visível nenhuma tendência quer de aumento ou diminuição, apesar de Goudie & Middleton (2006), mencionarem que o Norte de África tem apresentado uma tendência de aumento de emissões de partículas para a atmosfera. A finalizar, relembra-se que a partir dos

critérios adotados para constituir o inventário dos dias de validação foram verificados 246 dias com poeiras saarianas, em que efetivamente houve essa intrusão no Alentejo Central, contrapondo com os 845 identificados pelos relatórios da APA. Nos dias do inventário de validação, os valores médios registados das temperaturas médias, máximas, mínimas, de PM10 e PM2.5 médios e máximos, foram mais elevados que durante os dias identificados pela APA.

Desta forma, deve frisar-se que é muito importante continuar a fazer a monitorização, a prever e a estudar a ocorrência das intrusões de poeiras saarianas em Portugal, com metodologias e critérios mais rigorosos, com novas ferramentas e modelos, de forma, a precaver os efeitos nocivos da deterioração da qualidade do ar que estes fenómenos causam. Isto é particularmente importante para assegurar que a população, sobretudo as faixas etárias mais vulneráveis, se preparem à ocorrência destas tempestades, que como se percebeu têm associação estatística com os internamentos, faltando apurar o mesmo com a mortalidade. É ainda importante, continuar a desenvolver as bases de dados das variáveis ambientais, mas sobretudo da mortalidade, quer ao nível da quantidade de anos com dados, mas também da desagregação das causas do óbito. É imperativo, que os estudos em Portugal sobre esta temática, e sobre os seus efeitos, não só na saúde, mas também nos solos e agricultura, sejam mais desenvolvidos, de forma a estarem a par dos restantes parceiros europeus. Relativamente à Diretiva 2008/50/CE, a sua revisão deveria ser realizada, não só porque já passaram onze anos desde a sua publicação, mas porque há certas cláusulas que deveriam ser bem pensadas, nomeadamente, a que permite subtrair os valores de concentração de poluentes quando fenómenos naturais ocorrem, como aquele aqui estudado, uma vez que são considerados de origem natural ou sem influência humana. No entanto, como se verificou pelo estado da arte, os humanos têm impactos na emissão das poeiras para a atmosfera, por via das más práticas de uso do solo, bem como na interferência da sua constituição, através da introdução de produtos químicos no solo. Há assim, uma grande margem para podendo evitar-se o aumento das emissões com a mudança de comportamentos. Seria ainda, importante esta Diretiva contemplar a não subtração dessas concentrações, porque mesmo que as emissões de partículas para a atmosfera fossem apenas de origem natural, elas são prejudiciais à saúde pública, levando a que os países investissem mais na conservação de uma qualidade do ar de excelência.

6. Conclusão

O Risco Relativo de internamentos urgentes por doenças respiratórias, no Alentejo Central, é 1,12 vezes (ou 12%) mais elevado quando existe intrusão de poeiras saarianas, de acordo com os dias do inventário APA. A variável dos dias da validação proporcionou resultados menos concludentes, podendo tal dever-se à menor quantidade de dias identificados no inventário de validação (246, contra os 825 dias identificados pela APA), limitando o significado estatístico dos resultados obtidos a partir deste inventário. O que se fez para obter os dias de validação, foi filtrar os dias identificados pelos relatórios da APA, através de critérios rigorosos e com novos elementos de análise (como as imagens de satélite), resultando assim num novo inventário de dias de intrusão que afetaram o Alentejo Central, de uma forma inequívoca. Outros resultados obtidos através de uma análise estatística dos internamentos, demonstraram que a faixa etária dos idosos é a mais vulnerável, assim como também o género masculino. A patologia que mais enfermos leva a serem internados de urgência é a pneumonia.

Verificou-se ainda que há registo de mais internamentos no inverno que no verão, além de que, durante estas duas estações se registam mais internamentos em dias com poeiras, do que sem poeiras. O maior número de internamentos no inverno poderá ser explicado pelas condições climáticas, nomeadamente a temperatura, sendo que a intrusão de poeiras norte africanas poderá contribuir para um agravamento dessas mesmas condições, sobretudo ao nível da qualidade do ar. Assim, apesar de se verificarem mais internamentos no inverno, esta estação regista menos episódios de intrusão de poeiras. Apesar da menor quantidade de episódios, em 45% dos mesmos foi atingido um valor médio diário de PM10 superior ao valor permitido por lei. A explicação disto poderá passar pela análise das plumas de poeira, em que estas dão a indicação de que são menos extensas, podendo por isso ser mais concentradas em termos de partículas. Através da regressão linear, é perceptível que as variáveis de inverno obtiveram uma maior percentagem de explicação com base nas variáveis ambientais inseridas, apesar deste método não ser o mais adequado para explicar a relação entre ambos. Assim, nesta estação, as poeiras poderão influenciar os internamentos urgentes, ao piorar a qualidade do ar e a agravar as patologias respiratórias, que por si só se tornam mais ativas durante esta mesma época. No verão é visível o oposto. Aqui, foram registados mais dias com poeiras, apesar de a % de dias com valores médios de PM10 acima do permitido ter sido inferior às outras estações. Uma das razões para isso pode-se dever ao facto de nesta

estação as plumas de poeiras serem mais extensas, abrangendo uma área maior, mas com menor concentração de partículas. Seguidamente, observou-se também, com base nas correlações e regressão, que as variáveis ambientais que estatisticamente melhor retratam e se associam aos internamentos por doença respiratória são os valores médios diários de temperatura e PM10. É ainda de salientar que, todo o território do Alentejo Central é afetado de igual modo pela ocorrência destes fenómenos. Relativamente à mortalidade, sublinhe-se que a abordagem para averiguação da relação entre a ocorrência de episódios de intrusão de poeiras e a mortalidade, não terá sido a mais indicada, apesar de se terem conseguido resultados interessantes. Assim, em alguns dos gráficos apresentados anteriormente, conseguiu-se observar que após alguns dos episódios existiram picos de mortalidade nos dias a seguir, ou no dia imediatamente após. No entanto, tal constatação não é, obviamente, suficiente para comprovar a existência de uma relação de causa-efeito, devendo esta análise ser retomada em estudos futuros.

