



NOVA
NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE
INFORMÁTICA

ANA CAROLINA DE FIGUEIREDO MILROY

Licenciada em Ciência e Engenharia Informática

TENDÊNCIAS E PADRÕES DE LONGO PRAZO NA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Universidade NOVA de Lisboa

Abril, 2025



TENDÊNCIAS E PADRÕES DE LONGO PRAZO NA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL

ANA CAROLINA DE FIGUEIREDO MILROY

Licenciada em Ciência e Engenharia Informática

Orientador: Professor Doutor João Carlos Gomes Moura Pires
Professor Associado, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientador: Professor Doutor Francisco Manuel Freire Ferreira
Professor Associado, Universidade NOVA de Lisboa

Tendências e padrões de longo prazo na qualidade do ar em Portugal

Copyright © Ana Carolina de Figueiredo Milroy, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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

A todos os que me acompanharam neste percurso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus dois orientadores, o Professor João Moura Pires e o Professor Francisco Ferreira, por toda a disponibilidade e o apoio prestado ao longo do desenvolvimento da dissertação. O interesse e a boa disposição constante demonstrados durante o processo de realização do trabalho foram fatores chave para conseguir completar com sucesso esta dissertação.

Gostaria de agradecer também às Professoras Luísa Mendes e Joana Monjardino pelas informações prestadas e pela disponibilidade para apoiar este trabalho.

À minha mãe gostaria de agradecer pelo apoio incondicional, pela paciência infindável, por estar sempre lá para mim quando precisei, por nunca me deixar sozinha nos momentos de maior dificuldade e por ser sempre a minha melhor amiga. Ao meu irmão agradeço pelo constante e contagiante bom humor, que é uma lufada de ar fresco nas alturas difíceis. Ao meu pai agradeço por acreditar desde sempre em mim. Ao meu namorado agradeço o apoio constante que me fez nunca desistir, agradeço-lhe por acreditar sempre nas minhas capacidades, por ser o meu braço-direito na vida e por ter sido uma pessoa tão importante e especial nesta fase da vida.

Agradeço também a todos os meus amigos que, mesmo já fartos das minhas queixas, sempre estiveram lá para as ouvir.

”

«Every word has the power to change the world.»

— **Mahmoud Darwish**, In a speech
(Poet)

RESUMO

A poluição do ar é uma questão premente que afeta não só o meio ambiente, mas também a saúde humana. A exposição a poluentes atmosféricos, tanto a curto como a longo prazo, tem sido associada a uma vasta gama de problemas de saúde e mortes prematuras.

Dada a importância da boa qualidade do ar, vários estudos e plataformas têm-se focado na representação visual de dados, com o objetivo de transmitir informação da qualidade do ar em tempo real. Apesar deste tema ser amplamente explorado, pouca atenção tem sido dada à visualização de dados históricos. Por os dados históricos relativos à qualidade do ar serem vastos, a sua análise, interpretação e comunicação exigem métodos eficazes.

Este trabalho centra-se no desenvolvimento de **ferramentas visuais interativas** que facilitam a exploração de dados históricos da qualidade do ar em Portugal, permitindo a resposta a questões analíticas relevantes. O estudo baseia-se em dados horários de medições de concentrações de poluentes atmosféricos recolhidos ao longo de mais de vinte anos e obtidos através da plataforma QualAr, dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera e registos da ocorrência de poeiras. Do processamento destes dados foi gerado um conjunto de dados adequado às análises.

Para permitir responder de forma eficaz às questões analíticas, foram desenvolvidos quatro *dashboards* que possibilitam a exploração destes dados sob diferentes perspetivas, utilizando diversas agregações e métricas relevantes. A versatilidade das ferramentas desenvolvidas usando uma metodologia própria, permite eficazmente fazer análises variadas e aprofundadas, tornando acessível a análise de grandes volumes de dados. Assim, os *dashboards* não só facilitam a obtenção de conclusões, como também permitem comunicar os resultados de forma clara, mesmo a públicos menos especializados.

Ao fornecer uma análise abrangente da qualidade do ar em Portugal ao longo do tempo, este estudo tem o potencial de contribuir significativamente para a tomada de decisões informadas e a implementação de políticas mais eficazes para combater a poluição do ar e proteger a saúde pública e o meio ambiente.

Palavras-chave: Visualização Interativa de Dados, Qualidade do Ar, Análise de Dados, Meteorologia, Séries Temporais

ABSTRACT

Air pollution is a pressing issue that affects not only the environment but also human health. Exposure to air pollutants, both in the short and long term, has been linked to a wide range of health problems and premature deaths.

Given the importance of good air quality, various studies and platforms have focused on the visual representation of data to convey real-time air quality information. Although this topic has been widely explored, little attention has been given to the visualization of historical data. Since historical air quality data is extensive, its analysis, interpretation, and communication require effective methods.

This study focuses on the development of [interactive visual tools](#) that facilitate the exploration of historical air quality data in Portugal, enabling the investigation of relevant analytical questions. The research is based on hourly measurements of atmospheric pollutant concentrations collected over more than twenty years from the QualAr platform, meteorological data provided by the Portuguese Institute for Sea and Atmosphere, and records of dust occurrences. From the processing of these datasets, a structured dataset suitable for analysis was generated.

To effectively address analytical questions, four dashboards were developed, allowing the exploration of this data according to different perspectives, using various aggregations and relevant metrics. The versatility of the tools, developed through a tailored methodology, enables diverse and in-depth analyses, making the examination of large volumes of data more accessible. As a result, the dashboards not only facilitate the extraction of insights but also allow for clear communication of results, even to less specialized audiences.

By providing a comprehensive analysis of air quality in Portugal over time, this study has the potential to contribute significantly to informed decision-making and the implementation of more effective policies to combat air pollution and protect public health and the environment.