As situações sinóticas principais que promovem a intrusão de poeiras saarianas no Alentejo Central, são quatro: dois sistemas anticiclónicos e dois sistemas depressionários. Estas situações distribuem-se ao longo das quatro estações do ano, pelo que algumas são ativas em mais que uma estação. Das quatro situações, três têm o seu centro barométrico sobre o Norte de África, em diferentes áreas, sendo que a restante localiza-se sobre o centro da Europa (um dos centros anticiclónicos). Independentemente da situação, as poeiras têm como principal origem Marrocos e a Argélia (apesar de também poderem provir de outros países do Norte de África). As trajetórias que estas situações proporcionam para o transporte das poeiras também diferem entre si, sendo que, quando ocorre uma das baixas pressões ou a alta pressão sobre o centro da Europa, as poeiras chegam à área de estudo por este, ou seja, através do Mediterrâneo, passando ainda por Espanha. No caso da alta pressão que se localiza no Norte de África (situação que se verificou mais vezes) a trajetória passa pelo oceano Atlântico, antes de chegar à área de estudo. A altitude na qual as poeiras são transportadas é na maioria dos casos aos 1500 metros, podendo variar entre os 750 e 2500. Em termos de concentração de partículas, apenas a situação marcada pela presença do anticiclone localizado no Norte de África apresentou valores de PM10 acima do valor limite legal. A concentração de partículas PM2.5 não registou valores muito elevados em nenhuma das situações sinóticas identificadas.

Desta forma, com este estudo pretendeu-se não só introduzir, mas também impulsionar os estudos da relação entre a ocorrência destes fenómenos em Portugal e os seus efeitos na saúde humana, nomeadamente, ao nível dos internamentos e mortalidade, uma vez que nos outros países do sul da Europa, este tema de investigação se encontra muito mais desenvolvido. A presente dissertação vem oferecer, uma análise alargada dos episódios com transporte e intrusão de poeiras, através da utilização e interpretação de um leque vasto de dados, desde a origem das poeiras, às condições de transporte, às concentrações de partículas PM10 e 2.5 e condições meteorológicas propiciadoras, mas também dos impactos nos internamentos e mortalidade. Assim, este estudo vem acrescentar um pequeno contributo ao conhecimento já existente, relativo a estes fenómenos a nível internacional, mas mais importante a nível nacional.

No entanto, há ainda muito por entender, ao nível dos impactos dos eventos naturais na saúde, com a aplicação de novas metodologias de identificação de episódios, mas também de modelação estatística. Tal irá permitir, cada vez mais ter uma noção mais aproximada e correta desta relação, não só ao nível dos internamentos no Alentejo Central, mas para todo o país, verificando também a influência nas faixas etárias, como ao nível do género e ainda da época de incidência. É necessário entender também a relação que estes episódios poderão representar com outras patologias, como as cardíacas e cerebrovasculares. Existem ainda temáticas, como a contaminação ou fertilização de solos, ou eventuais efeitos na agricultura, assim como entender a composição física, química e biológica destes materiais, que têm de ser estudados, uma vez que poderão ser fatores decisivos para o entendimento dos seus efeitos, seja em que temática for. Para uma continuidade dos estudos das consequências ao nível da saúde, provocadas por este fenómeno, é necessária uma disponibilização mais flexível dos dados dos internamentos por regiões de saúde aos investigadores, mesmo que só englobem o período dos internamentos, patologia, idade e género. É necessária a disponibilização dos dados de óbitos desagregados por causas, mas também a disponibilização para períodos temporais mais longos, além dos dois que já se dispõe na plataforma virtual. É, ainda, importante adotar medidas de proteção dos solos no Norte de África, que possam contrariar a sobreutilização por parte dos humanos levando à redução da quantidade de partículas expostas à ação do vento. Por último, seria também importante sensibilizar as populações a respeito das consequências da exposição às intrusões de poeiras saarianas e à inalação das suas partículas, uma vez que a ocorrência destes fenómenos em Portugal soa ainda

com relativa estranheza, além de promover uma maior divulgação do sistema de previsão de intrusão de poeiras norte africanas, desse modo contribuindo para a mitigação dos seus efeitos nefastos potenciais.

7. Bibliografia

- Ahrens, C. (2009). *Meteorology Today: An introduction to weather, climate, and the environment*. (J. Warde, L. Monari, P. Leeds, J. Bollow, & S. Kenter, Eds.) (Ninth edit). Belmonte, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Alessandrini, E., Stafoggia, M., Faustini, A., Gobbi, G., & Forastiere, F. (2013). Saharan dust and the association between particulate matter and daily hospitalisations in Rome, Italy. *Occupational and Environmental Medicine*, 70(6), 432–434. Retrieved from <http://oem.bmj.com/content/70/6/432.abstract>
- Alfaro, S. (2008). Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion. *Geomorphology*, 93, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.012>
- Alfaro, S., Gaudiche, A., Gomes, L., & Maillé, M. (1998). Mineral aerosol production by wind erosion : aerosol particle sizes and binding energies. *Geophysical Research Letters*, 25(7), 991–994.
- Almendra, R., Loureiro, A., Silva, G., Vasconcelos, J., & Santana, P. (2019). Short-term impacts of air temperature on hospitalizations for mental disorders in Lisbon. *Science of the Total Environment*, 647, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.337>
- Alonso-Pérez, S., Cuevas, E., & Querol, X. (2011). Objective identification of synoptic meteorological patterns favouring African dust intrusions into the marine boundary layer of the subtropical eastern north Atlantic region. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 113(3), 109–124. <https://doi.org/10.1007/s00703-011-0150-z>
- Avila, A., Queralt-Mitjans, I., & Alarcón, M. (1997). Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over northeastern Spain. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D18), 977–996. <https://doi.org/10.1029/97JD00485>
- Bergametti, G., Gomes, L., Remoudaki, E., Desbois, M., Martin, D., & Buat-Menard, P. (1989). Present Transport and Deposition Patterns of African Dusts to the North-Western Mediterranean. In M. Leinen & M. Sarnthein (Eds.), *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport* (pp. 227–252). <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0995-3>

- Brook, R. (2008). Cardiovascular effects of air pollution. *Clinical Science*, *115*(6), 175–187. <https://doi.org/10.1042/CS20070444>
- Brooks, N., & Legrand, M. (2000). Dust Variability over Northern Africa and Rainfall in the Sahel. In S. J. McLaren & D. R. Kniveton (Eds.), *Linking Climate Change to Land Surface Change. Advances in Global Change Research* (pp. 1–25). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48086-7_1
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, *360*, 1233–1242. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)92649-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)92649-2)
- Bullard, J., Harrison, S., Baddock, M., Drake, N., Gill, T., McTainsh, G., & Sun, Y. (2011). Preferential dust sources: A geomorphological classification designed for use in global dust-cycle models. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, *116*(4), 8–20. <https://doi.org/10.1029/2011JF002061>
- Cachorro, V., Vergaz, R., Frutos, A., Vilaplana, J., Henriques, D., Laulainen, N., & Toledano, C. (2006). Study of desert dust events over the southwestern Iberian Peninsula in year 2000: two case studies. *Annales Geophysicae, European Geosciences Union*, *24*(6), 1493–1510.
- Cakmur, R., Miller, R., Perlwitz, J., Geogdzhayev, I., Ginoux, P., Koch, D., ... Zender, C. (2006). Constraining the magnitude of the global dust cycle by minimizing the difference between a model and observations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *111*(6), 1–24. <https://doi.org/10.1029/2005JD005791>
- Carlson, T., & Prospero, J. (1972). The Large-Scale Movement of Saharan Air Outbreaks over the Northern Equatorial Atlantic. *Journal of Applied Meteorology*, *11*(2), 283–297. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1972\)011<0283:TLSMOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1972)011<0283:TLSMOS>2.0.CO;2)
- Carranza, R., Antonio, M., Quintero Núñez, M., & Collins, K. (2005). Correlation Study of the Association of PM10 with the Main Respiratory Diseases in the Populations of Mexicali , Baja California and Imperial County , California. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, *26*(1), 22–36.
- Chien, L., Lien, Y., Yang, C., & Yu, H. (2014). Acute increase of children's conjunctivitis clinic visits by Asian dust storms exposure - A spatiotemporal study in Taipei, Taiwan. *PLoS ONE*, *9*(10), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109175>

- Chien, L., Yang, C., & Yu, H. (2012). Estimated effects of Asian dust storms on spatiotemporal distributions of clinic visits for respiratory diseases in Taipei children (Taiwan). *Environmental Health Perspectives*, *120*(8), 1215–1220. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104417>
- Choobari, O., Zawar-Reza, P., & Sturman, A. (2014). The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Atmospheric Research*, *138*, 152–165. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.11.007>
- Coe, M., & Foley, J. (2001). Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin. *Journal of Geophysical Research*, *106*(D4), 3349–3356. <https://doi.org/10.1029/2000JD900587>
- Comissão Europeia. (2011). *Establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe*. Bruxelas.
- d’Almeida, G. (1986). A model for Saharan dust transport. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, *25*(7), 903–916. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1986\)025<0903:AMFSDT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1986)025<0903:AMFSDT>2.0.CO;2)
- d’Almeida, G. (1989). Desert aerosol: characteristics and effects on climate. In M. Leinen & M. Sarnthein (Eds.), *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport. NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences)*, vol.282 (pp. 311–338). Dordrecht: Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-0995-3_13
- Derbyshire, E. (2007). Natural Minerogenic Dust and Human Health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *36*(1), 73–77. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36)
- Díaz, J., Linares, C., Carmona, R., Russo, A., Ortiz, C., Salvador, P., & Trigo, R. M. (2017). Saharan dust intrusions in Spain: Health impacts and associated synoptic conditions. *Environmental Research*, *156*, 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.047>