Keywords: Interactive Data Visualization, Air Quality, Data Analysis, Meteorology, Time-series

ÍNDICE

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xv
Siglas	xvi
1 Introdução	1
1.1 Contexto e motivação	1
1.2 Descrição do Problema	2
1.3 Trabalho Realizado e Contributos	3
1.4 Organização do documento	3
2 Poluição Atmosférica e Qualidade do Ar: Conceitos Teóricos	6
2.1 Poluentes Atmosféricos	6
2.2 Impacto da poluição do ar	9
2.2.1 Impacto no ambiente	9
2.2.2 Impacto na saúde	11
2.3 Monitorização da qualidade do ar	13
2.4 Legislação	14
3 Visualização de Dados	17
3.1 Conceitos Base	17
3.2 Representação de Séries Temporais	19
3.3 Visualização de dados temporais	20
3.4 Visualização de dados espaço-temporais	22
4 Trabalho relacionado	26
4.1 QualAR	26
4.2 CO2Now	27
4.3 AirNow	28

4.4	AQICN	30
4.5	European Environmental Agency	31
4.6	Outros trabalhos	34
4.7	Conclusões	36
5	Abordagem	39
5.1	Metodologia Utilizada	39
5.2	Metodologia do desenvolvimento dos <i>Dashboards</i>	41
5.2.1	Definição do Âmbito das Análises	42
5.2.2	Definição dos Temas, Perspetivas e Objetivos	42
6	Caracterização e processamento dos dados	44
6.1	Dados das medições dos poluentes	44
6.2	Dados da ocorrência de poeiras	49
6.3	Dados meteorológicos	50
6.4	Dados das estações de qualidade do ar	52
6.5	Dados geográficos	56
7	Desenvolvimento dos <i>dashboards</i>	58
7.1	Aplicação da Metodologia	58
7.1.1	Âmbito da Análise	58
7.1.2	Questões analíticas	59
7.1.3	Agregações e Métricas	59
7.1.4	Temas de Análise	60
7.1.5	Perspetivas de análise	60
7.1.6	Desenho dos <i>dashboards</i>	61
7.2	Orientações gerais do desenho dos <i>dashboards</i>	62
7.3	<i>Dashboard</i> do AQI	63
7.3.1	Perspetivas de análise	64
7.3.2	Métricas e a sua representação	67
7.3.3	Tooltips e outras interações	69
7.3.4	Navegação	69
7.4	<i>Dashboard</i> dos padrões horários	71
7.4.1	Perspetivas de análise	72
7.4.2	Métricas e sua representação	74
7.4.3	Tooltips e interações	79
7.4.4	Navegação	79
7.5	<i>Dashboard</i> das Poeiras	80
7.5.1	Métricas utilizadas	81
7.5.2	Perspetivas de análise	82
7.5.3	Representação das Métricas	85
7.5.4	Tooltips e Interações	86

7.5.5	Navegação	87
7.6	<i>Dashboard</i> do Impacto da Meteorologia	87
7.6.1	Perspetivas de análise	87
7.6.2	Métricas e sua representação	89
7.6.3	Navegação	91
7.7	Aspetos técnicos de implementação dos <i>dashboards</i> e limitações do Tableau	92
8	Avaliação dos <i>dashboards</i> desenvolvidos	94
8.1	Metodologia de avaliação	94
8.1.1	<i>Dashboard</i> do AQI	96
8.1.2	<i>Dashboard</i> dos padrões horários	99
8.1.3	<i>Dashboard</i> da análise das poeiras	99
8.1.4	<i>Dashboard</i> do impacto da meteorologia	101
8.2	Resultados do <i>Dashboard</i> do AQI	103
8.2.1	Discussão dos resultados	111
8.3	Resultados do <i>Dashboard</i> dos Padrões Horários	113
8.3.1	Discussão dos resultados	119
8.4	Resultados do <i>Dashboard</i> das Poeiras	120
8.4.1	Discussão dos resultados	124
8.5	Resultados do <i>Dashboard</i> do Impacto da Meteorologia	124
8.6	Conclusão	126
9	Conclusão	128
9.1	Discussão	128
9.2	Contribuições	129
9.3	Trabalho Futuro	130
	Bibliografia	132
	Apêndices	
A	Questões Analíticas	139
A.1	Conjunto de questões analíticas guia	139
A.1.1	Monóxido de carbono	139
A.1.2	Óxidos de azoto	139
A.1.3	Partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2.5}$)	140
A.1.4	Ozono	140
A.1.5	Questões aplicáveis a todos os poluentes	140
A.1.6	Questões de acordo com o Decreto-Lei nº 102/2010:	141
A.2	Conjunto de questões analíticas refinado	143

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Método de cálculo do Air Quality Index (AQI) estabelecido pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Adaptado de [13]	15
2.2	Tabela de conversão do valor do AQI nas categorias definidas pela EPA. Adaptado de [13]	15
2.3	Valores guia e limite para a concentração de poluentes definidos pela União Europeia (UE). Retirados de [32] e [82]	16
3.1	Visualização das órbitas planetárias em função do tempo presente num texto de uma escola monástica do século X. Retirado de [15]	18
3.2	Canais visuais ordenados pelo seu nível de eficácia na transmissão de informação. Retirado de [62]	18
3.3	Visualizações apresentadas no site CO2Now [1]	21
3.4	Exemplo de um gráfico <i>Theme River</i> relativo a dados climáticos de 100 anos. Retirado de [61]	21
3.5	Exemplo da construção de um gráfico <i>Horizon graph</i> . Retirado de [47]	22
3.6	Exemplo de um mapa de calor relativo a dados de medições diárias de ozono. Retirado de [14]	22
3.7	Diferentes visualizações incluindo dois gráficos de espiral do mesmo conjunto de dados evidenciando a importância de uma escolha adequada de periodicidade. Retirado de [14]	23
3.8	Exemplos de diferentes tipos de mapas para visualização de dados geográficos	24
3.9	Exemplo de um controlo típico de representações dinâmicas temporais onde se pode avançar e recuar no tempo, selecionar um momento no tempo e alterar a velocidade da mudança dos <i>frames</i> . Retirado de [14]	24
3.10	Exemplo de uma representação <i>Lexis Pencil</i> . Retirado de [61]	25
4.1	Escala utilizada para obter o índice QualAR. Retirado de [18]	27
4.2	Visualização do índice QualAR por zona. Retirado de [18]	27
4.3	Visualizações apresentadas no site CO2Now [1]	28

4.4	Visualização de um dia no passado para os valores de O_3 e de PM das estações de monitorização. Retirado de [2]	29
4.5	Visualização de um dia no passado para os valores de O_3 e de PM das estações de monitorização no modo de contorno das estações. Retirado de [2]	29
4.6	Visualização de um dia atual onde podem ser vistos os valores de O_3 e de PM durante as 24 horas. Retirado de [2]	30
4.7	Visualizações de dados históricos da cidade de Pequim, onde está selecionado o poluente PM_{10} para o ano 2023. Retirado de [71]	31
4.8	Visualizações de dados de concentração média de $PM_{2.5}$ entre 2018 e 2020. Retirado de [23]	32
4.9	Análise de tendências do PM_{10} . Retirado de [23]	33
4.10	<i>Dashboard</i> apresentando os dados de qualidade do ar de Portugal em 2022. Retirado de [3]	34
4.11	<i>Dashboard</i> apresentando os dados de qualidade do ar de Portugal ao longo dos anos. Retirado de [3]	35
4.12	Visualização da matriz de correlação. Retirado de [54]	35
4.13	Visualização dos <i>scatter plots</i> relacionando $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , a velocidade do vento e a temperatura. Retirado de [54]	36
4.14	<i>Heatmaps</i> circulares representando: (a) o AQI de $PM_{2.5}$ médio mensal e (b) o AQI de $PM_{2.5}$ médio diário. Retirado de [54]	36
4.15	Comparação entre capacidades de resposta às questões analíticas dos trabalhos relacionados	38
5.1	Modelo do processo Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM). Retirado de [59]	40
6.1	Resultados da análise de sensibilidade	47
6.2	Esquema do processamento dos dados das medições dos poluentes	49
6.3	[A] Estações de qualidade do ar e todas as estações do IPMA disponíveis. [B] Estações de qualidade do ar e as estações do IPMA selecionadas.	52
6.4	Esquema do processamento dos dados das medições da meteorologia	53
6.5	(a) Todas as estações de qualidade do ar e respetivas distâncias às estações meteorológicas. (b) Estação de qualidade do ar (Burgães-Santo Tirso) e as suas estações mais próximas.	55
6.6	Esquema do processamento dos dados das estações meteorológicas e de qualidade do ar	56
6.7	(a) Mapa com erros nos contornos das regiões resultante da junção dos contornos dos concelhos. (b) Mapa corrigido com os contornos das regiões do país.	57
7.1	Esquema da estrutura usada ao longo do desenho dos <i>dashboards</i>	63
7.2	<i>Dashboard</i> do AQI no âmbito espacial país e perspetiva de análise Geral	64

7.3	Perspetivas de análise disponíveis para cada âmbito espacial	65
7.4	Listagem das opções de visualização disponíveis no <i>dashboard</i> do AQI	66
7.5	Gráficos de linhas que representam o valor médio do AQI na perspetiva geral, de comparar tipos de estação e de comparar regiões, respetivamente	68
7.6	Diagrama de caixas que o valor médio do AQI na perspetiva de comparar estações	69
7.7	Tooltip da estação Lourinhã, no mapa do contexto País Geral	70
7.8	Esquema de navegação do <i>dashboard</i> do AQI	71
7.9	<i>Dashboard</i> da análise dos padrões horários no âmbito espacial "País" e perspetiva "Visão Geral"	72
7.10	Perspetivas de análise disponíveis para cada âmbito espacial	73
7.11	Opções de visualização disponíveis para cada âmbito espacial	74
7.12	Visualização das métricas "percentagem de dias com máximo diário em cada hora" e "média dos valores máximos em cada hora" para o âmbito espacial País e perspetiva: (a) Geral (b) Evolução (c) Sazonalidade	76
7.13	Visualização do valor médio para o âmbito espacial País e perspetiva: (a) Geral (b) Comparar Tipos de Estação (c) Evolução (d) Comparar Tipos de Dias	78
7.14	Visualização dos valores médios das concentrações dos poluentes por hora na perspetiva "Sazonalidade"	79
7.15	Visualização dos valores médios das concentrações dos poluentes por hora na perspetiva "Sazonalidade"	80
7.16	Cabeçalho do <i>dashboard</i> da análise das poeiras	82
7.17	Perspetiva de Evolução - Visão geral do <i>dashboard</i> da análise das poeiras	83
7.18	Perspetiva da Evolução anual - Número e intensidade dos eventos por mês do <i>dashboard</i> da análise das poeiras	83
7.19	Perspetiva da Evolução anual - Número e intensidade dos eventos por mês do <i>dashboard</i> da análise das poeiras	84
7.20	<i>Dashboard</i> da análise das poeiras na perspetiva de Comparar Regiões	84
7.21	<i>Dashboard</i> da análise das poeiras na perspetiva Visão Geral	86
7.22	<i>Dashboard</i> da análise das poeiras na perspetiva Visão Geral com o <i>tooltip</i> selecionado	87
7.23	<i>Dashboard</i> da análise das poeiras na perspetiva de Comparar Regiões com o <i>tooltip</i> da visualização do número de eventos selecionado	88
7.24	<i>Dashboard</i> do impacto da intensidade do vento nas concentrações de NO_2 para o país, por mês, comparando os tipos de estação	90
7.25	<i>Dashboard</i> do impacto da meteorologia na perspetiva de ver uma variável meteorológica para o país	91
7.26	<i>Dashboard</i> do impacto da meteorologia na perspetiva de ver duas variáveis meteorológicas no país	91
8.1	Exemplo da formatação das perguntas no teste do <i>dashboard</i> do AQI	97