- Díaz, J., Tobías, A., & Linares, C. (2012). Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality: A case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Environmental Health : A Global Access Science Source*, *11*(11), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-11>
- Draxler, R., & Hess, G. (1998). An Overview of the HYSPLIT _ 4 Modelling System for Trajectories , Dispersion , and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*, *47*, 295–308. <https://doi.org/10.1515/eqc-2014-0003>
- Dubief, J. (1979). Review of the North African climate with particular emphasis on the production of eolian dust in the Sahel zone and in the Sahara. In C. Morales (Ed.), *Saharan dust: mobilization, transport, deposition, (SCOPE report 14)* (John Wiley, pp. 27–48). Chichester.
- Engelstaedter, S., Tegen, I., & Washington, R. (2006). North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*, *79*(1–2), 73–100. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.004>
- Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Avila, A., Alarcón, M., Viana, M. M., ... Rodríguez, S. (2005). Wet and dry African dust episodes over eastern Spain. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, *110*(18), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2004JD004731>
- Escudero, M., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Pérez, N., Ferreira, F., ... Cuevas, E. (2007). A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*, *41*(26), 5516–5524. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.04.047>
- Foley, J., Coe, M., Scheffer, M., & Wang, G. (2003). Regime Shifts in the Sahara and Sahel: Interactions between Ecological and Climatic Systems in Northern Africa. *Ecosystems*, *6*(6), 524–539. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0227-0>
- Franzén, L., Mattsson, J., Maternsson, U., Nihlén, T., & Rapp, A. (1994). Yellow Snow over the Alps and Subarctic from Dust Storm in Africa. *Springer*, *23*(3), 233–235. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/4314206>
- Gasparri, A. (2014). Modeling exposure-lag-response associations with distributed lag non-linear models. *Statistics in Medicine*, *33*(5), 881–899. <https://doi.org/10.1002/sim.5963>

- Gasparri, A. (2018). Distributed lag non-linear models in R: the package dlrm, 1–11.
Retirado de: <https://cran.r-project.org/web/packages/dlrm/index.html>
- Gasparri, A. (2019). DLNM v2.3.9. Acedido a 14 de julho de 2019, em:
<https://www.rdocumentation.org/packages/dlrm/versions/2.3.9>
- Gasparri, A., & Armstrong, B. (2011). The impact of heat waves on mortality.
Epidemiology, 22(1), 68–73. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181fdcd99>
- Gasparri, A., Armstrong, B., & Kenward, M. (2010). Distributed lag non-linear models.
Statistics in Medicine, 29(21), 2224–2234. <https://doi.org/10.1002/sim.3940>
- Gasparri, A., Armstrong, B., & Scheipl, F. (2018). Distributed Lag Non-Linear Models,
1–54. Retirado de: <https://cran.r-project.org/web/packages/dlrm/dlrm.pdf>
- Gherboudj, I., Naseema Beegum, S., & Ghedira, H. (2016). Identifying natural dust
source regions over the Middle-East and North-Africa: Estimation of dust emission
potential. *Earth-Science Reviews*, 165, 342–355.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.12.010>
- Ghosh, T., & Pal, I. (2014). Dust Storm and its Environmental Implications. *Journal of
Engineering Computers & Applied Sciences (JECAS)*, 3(4), 30–37.
- Giles, J. (2005). The dustiest place on Earth. *Nature*, 434, 816. Retrieved from
<http://dx.doi.org/10.1038/434816a>
- Gill, T. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas:
human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human
system. *Geomorphology*, 17(1–3), 207–228. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00104-D](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00104-D)
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J., Holben, B., Dubovik, O., & Lin, S.-J. (2001).
Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model.
Journal of Geophysical Research, 106(17), 255–273.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1029/2000JD000053>
- Ginoux, P., Prospero, J., Gill, T., Hsu, N., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of
anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS
Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3), 1–36.
<https://doi.org/10.1029/2012RG000388>

- Goudie, A. (2014). Desert dust and human health disorders. *Environment International*, 63, 101–113. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.011>
- Goudie, A., & Middleton, N. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56(1–4), 179–204. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00067-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8)
- Goudie, A., & Middleton, N. (2006). *Desert Dust in the Global System*. (D. Czeschlik & A. Schlitzberger, Eds.). Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-32355-4>
- Griffin, D. (2007). Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clinical Microbiology Reviews*, 20(3), 459–477. <https://doi.org/10.1128/CMR.00039-06>
- Griffin, D., Garrison, V., Herman, J., & Shinn, E. (2001). African desert dust in the Caribbean atmosphere: Microbiology and public health. *Aerobiologia*, 17(3), 203–213. <https://doi.org/10.1023/A:1011868218901>
- Griffin, D., & Kellogg, C. (2004). Dust Storms and Their Impact on Ocean and Human Health: Dust in Earth's Atmosphere. *EcoHealth*, 1, 284–295. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0120-8>
- Griffin, D., Kellogg, C., Garrison, V., & Shinn, E. (2002). The global transport of dust. *American Scientist*, 90(3), 228–235. <https://doi.org/10.1511/2002.3.228>
- Griffin, D., Kellogg, C., & Shinn, E. (2001). Dust in the Wind: Long Range Transport of Dust in the Atmosphere and Its Implications for Global Public and Ecosystem Health. *Global Change and Human Health*, 2(1), 20–33. <https://doi.org/10.1023/A:1011910224374>
- Guerzoni, S., Molinaroli, E., & Chester, R. (1997). Saharan dust inputs to the western Mediterranean Sea: Depositional patterns, geochemistry and sedimentological implications. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 44(3–4), 631–654. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(96\)00096-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(96)00096-3)