8.2	Cobertura das questões relativas ao questionário do <i>dashboard</i> do AQI e número mínimo de ações de cada tipo necessárias para responder corretamente a cada questão do <i>dashboard</i> do AQI	98
8.3	Categorias das ações do <i>dashboard</i> do AQI	99
8.4	Categorias das ações do <i>dashboard</i> dos padrões horários	101
8.5	Cobertura das questões relativas ao questionário do <i>dashboard</i> dos padrões horários e número mínimo de ações de cada tipo necessárias para responder corretamente a cada questão do teste	102
8.6	Categorias das ações do <i>dashboard</i> da análise das poeiras	103
8.7	Cobertura das questões relativas ao questionário do <i>dashboard</i> da análise das poeiras e número mínimo de ações de cada tipo necessárias para responder corretamente a cada questão do teste	104
8.8	Categorias das ações do <i>dashboard</i> do impacto da meteorologia	105
8.9	Caracterização dos participantes no teste do <i>dashboard</i> do AQI de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar	106
8.10	Resultados da correção das respostas ao teste do AQI	107
8.11	Resultados da correção das respostas de cada participante ao teste do AQI	107
8.12	Resultados do tempo necessário para responder a cada questão de acordo com a experiência de cada participante em visualização de dados	108
8.13	Valores médios do número de ações extra realizadas pelos participantes por pergunta e tipo de ação	109
8.14	Caracterização dos participantes no teste do <i>Dashboard</i> dos Padrões Horários de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar	113
8.15	Resultados da correção das respostas ao teste do <i>Dashboard</i> dos Padrões Horários	114
8.16	Resultados do tempo necessário para responder a cada questão de acordo com a experiência de cada participante em visualização de dados	116
8.17	Valores médios do número de ações extra realizadas pelos participantes por pergunta e tipo de ação para o <i>Dashboard</i> dos Padrões Horários	117
8.18	Caracterização dos participantes no teste do <i>dashboard</i> das poeiras de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar	120
8.19	Resultados da correção das respostas ao teste do <i>Dashboard</i> das Poeiras	121
8.20	Resultados da correção das respostas ao teste do <i>Dashboard</i> das Poeiras	123
8.21	Caracterização dos participantes no teste do <i>dashboard</i> do impacto da meteorologia de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar	125
8.22	Resultados da correção das respostas ao teste do <i>Dashboard</i> do Impacto da Meteorologia	126

8.23 Resultados da correção das respostas ao teste do <i>Dashboard</i> do Impacto da Meteorologia por participante	126
--	-----

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Tabela resumo dos efeitos de vários poluentes na saúde e no ambiente	10
2.2	Valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para vários poluentes e respetivos tempos de exposição	13
6.1	Colunas e suas respetivas descrições do ficheiro correspondente às medições das concentrações de poluentes.	46
6.2	Colunas do ficheiro com o cálculo dos valores numéricos e qualitativos do AQI por dia, estação e poluente.	47
6.3	Colunas dos ficheiros com os cálculos dos incumprimentos às regras definidas pela União Europeia	48
6.4	Ficheiro original de granularidade regional das poeiras	50
6.5	Ficheiro original de granularidade de estação das poeiras	51
6.6	Variáveis meteorológicas e suas respectivas descrições.	53
6.7	Atributos e respetivas descrições do ficheiro relativo à informação sobre as estações	54
6.8	Colunas do ficheiro final com informação relativa às estações de qualidade do ar	56
8.1	Questões do teste do <i>dashboard</i> do AQI	97
8.2	Questões do teste do <i>dashboard</i> dos padrões horários	100
8.3	Questões do teste do <i>dashboard</i> da análise das poeiras	101
8.4	Questões do teste do <i>dashboard</i> do impacto da meteorologia	103

SIGLAS

AQI	Air Quality Index (<i>pp. x–xiii, xv, 14, 15, 26, 28, 30, 31, 34, 36, 46, 47, 58, 60, 63–69, 72, 73, 80, 92, 96, 98, 105, 106, 109, 111, 128</i>)
AVC	Acidente Vascular Cerebral (<i>pp. 11, 12</i>)
COV	Compostos Orgânicos Voláteis (<i>p. 8</i>)
CRISP-DM	Cross-Industry Standard Process for Data Mining (<i>pp. xi, 39, 40</i>)
EEA	Agência Europeia do Ambiente (<i>pp. 7, 31, 32</i>)
EPA	U.S. Environmental Protection Agency (<i>pp. x, 14, 15, 26, 28, 30, 34</i>)
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera (<i>pp. 3, 40</i>)
MLO	Mauna Loa Observatory (<i>p. 27</i>)
NOAA	National Atmospheric and Oceanic Administration (<i>p. 27</i>)
OMS	Organização Mundial de Saúde (<i>pp. xv, 11–14, 26, 33</i>)
ppm	partes por milhão (<i>pp. 14, 27</i>)
SIO	Scripps Institution of Oceanography (<i>p. 28</i>)
UE	União Europeia (<i>pp. x, 16, 33, 85</i>)
YLD	Years Lived with Disability (<i>pp. 11, 12</i>)
YLL	Years of Life Lost (<i>p. 11</i>)

INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório, serão abordados temas cruciais para contextualizar o trabalho realizado. Inicialmente, será apresentada uma contextualização e uma discussão das motivações subjacentes ao desenvolvimento deste trabalho. A compreensão do contexto e dos motivos que impulsionam este estudo é essencial para estabelecer a relevância do tema. Em seguida, será feita a descrição do problema a investigar, delineando claramente as questões centrais que direcionam a investigação. Os objetivos propostos serão apresentados, destacando as metas específicas e as contribuições esperadas. Por fim, uma visão abrangente da organização do documento será oferecida, proporcionando uma orientação clara sobre a sequência das seções subsequentes.

1.1 Contexto e motivação

A poluição do ar é um tema de crescente importância global, já que a qualidade do ar é um fator crítico para a saúde humana e para o bem-estar do planeta. A crescente industrialização, urbanização e o aumento do número de veículos em circulação tem contribuído significativamente para a deterioração da qualidade do ar em muitas regiões do mundo [44]. A poluição do ar abrange uma ampla gama de poluentes atmosféricos primários, como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de azoto (NO_x), partículas em suspensão, monóxido de carbono (CO) e secundários, como o ozono atmosférico (O_3). Os poluentes primários são emitidos por fontes industriais, veículos, processos agrícolas, fenômenos naturais, entre outros, e os secundários são formados através de reações entre poluentes ou entre estes e a radiação solar. A exposição a poluentes atmosféricos tem sido associada a múltiplos problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e alguns cânceros [12]. Além das implicações na saúde humana, a poluição do ar impacta negativamente o meio ambiente. A deposição ácida, causada pela emissão de dióxido de enxofre e dióxido de azoto, debilita a vida aquática e terrestre, danifica edifícios e monumentos históricos, e afeta a qualidade do solo. Além disso, a formação de ozono troposférico prejudica as culturas agrícolas e as florestas [40].

Reconhecer e compreender estes impactos negativos é crucial para motivar o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação. A monitorização e análise da qualidade do ar não só desempenham um papel fundamental na promoção da saúde pública, como também oferecem vantagens significativas ao nível do planeamento urbano eficiente [31]. Os dados provenientes desta monitorização são extensos e, conseqüentemente, desafiantes de interpretar sem o auxílio adequado. Neste contexto, a visualização de dados assume um papel essencial, ao permitir a transformação de grandes volumes de informação em representações visuais interativas, facilitando a sua exploração e análise. Esta abordagem não só simplifica a identificação de padrões e tendências na qualidade do ar, como também facilita a comunicação das conclusões obtidas, tornando-as mais acessíveis a diferentes públicos e favorecendo a tomada de decisões informadas.

No que diz respeito a Portugal, a poluição do ar apresenta impactos significativos no meio ambiente, na saúde pública e na qualidade de vida [81]. Portugal ainda se encontra aquém dos objetivos definidos a nível europeu e mundial relativos a limites de emissões [41]. De modo a possibilitar que o país atinja os objetivos e estabeleça medidas eficazes no combate à poluição do ar é necessário entender o fenómeno e os fatores que influenciam a qualidade do ar. É neste sentido que esta proposta de dissertação pretende intervir. Existe um extenso registo de dados relativos a poluentes e as suas concentrações em Portugal ao longo do tempo que permite estudar tendências e padrões de longo prazo e destas retirar conclusões.

1.2 Descrição do Problema

Nos últimos anos, tem-se verificado um interesse crescente pela qualidade do ar, impulsionado pelo reconhecimento do seu impacto significativo na saúde pública e no meio ambiente. No entanto, apesar da existência de diversas iniciativas e plataformas dedicadas à monitorização em tempo real da qualidade do ar, a análise de tendências a longo prazo permanece subexaminada [76]. Em Portugal, embora a plataforma QualAr [24] disponibilize um registo histórico dos dados de qualidade do ar, não existem estudos abrangentes que analisem a evolução destes dados ao longo do tempo, nem investigações detalhadas sobre o impacto de fatores externos nas medições da qualidade do ar.

Outra lacuna detetada é a inexistência de formas ágeis de explorar os dados existentes, de modo a que deles se possam facilmente retirar conclusões e obter respostas a questões sobre a qualidade do ar. Assim, este trabalho surge para disponibilizar um conjunto de ferramentas interativas de visualização de dados — *dashboards* — que permitem uma exploração acessível e eficaz dos dados da qualidade do ar e que estão publicamente disponíveis no [Tableau Public](https://public.tableau.com/app/profile/teste.dashboards/vizzes)¹. Estas ferramentas permitem revelar padrões e tendências através da visualização, proporcionando um meio intuitivo para que especialistas e outras pessoas com interesse na área possam obter respostas às suas questões sobre a qualidade

¹<https://public.tableau.com/app/profile/teste.dashboards/vizzes>

do ar. A apresentação destes dados de forma visual facilita também a comunicação das conclusões retiradas, em particular para um público não especializado.

1.3 Trabalho Realizado e Contributos

O estudo baseia-se num conjunto de dados composto por medições horárias de cinco poluentes atmosféricos, recolhidas por 86 estações de monitorização da qualidade do ar ao longo de mais de vinte anos. Estes dados foram obtidos através da plataforma QualAr [24]. Adicionalmente, foram utilizados dados meteorológicos fornecidos pelo [Instituto Português do Mar e da Atmosfera \(IPMA\)](#) e dados sobre a ocorrência de poeiras provenientes dos desertos africanos. Através da limpeza e tratamento de todos estes dados são gerados conjuntos de dados consistentes e prontos a analisar que, para além de garantirem uma base sólida para o estudo, poderão ainda revelar-se úteis em trabalhos futuros. A existência deste conjunto limpo e organizado de dados constitui uma contribuição significativa deste estudo.

Outro contributo importante deste trabalho foi a definição de uma metodologia própria para o desenvolvimento de *dashboards*. Como definido na metodologia criada, o estudo foi guiado por um conjunto de questões fundamentais, identificadas como relevantes para o objetivo do trabalho, e que auxiliaram na determinação dos principais temas e perspetivas de análise dos dados.

Os temas abordados incluem a evolução do índice de qualidade do ar, um índice diário que caracteriza a qualidade do ar, os padrões horários dos poluentes, o impacto das poeiras provenientes dos desertos africanos e a influência das condições meteorológicas na qualidade do ar. Dentro destes temas, foram estabelecidas diferentes perspetivas de análise, tais como comparações entre estações ou grupos de estações, distinção entre tipos de estações e subdivisões geográficas, bem como a análise da sazonalidade e evolução temporal dos poluentes ao longo de diferentes granularidades temporais (ano, mês, dia, hora). Adicionalmente, foram consideradas segmentações temporais que refletem o comportamento humano, como a distinção entre dias úteis e fins de semana & feriados, e a análise das variações ao longo das 24 horas do dia.

Cada tema abordado corresponde a um *dashboard*. Cada *dashboard*, que oferece uma visão detalhada do assunto em análise, permite não só a exploração fácil e eficaz dos dados disponíveis, mas também uma comunicação clara das conclusões obtidas, tornando a compreensão da informação acessível mesmo a um público menos especializado. Pela sua complexidade e abrangência, o desenvolvimento destes quatro *dashboards* constitui o contributo mais significativo deste trabalho.