- Gyan, K., Henry, W., Lacaille, S., Laloo, A., Lamsee-Ebanks, C., McKay, S., ... Monteil, M. A. (2005). African dust clouds are associated with increased paediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *International Journal of Biometeorology*, 49(6), 371–376. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0257-3>
- Howitt, M. E. (2000). Asthma management in the Caribbean - an update. *Postgraduate Doctor - Caribbean*, 16(2), 86–104.
- INE. (2018). População residente (N.º) por Local de residência (NUTS - 2013) Alentejo Central. Acedido a 20 de março de 2019, em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0008273&selTab=tab0
- Israelevich, P., Levin, Z., Joseph, J., & Ganor, E. (2002). Desert aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 107(21), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2001JD002011>
- Jaenicke, R., & Schütz, L. (1978). Comprehensive study of physical and chemical properties of the surface aerosols in the Cape Verde Islands region. *Journal of Geophysical Research*, 83(C7), 3585–3599. <https://doi.org/10.1029/JC083iC07p03585>
- Jiménez, E., Linares, C., Martínez, D., & Díaz, J. (2010). Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 408(23), 5729–5736. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.049>
- Kanatani, K., Ito, I., Al-Delaimy, W., Adachi, Y., Mathews, W., & Ramsdell, J. (2010). Desert dust exposure is associated with increased risk of asthma hospitalization in children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 182(12), 1475–1481. <https://doi.org/10.1164/rccm.201002-0296OC>
- Knippertz, P., & Fink, A. H. (2006). Synoptic and dynamic aspects of an extreme springtime Saharan dust outbreak. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132(617), 1153–1177. <https://doi.org/10.1256/qj.05.109>

- Knippertz, P., & Todd, M. (2012). Mineral dust aerosols over the Sahara: Meteorological controls on emission and transport and implications for modeling. *Reviews of Geophysics*, *50*(1), 1–94. <https://doi.org/10.1029/2011RG000362>
- Korn, E., & Whittemore, A. (2014). Methods for Analyzing Panel Studies of Acute Health Effects of Air Pollution. *Society, International Biometric*, *35*(4), 795–802.
- Kubilay, N., Nickovic, S., Moulin, C., & Dulac, F. (2000). An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, *34*(8), 1293–1303. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00179-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00179-X)
- Laurent, B. (2005). *Simulation des émissions d'aérosols désertiques à l'échelle continentale: Analyse climatologique des émissions du nord-est de l'Asie et du nord de l'Afrique*. Université Paris. Retrieved from http://www.lisa.u-pec.fr/~blaurent/Documents/These_BL_LISA.pdf
- Liu, W., Xu, Z., & Yang, T. (2018). Health Effects of Air Pollution in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(1471), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071471>
- Lyles, L. (1988). Basic wind erosion processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *22–23*(C), 91–101. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90010-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90010-2)
- Mallone, S., Stafoggia, M., Faustini, A., Gobbi, G., Marconi, A., & Forastiere, F. (2011). Saharan Dust and Associations between Particulate Matter and Daily Mortality in Rome, Italy. *Environmental Health Perspectives*, *119*(10), 1409–1414.
- Marconi, M., Sferlazzo, D., Becagli, S., Bommarito, C., Calzolari, G., Chiari, M., ... Udisti, R. (2014). Saharan dust aerosol over the central Mediterranean Sea: PM10 chemical composition and concentration versus optical columnar measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *14*(4), 2039–2054. <https://doi.org/10.5194/acp-14-2039-2014>
- 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>

- Merrifield, A., Schindeler, S., Jalaludin, B., & Smith, W. (2013). Health effects of the September 2009 dust storm in Sydney, Australia: Did emergency department visits and hospital admissions increase? *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-32>
- Middleton, N. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research*, 24, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.12.001>
- Middleton, N., & Goudie, A. (2001). Saharan dust: sources and trajectories. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 26(2), 165–181. <https://doi.org/10.1111/1475-5661.00013>
- Middleton, N., Yiallourous, P., Kleanthous, S., Kolokotroni, O., Schwartz, J., Dockery, D., ... Koutrakis, P. (2008). A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: The effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 7(39), 1–16. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-7-39>
- Monteil, M. A. (2008). Saharan dust clouds and human health in the English-speaking Caribbean: What we know and don't know. *Environmental Geochemistry and Health*, 30(4), 339–343. <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9162-0>
- Morales-Baquero, R., & Pérez-Martínez, C. (2016). Saharan versus local influence on atmospheric aerosol deposition in the southern Iberian Peninsula: Significance for N and P inputs. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(3), 501–513. <https://doi.org/10.1002/2015GB005254>
- Moulin, C., & Chiapello, I. (2006). Impact of human-induced desertification on the intensification of Sahel dust emission and export over the last decades. *Geophysical Research Letters*, 33(18), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2006GL025923>
- Mulitza, S., Heslop, D., Pittauerova, D., Fischer, H. W., Meyer, I., Stuut, J. B., ... Schulz, M. (2010). Increase in African dust flux at the onset of commercial agriculture in the Sahel region. *Nature*, 466(7303), 226–228. <https://doi.org/10.1038/nature09213>
- NASA. (2019). Aerosol (04_L2). Acedido a 31 de janeiro de 2019, em: <https://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/products/aerosol>

- Neophytou, A., Yiallourous, P., Coull, B., Kleanthous, S., Pavlou, P., Pashiardis, S., ... Laden, F. (2013). Particulate matter concentrations during desert dust outbreaks and daily mortality in Nicosia, Cyprus. *Journal Of Exposure Science And Environmental Epidemiology*, 23, 275. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/jes.2013.10>
- Nickovic, S. (1996). Modeling of dust process for the Saharan and Mediterranean area. In *The Impact of Desert Dust Across the Mediterranean* (pp. 15–25). <https://doi.org/10.1007/978-94-017-3354-0>
- OMS. (1946). *Constitution of World Health Organization* (Vol. 19). <https://doi.org/10.1097/01.aids.0000180783.18177.98>
- OMS. (2018). Ambient (outdoor) air quality and health. Acedido em 14 de novembro de 2018 em: [http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ozer, P. (2001). *Dust storms in the Sahel of West Africa: a proxy climatic indicator of desertification*. Retrieved from <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/17333>
- Pérez, L., Tobias, A., Querol, X., Künzli, N., Pey, J., Alastuey, A., ... Sunyer, J. (2008). Coarse Particles From Saharan Dust and Daily Mortality. *Epidemiology*, 19(6), 800–807. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31818131cf>
- Pérez, L., Tobías, A., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Díaz, J., & Sunyer, J. (2012). Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: A case-crossover study in Barcelona (Spain). *Environment International*, 48, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.001>
- Perry, K., Cahill, T., Eldred, R., Dutcher, D., & Gill, T. (1997). Long-range transport of North African dust to the eastern United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D10), 11225–11238. <https://doi.org/10.1029/97JD00260>
- Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F., & Stafoggia, M. (2013). African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(3), 1395–1410. <https://doi.org/10.5194/acp-13-1395-2013>