1.4 Organização do documento

Nesta secção é descrita a organização do documento de forma a proporcionar uma visão abrangente da sua estrutura.

Primeiramente é introduzido um capítulo onde são abordados conceitos teóricos relativos à poluição atmosférica e qualidade do ar, para uma melhor compreensão do trabalho a desenvolver. Este capítulo delinea as características e fontes emissoras dos principais poluentes atmosféricos (2.1). Em seguida, são abordados os efeitos da poluição do ar, explorando tanto seu impacto ambiental (2.2.1) como os seus efeitos na saúde humana (2.2.2). A monitorização da qualidade do ar (2.3) é discutida de modo a estabelecer de que forma ocorre em Portugal. Por fim, analisa-se a legislação relevante e vigente em Portugal (2.4), identificando regulamentações destinadas a controlar e mitigar a poluição atmosférica.

No capítulo seguinte, são introduzidos conceitos essenciais da visualização analítica de dados, destacando características necessárias para produzir visualizações que transmitam informação de forma clara e eficaz (3.1). Neste capítulo são também exploradas técnicas específicas de visualização de dados temporais (3.3) e de dados espaço-temporais (3.4), relevantes no contexto da análise dos dados de qualidade do ar, dada a sua natureza temporal e espacial.

Posteriormente são explorados e avaliados trabalhos existentes relacionados com a visualização de dados de qualidade do ar. Primeiramente é analisada a plataforma QualAr (4.1), da qual foram obtidos os dados de medição dos poluentes utilizados neste estudo. Nesta secção são identificadas as abordagens existentes na exploração dos dados, bem como as propostas da plataforma para a sua visualização e apresentação ao público. No seguimento desta análise são focados também outros *websites* como o *CO2now* (4.2), o *AirNow* (4.3), o *AQICN* (4.4) e a *European Environmental Agency* (4.5). Para todos estes é feita uma apreciação crítica explorando as visualizações existentes, notando aspetos diferenciadores e identificando potenciais problemas. É também feita uma análise de outros trabalhos (4.6), tendo sempre em consideração a sua relevância para o estudo. O capítulo termina com uma secção (4.7) de conclusões retiradas da análise.

No Capítulo 5.1, é introduzida a metodologia CRISP-DM, que orientou este trabalho, sendo descrito o seu enquadramento e aplicação ao caso em estudo. Adicionalmente, é apresentada a metodologia específica desenvolvida para o desenvolvimento dos *dashboards*.

No capítulo 6, são apresentados e descritos os diversos conjuntos de dados utilizados neste estudo. Cada conjunto é analisado em detalhe, e é descrito o seu processo de obtenção bem como os métodos de processamento e limpeza aplicados para garantir a sua qualidade e integridade.

No capítulo 7, é detalhado todo o processo de desenvolvimento dos *dashboards*. O capítulo inicia-se com a aplicação da metodologia (7.1) apresentada no capítulo 5.1, especificando a sua implementação no contexto deste trabalho. Em seguida, são discutidas orientações gerais para o design dos *dashboards* (7.2), abordando princípios e considerações adotadas durante o seu desenvolvimento. Por fim, são apresentados os *dashboards* desenvolvidos, descrevendo em detalhe os seus objetivos, as análises que permitem realizar e as funcionalidades disponibilizadas.

No capítulo 8, são descritos os testes realizados aos *dashboards* desenvolvidos, com o

objetivo de avaliar a sua usabilidade e adequação. O capítulo inicia-se com a descrição da metodologia adotada para a realização dos testes, detalhando tanto a abordagem geral como aspetos específicos aplicados à avaliação de cada *dashboard*. De seguida são apresentados os resultados de cada *dashboard* acompanhados de uma análise crítica.

Por fim, no Capítulo 9, são feitas as considerações finais destacando os contributos do trabalho e é discutido o trabalho futuro.

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E QUALIDADE DO AR: CONCEITOS TEÓRICOS

Neste capítulo será apresentada a contextualização teórica de conceitos relativos à qualidade do ar, começando por uma apresentação de vários poluentes atmosféricos que a influenciam, delineando as suas características e destacando as suas principais fontes emissoras. Seguidamente, será analisado o impacto destes poluentes no ambiente, bem como a forma como afetam a saúde humana a curto e a longo prazo. Adicionalmente serão explicitados os métodos utilizados na monitorização da qualidade do ar, bem como a legislação específica e aplicável em Portugal.

2.1 Poluentes Atmosféricos

A poluição atmosférica resulta da presença de substâncias químicas ou de partículas poluentes, presentes no ar, que provocam efeitos nocivos no ambiente, na saúde humana, e no clima. Os poluentes atmosféricos podem ser caracterizados de acordo com a sua origem em primários e/ou secundários. Um poluente é considerado primário se for emitido diretamente para a atmosfera, tanto por fontes antropogénicas, como sejam processos industriais e emissões de transportes, como por fontes naturais como incêndios e erupções vulcânicas. Alternativamente, um poluente é secundário se for formado através de reações entre outros poluentes primários e/ou secundários, muitas das vezes com um papel determinante da radiação solar.

A relação entre a emissão de poluentes para a atmosfera e a qualidade do ar num determinado local é complexa e influenciada por vários fatores [44]. Os poluentes, após emitidos por diferentes fontes, são sujeitos a múltiplos processos de transformação química e a dispersão na atmosfera. Fatores meteorológicos como o vento, a temperatura e a humidade influenciam a propagação e a concentração dos poluentes. Em alguns casos, estes fatores podem contribuir para a dissipação dos poluentes, reduzindo a sua concentração e impacto na qualidade do ar local. No entanto, em condições atmosféricas específicas, os poluentes podem ser retidos e acumular-se, levando a níveis mais elevados

de poluição do ar. A título de exemplo, num estudo comparativo da qualidade do ar entre uma rua em Milão e uma em Copenhaga, chegou-se à conclusão de que, apesar da rua em Milão apresentar um volume de tráfego inferior, e conseqüentemente um valor mais baixo de emissões, a qualidade do ar aí era significativamente pior. Verificou-se que tal se ficou a dever às condições meteorológicas específicas de cada localidade. Em particular, destacou-se a velocidade do vento, consideravelmente superior em Copenhaga, como o fator com maior influência na discrepância verificada[84]. Assim sendo, a compreensão das tendências e padrões da qualidade do ar requer uma análise cuidada e abrangente, que é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de gestão da qualidade do ar e para proteger a saúde humana e o ambiente.

De entre os principais poluentes atmosféricos, destacam-se os que de seguinte se apresentam.

Óxidos de Azoto (NO_x) Os óxidos de azoto (NO_x) constituem uma família de gases altamente reativos que contêm átomos de azoto e oxigénio. Entre os NO_x mais prevalentes encontram-se o monóxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO_2). Esta classe de poluentes é predominantemente originada nos processos de combustão que envolvem azoto e oxigénio, destacando-se, por exemplo, nas emissões pelos motores de veículos, centrais elétricas e instalações industriais. No contexto das emissões no transporte rodoviário, estas manifestam-se predominantemente sob a forma de NO , o qual, ao reagir com o O_2 ou O_3 presentes no ar, origina NO_2 . O NO_2 tal como alguns outros NO_x podem também reagir com outros compostos químicos na atmosfera para produzir partículas em suspensão e ozono [27].

No mais recente relatório da [Agência Europeia do Ambiente \(EEA\)](#) [41] é afirmado que no que concerne à contribuição setorial para as emissões de NO_x na União Europeia, o transporte rodoviário é responsável por 41%, seguido pelo setor da distribuição de energia com 17%. Tanto o setor da manufatura e extração como o residencial, comercial e institucional apresentam uma contribuição de 12% para as emissões totais.

Dióxido de enxofre (SO_2) O SO_2 é um composto químico constituído por um átomo de enxofre e dois átomos de oxigénio. Trata-se de um gás incolor, caracterizado por um odor pungente e irritante. A sua produção ocorre primariamente na combustão de combustíveis fósseis que contêm enxofre, tais como carvão e petróleo, e alguns processos industriais. Outras fontes menos proeminentes incluem erupções vulcânicas, navios e locomotivas a gásóleo[10]. De acordo com [41] o sector da energia é responsável por 65% das emissões de SO_2 , com a indústria da manufatura e extração a emitir 21%.

Monóxido de carbono (CO) O CO é um gás incolor, inodoro e insípido, composto por um átomo de carbono e um átomo de oxigénio. A sua formação ocorre predominantemente através da combustão incompleta de combustíveis ricos em carbono, como madeira,

gasolina, gás natural e óleo [27]. Além das fontes antropogénicas, é importante salientar que existem também fontes naturais de CO , como os incêndios florestais.

Embora o CO assuma maior importância na qualidade do ar interior e na influência que pode ter na saúde humana, é relevante notar que este pode contribuir para a poluição atmosférica numa escala mais alargada, sobretudo em zonas urbanas com elevado tráfego automóvel. O CO , apesar da sua reduzida reatividade, pode conduzir à formação de O_3 troposférico. Os principais sectores que contribuem para as emissões de CO são o residencial, comercial e institucional, responsáveis por 48% das emissões, e o sector do transporte rodoviário, responsável por 24% das emissões [41].

Ozono (O_3) O O_3 é uma molécula composta por três átomos de oxigénio que ocorre naturalmente na atmosfera da terra, particularmente na estratosfera, onde forma a chamada "camada de ozono" que desempenha um papel crucial na filtragem da radiação ultravioleta do Sol. Embora ofereça este benefício para a vida na Terra, o ozono ao nível do solo é prejudicial [7]. Este O_3 é considerado um poluente secundário já que é formado através de complexas reações fotoquímicas entre NO_x , CO e **Compostos Orgânicos Voláteis (COV)**, com intervenção da radiação solar. Uma vez que a formação do ozono é facilitada pela radiação solar, por altas temperaturas e por vento fraco, as suas concentrações são tipicamente mais elevadas no verão e em dias quentes. Apesar dos poluentes primários na base da formação do O_3 serem emitidos em grande parte pelo tráfego rodoviário que é mais prevalente nos centros urbanos, as maiores concentrações deste poluente são encontradas nas periferias das cidades. Isto deve-se a dois fatores. Primeiramente, o O_3 é facilmente transportado por massas de ar ao longo de grandes distâncias. Adicionalmente, o NO emitido pelos veículos reage com o O_3 formando NO_2 e O_2 , conseqüentemente, baixando as concentrações de O_3 nas zonas urbanas. As reações de formação e destruição do O_3 levam a que, em ambiente urbano, as concentrações deste poluente possam ter picos notórios, já que a produção de ozono é forte durante o dia e a sua destruição rápida durante a noite. Em ambientes rurais, dadas concentrações muito inferiores de NO , a destruição do O_3 é bastante lenta, levando a uma tendência de valores mais elevados de O_3 [27].

Partículas em suspensão ($PM_{2.5}$, PM_{10}) As partículas em suspensão são pequenos fragmentos de líquidos ou sólidos suspensos no ar, formados por uma enorme multiplicidade de compostos químicos que podem afetar gravemente a saúde. Este tipo de poluente é categorizado com base no tamanho das partículas; as partículas com tamanho inferior a 10 micrómetros são denominadas de PM_{10} , ou partículas respiráveis ou inaláveis, enquanto as com tamanho inferior a 2,5 micrómetros, consideradas finas, são as $PM_{2.5}$ [27]. A origem das partículas em suspensão pode ser natural ou antropogénica. Partículas de origem natural incluem poeira do solo, pólen, esporos de fungos e partículas resultantes de processos naturais. No entanto, muitas partículas em suspensão são geradas por atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, emissões industriais, tráfego veicular e

práticas agrícolas [27]. Estas partículas também podem ser consideradas poluentes secundários uma vez que são frequentemente geradas através de complexas reações entre outros poluentes, como o SO_2 e NO_x [9]. Na Europa, a principal fonte emissora de partículas em suspensão é o consumo de energia em contexto residencial, comercial e institucional, responsáveis por 61% destas emissões [41].