- PIAAC-AC. (2018a). *O Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas do Alentejo Central. Prevenção e Planeamento.*
- PIAAC-AC. (2018b). *Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas do Alentejo Central. Relatório Final.*
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... Blair, R. (1995). Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science, New Series*, 267(5201), 1117–1123.
- Pope, C. (2000). Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: Biologic mechanisms and who's at risk? *Environmental Health Perspectives*, 108(SUPPL. 4), 713–723. <https://doi.org/10.2307/3454408>
- Pope, C., Burnett, R., Thun, M., Calle, E., Krewski, D., & Thurston, G. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *The Journal of the American Medical*, 287(1), 132–141. <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
- Prospero, J. (1996). Saharan Dust Transport Over the North Atlantic Ocean and Mediterranean: An Overview. In *The Impact of Desert Dust Across the Mediterranean* (pp. 133–151). https://doi.org/10.1007/978-94-017-3354-0_13
- Prospero, J. (1999). Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: Implications for regional air quality. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 104(D13), 15917–15927. <https://doi.org/10.1029/1999JD900072>
- Prospero, J., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S., & Gill, T. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40(1), 1–31. <https://doi.org/10.1029/2000RG000095>
- Prospero, J., & Lamb, P. (2003). African droughts and dust transport to the Caribbean: climate change implications. *Science, New Series*, 302(5647), 1024–1027. <https://doi.org/10.1126/science.1089915>

- Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., Escudero, M., Castillo, S., Gonzalez Ortiz, A., ... de la Rosa, J. (2010). *Methodology for the identification of natural episodes in PM10 and PM2.5, and justification with regards to the exceedances of the pm10 daily limit value*. Barcelona.
- Querol, X., Pey, J., Pandolfi, M., Alastuey, A., Cusack, M., Pérez, N., ... Kleanthous, S. (2009). African dust contributions to mean ambient PM10 mass-levels across the Mediterranean Basin. *Atmospheric Environment*, 43(28), 4266–4277. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.013>
- Remer, L. A. (2006). Dust, fertilization and sources. *Environmental Research Letters*, 1(1), 1–3. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/1/1/011001>
- Rodríguez, S., Alastuey, A., Alonso-Pérez, S., Querol, X., Cuevas, E., Abreu-Afonso, J., ... De La Rosa, J. (2011). Transport of desert dust mixed with North African industrial pollutants in the subtropical Saharan Air Layer. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(13), 6663–6685. <https://doi.org/10.5194/acp-11-6663-2011>
- Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., & Kakaliagou, O. (2001). Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, 35(14), 2433–2447. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00496-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00496-9)
- Sajani, S., Miglio, R., Bonasoni, P., Cristofanelli, P., Marinoni, A., Sartini, C., ... Lauriola, P. (2011). Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). *Occupational and Environmental Medicine*, 68(6), 446–451. <https://doi.org/10.1136/oem.2010.058156>
- Salvador, P., Alonso-Pérez, S., Pey, J., Artñano, B., De Bustos, J. J., Alastuey, A., & Querol, X. (2014). African dust outbreaks over the western Mediterranean Basin: 11-year characterization of atmospheric circulation patterns and dust source areas. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(13), 6759–6775. <https://doi.org/10.5194/acp-14-6759-2014>
- Samoli, E., Kougea, E., Kassomenos, P., Analitis, A., & Katsouyanni, K. (2011). Does the presence of desert dust modify the effect of PM10 on mortality in Athens, Greece? *Science of the Total Environment*, 409(11), 2049–2054. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.031>

- Samoli, E., Nastos, P., Paliatsos, A., Katsouyanni, K., & Priftis, K. (2011). Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: Evidence of association and effect modification. *Environmental Research*, *111*(3), 418–424. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.014>
- Schülz, H., Harder, V., Ibald-Mulli, A., Khandoga, A., Koenig, W., Krombach, F., ... Peters, A. (2005). Cardiovascular Effects of Fine and Ultrafine Particles. *Journal of Aerosol Medicine*, *18*(1), 1–22. <https://doi.org/10.1089/jam.2005.18.1>
- Schütz, L., Jaenicke, R., & Pietrek, H. (1981). Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean. In *Desert Dust: Origin, Characteristics and Effect on Man* (Vol. 186, pp. 87–100).
- Schweitzer, M., Calzadilla, A., Salamo, O., Sharifi, A., Kumar, N., Holt, G., ... Mirsaeidi, M. (2018). Lung health in era of climate change and dust storms. *Environmental Research*, *163*, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.001>
- Silva, S. (2015). *Modelação do efeito do frio extremo na saúde da população de Lisboa : contributos para um sistema de vigilância e alerta*. Universidade de Lisboa. Retrieved from [http://repositorio.insa.pt/bitstream/10400.18/3767/2/Modelação do efeito do frio extremo na saúde da população de Lisboa.pdf](http://repositorio.insa.pt/bitstream/10400.18/3767/2/Modelação%20do%20efeito%20do%20frio%20extremo%20na%20saúde%20da%20população%20de%20Lisboa.pdf)
- Smith, B., Wright, J., & Whalley, W. (2002). Sources of non-glacial, loess-size quartz silt and the origins of “desert loess.” *Earth-Science Reviews*, *59*(1–4), 1–26. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00066-1)
- Sokolik, I., & Toon, O. (1996). Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols. *Nature*, *381*(6584), 681–683. <https://doi.org/10.1038/381681a0>
- Sterk, G., & Goossens, D. (2007). *Emissions of soil dust and related problems in Europe: an overview*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228482022_Emissions_of_soil_dust_and_related_problems_in_Europe_an_overview
- Swap, R., Garstang, M., Greco, S., Talbot, R., & Kållberg, P. (1992). Saharan dust in the Amazon Basin. *Tellus*, *44B*(2), 133–149. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00005.x>

- Swezey, C. (2001). Eolian sediment responses to late Quaternary climate changes: Temporal and spatial patterns in the Sahara. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 167(1–2), 119–155. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00235-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00235-2)
- Tao, Y., An, X., Sun, Z., Hou, Q., & Wang, Y. (2012). Association between dust weather and number of admissions for patients with respiratory diseases in spring in Lanzhou. *Science of The Total Environment*, 423, 8–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.01.064>
- Tegen, I., & Fung, I. (1994). Modeling of mineral dust in the atmosphere' transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research*, 99(94), 22897–22914. <https://doi.org/10.1029/94JD01928>
- Tegen, I., & Fung, I. (1995). Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification. *Journal of Geophysical Research*, 100(D9), 18707. <https://doi.org/10.1029/95JD02051>
- Tegen, I., Werner, M., Harrison, S., & Kohfeld, K. (2004). Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical Research Letters*, 31(5), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2003GL019216>
- Tobías, A., Pérez, L., Díaz, J., Linares, C., Pey, J., Alastruey, A., & Querol, X. (2011). Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: A case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 412–413, 386–389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.027>
- Todd, M., Washington, R., Raghavan, S., Lizcano, G., & Knippertz, P. (2008). Regional model simulations of the Bodélé low-level jet of Northern Chad during the Bodélé dust experiment (BoDEx 2005). *Journal of Climate*, 21(5), 995–1012. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1766.1>
- UNEP, WMO, & UNCCD. (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms*. (United Nations Environment Programme, Ed.). Nairobi: UNEP. Retrieved from http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice_display&id=19638#.WCll6IVOIaE

- Vasconcelos, J. (2012). *Bioclima, saúde e qualidade da habitação em Portugal. Papel da exposição ao frio na incidência de doenças coronárias agudas*. Universidade Nova de Lisboa. Retrieved from <https://run.unl.pt/handle/10362/8207>
- Wang, X., Oenema, O., Hoogmoed, W., Perdok, U., Cai, D., Shao, Y., ... Sensing, R. (2014). Global Assessment of Sand and Dust Storms. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(3), 1493–1510. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.048>
- Zauli Sajani, S., Miglio, R., Bonasoni, P., Cristofanelli, P., Marinoni, A., Sartini, C., ... Lauriola, P. (2011). Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). *Occupational and Environmental Medicine*, 68(6), 446 LP-451. Retrieved from <http://oem.bmj.com/content/68/6/446.abstract>
- Zender, C., Miller, R., & Tegen, I. (2004). Quantifying mineral dust mass budgets: Terminology, constraints, and current estimates. *Eos*, 85(48), 509–512. <https://doi.org/10.1029/2004EO480002>

8. Anexos

Quadro 29: Dias de intrusão de poeiras, de acordo com os relatórios da APA.

APA
9,10,11,12,13,14/02/2006 3,4,23,24,25,26,27/04/2006;
2,10,11,12,13,14,15,16,17,26,27,28,29,30,31/05/2006 1,10,11,12,13,14,15,21,22,23/06/2006;
9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21/07/2006 21,22,23,24/08/2006 5,6,7,8,9,10/09/2006;
9,10,28,29,30,31/10/2006 1,2,15,16,24,25/10/2006 17,28,29,30,31/12/2006;
1,2,16,17,18,19,20,21,28,29,30/01/2007 3,4,5/02/2007 14,15,16,17,18/03/2007;
9,10,11,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25/04/2007 11,12,13,20,23,24/05/2007;
6,7,8,9,23,24,25/06/2007 6,7,12,13,14,15,28,29,30,31/07/2007;
1,2,3,4,5,6,9,10,11,18,25,16,27,28,29/08/2007;
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,19,20,21,22,23,24,28/09/2007 14,15,16,17,19,20/10/2007;
1,12,13/11/2007 18,18,19,20,21,22,23/12/2007;
23,24,25,26/01/2008 13,14,15,16,17,18,23,24,25,26,27/02/2008 2,3,14,15/03/2008;
6,7,15,16,25,26,27/04/2008; 2,3,4,5,6,7,8/05/2008 22,23,24,25,26,27,28,29,30/05/2008;
22,23,24,25,26,27,28,29,30/06/2008 1,2,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24 /07/2008 4,5,6/08/2008;
9,10/09/2008 11,12,13,14,15,16,20,21/10/2008;
20,21,22,23,24,25,26,27,28/02/2009;
10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28/03/2009 2,3/04/2009;
4,5,6,7,8,9,10,20,21,22,28,29,30,31/05/2009 1,2,3,4,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25/06/2009;
19,20,21,26,27/07/2009 5,11,12,13,14,15,16,17,18,19,28,29,30,31/08/2009;
1,6,7,8,9,25,26,27,28,29/09/2009 14,15,16,17,18,27,28,29,39,31/10/2009;
15,16,17,19,20,21/11/2009 10/12/2009 5,18,23/01/2010 3,27/02/2010;
16,17,18,19,20,21,22,23/03/2010 5,6,8,10,11,12,13,16,26,27,28,29/04/2010;
18,19,20,21,22,23,24/05/2010 2,23,24,25,26,27,28,29,30/06/2010;
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,18,19,24,25,26,27,28,29,30,31/07/2010 1,6,7,8,9,10,11,21,22,26,30,31/08/2010;
1,10,11,12,13,14,15,20,21,22/09/2010 22,23/10/2010 9,10,11,12,13,14,29/12/2010;
7,16,17,18,19,20/01/2011 8,9,10,11,12,13/02/2011 6,7,8,10,24,25,26/03/2011;
1,2,3,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,19/04/2011;
9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,24,25,26,27,28,29/05/2011 24,25,26,27,28,29,30/06/2011;
1,2,3,4,21,22,23,29,30,31/07/2011 9,10,11,12,13,14,15,16,17,19,20,21,22,23,24,28,29,30/08/2011;
9,14,15,16,17,20,21,22,23,26,27,28,29,30/09/2011 1,2,3,4,5,10,11,12,13,14,21,22/10/2011;
12,13/11/2011 10,11,12,13/01/2012 18,24,25,26,27,28,29/02/2012;
1,13,14,15,16,17,23,24,25,26,27,28,29/03/2012 9/04/2012 10,11,12,13,14,15,16,17,31/05/2012;
1,25,26,27,28/06/2012 16,17,18,19,24,25,26,27,28/07/2012 7,8,9,10,11,17,18,19,20,21,22/08/2012;
4,5,6,7,8,9,10,20,21/09/2012 5,6,7,8,9/10/2012 16,24,25,26/11/2012 24/12/2012;
14,19,22/04/2013 4,24,25,26,27,28,29,30/06/2013 1,2,3,4,5,6,9,10,11,19,20,31/07/2013;

12,13,14,19,20,21,22/08/2013 || 4,5,6,12,13,14,15,23,24,25/09/2013 || 10/10/2013;
 12,13,15,16,17/12/2013 || 10,11,12/01/2014 || 9,20,21/03/2014 || 11,12,13,14,15,16,17,18/04/2014;
 14,15,16,17,18/05/2014 || 12,13,14,15,16,17,18,19/06/2014 || 16,27,30,31/07/2014 || 17/08/2014;
 1,2,27/09/2014 || 1,2,3,4,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31/10/2014;
 1,20,21,22,23,24,25,30/11/2014 || 1/12/2014 || 10,11/02/2015 || 11,12,13,14,20/03/2015;
 3,4,13,14,17/04/2015 || 10,11,12,13,14,15,18,29/05/2015;
 3,4,5,6,7,8,9,10,11,20,21,22,28,29,30/06/2015 || 6,7,11/07/2015 || 9,10,20,21,29,30,31/08/2015;
 20,21/09/2015 || 4,5,17,21,22,23/10/2015 || 10,12/11/2015 || 19,20,21/12/2015

Quadro 30: Dias de intrusão de poeiras, de acordo com os dias de validação.

Dias de validação do inventário APA
12,16,17,18,19,20,21/03/2005 30/04/2005 7,8,22/06/2005 5,6,7,16/08/2005 15,16/09/2005; 3,23,24,25/04/2006 17,26,27,28,29,30,31/05/2006 1,11,12,13,14/06/2006; 10,11,12,13,14,15,16,17,18/07/2006 5,6,7,9/09/2006 29/10/2006; 9,10,11,19,20,21,24/04/2007 12/05/2007 8/06/2007 31/07/2007 4,5,26,27/08/2007; 4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,20/09/2007; 14,15/02/2008 14/03/2008 27/04/2008 4/05/2008 18,19,20/07/2008 11,12,13/10/2008; 21,22,23,24,25/02/2009 19,20,21,22,23,24,25/03/2009 8,9/05/2009 2/06/2009 20,21/06/2009; 12, 29,30,31/08/2009 7,8/09/2009 18,19,20,21/03/2010 13/04/2010 21,22,23/05/2010; 24,25,26,28,29,30/06/2010 1,7,24,27,28,29,30,31/07/2010 7,8,9,19,11/08/2010 15,20,21/09/2010; 9,10,11,12,13,29/12/2010 7,10,24,25/03/2010 2,5,6,7,8,15,16,17,18/04/2010; 10,11,12,13,14,15,16,17,18/05/2010 25,26,27/06/2010 1,2/07/2010 19,20,21/08/2010; 16,27,28,29,30/09/2011 1,2,3,4,5,12,13,14,21,22/10/2011 13/11/2011 29/02/2012; 24,25/03/2012 10,11,12,17,31/05/2012 1,25,26,27,28/06/2012 26/07/2012; 9,10,11,19,20,21/08/2012 6,7,8,9/09/2012 5/10/2012 14,19/04/2013 9,10/07/2013; 21,22/08/2013 12,13/09/2013 9/03/2014 14,15,16/04/2014 15/05/2014 12/06/2014; 27/09/2014 21/10/2014 10/02/2015 20/03/2015 14/04/2015 12,13/05/2015; 7,8,10,21/06/2015 7/07/2015 9,10,29,30/08/2015 4/10/2015;