2.2 Impacto da poluição do ar

A poluição do ar tem vários efeitos perversos quer na saúde humana quer no ambiente. Segue-se uma descrição detalhada dos efeitos de cada poluente na saúde humana e no ambiente. Um resumo destes efeitos pode ser encontrado na Tabela 2.1.

2.2.1 Impacto no ambiente

A poluição atmosférica tem impactos negativos tanto nos ecossistemas terrestres como nos aquáticos, degradando ambientes e reduzindo a biodiversidade. O O_3 ao nível do solo pode provocar efeitos negativos na vegetação, prejudicando culturas agrícolas, florestas e plantas. O O_3 penetra nas folhas das plantas reduzindo a capacidade de fotossíntese, abrandando o crescimento da planta e aumentando a sua vulnerabilidade a pragas e doenças. Ao nível do ecossistema, valores elevados de O_3 ao nível do solo podem conduzir à perda de diversidade de espécies e provocar alterações na estrutura do ecossistema e na qualidade do habitat. Na agricultura, o ozono diminui os rendimentos das colheitas e o crescimento de florestas [40].

Poluentes atmosféricos como o NO_x e o Amoníaco NH_3 depositam-se na superfície da Terra e em corpos de água, resultando na introdução de quantidades excessivas de azoto no ecossistema. Em corpos de água, isto contribui para a eutrofização, um fenómeno onde nutrientes em excesso promovem a proliferação de algas e reduzem a disponibilidade de oxigénio. Em ecossistemas terrestres sensíveis, como prados, a ultrapassagem das cargas críticas para a deposição de azoto pode levar à perda de espécies, ao aumento excessivo do crescimento de espécies que beneficiam de níveis elevados de azoto e a alterações na estrutura do ecossistema [6].

Adicionalmente, a deposição de SO_2 , NO_x , NH_3 e PM leva a alterações na composição química dos solos, lagos, rios e águas marinhas, baixando o pH destes através de um processo conhecido como acidificação, que perturba os ecossistemas e resulta na perda de biodiversidade [10]. A acidificação pode ocorrer através da dissolução destes poluentes na chuva, nevoeiro ou granizo, um fenómeno também conhecido como chuva ácida. As partículas e gases ácidos podem também depositar-se em superfícies como corpos de água, vegetação e edifícios [11]. À medida que as emissões de SO_2 foram diminuindo significativamente ao longo das últimas décadas, a contribuição relativa de NH_3 e NO_x para a acidificação de águas superficiais e do solo tornou-se mais significativa [77].

CAPÍTULO 2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E QUALIDADE DO AR: CONCEITOS TEÓRICOS

Poluente	Efeitos na saúde	Efeitos no ambiente
<i>PMs</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ataque Cardíaco • Arritmia • Irritação da Garganta • Tosse • Dificuldades Respiratórias • Cancro do Pulmão • Cardiopatia isquémica • Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica • Diabetes Tipo 2 • Acidente Vascular Cerebral 	<ul style="list-style-type: none"> • Acidificação • Alteração do equilíbrio de nutrientes em meios aquáticos • Consumo de nutrientes do solo • Danificação de florestas e culturas agrícolas
<i>O₃</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da função pulmonar • Inflamação das vias respiratórias • Irritação nos olhos, nariz e garganta • Infecções respiratórias • Agravamento de doenças respiratórias crónicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de biodiversidade • Diminuição de rendimentos na agricultura • Diminuição do crescimento de florestas • Redução da capacidade de fotossíntese das plantas
<i>NO₂</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Irritação das vias respiratórias • Asma • Diabetes tipo 2 • Agravamento de doenças respiratórias crónicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrofização • Acidificação • Perda de biodiversidade
<i>SO₂</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldades respiratórias • Agravamento de doenças respiratórias crónicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrofização • Acidificação • Perda de biodiversidade
<i>CO</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do oxigénio no sangue • Náuseas • Vômito • Tonturas • Coma • Morte 	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuição para o efeito de estufa

Tabela 2.1: Tabela resumo dos efeitos de vários poluentes na saúde e no ambiente

As *PM* são facilmente transportadas pelo vento e podem depositar-se no solo consumindo nutrientes importantes ou em corpos de água, afetando o equilíbrio de nutrientes. A sua deposição pode afetar também florestas e culturas agrícolas sensíveis [9].

2.2.2 Impacto na saúde

No contexto da análise do impacto da poluição do ar na saúde podemos ter em consideração duas unidades de medida, a mortalidade, representada em número de mortes prematuras ou em **Years of Life Lost (YLL)**, que representa os potenciais anos de vida perdidos, e a morbidez, expressa em **Years Lived with Disability (YLD)**, que representa o número de anos de vida saudável perdidos por deficiência. Com o objetivo de diminuir tanto a mortalidade como a morbidez causada pela prejudicial qualidade do ar, a **OMS** define recomendações para os valores de concentrações de poluentes no ar cuja ultrapassagem constitui riscos mais significativos para a saúde [66]. Desta forma, nesta secção, serão discutidos impactos concretos da qualidade do ar na saúde, assim como os limites previamente mencionados para vários poluentes.

Partículas em Suspensão ($PM_{2.5}$, PM_{10}) A exposição a *PM*, em particular $PM_{2.5}$ e PM_{10} , representa riscos para a saúde, tendo sido verificada uma clara relação entre a exposição a estes poluentes e o desenvolvimento de doenças cardiovasculares, pulmonares, ataques cardíacos, arritmias, irritação da garganta, tosse, dificuldades respiratórias e cancro do pulmão [30] [9]. Apenas na Europa em 2020, cerca de 238 000 mortes prematuras bem como 175 702 **YLD** por doença pulmonar obstrutiva crónica foram associadas à exposição crónica a $PM_{2.5}$ [42]. Em 2021, a cardiopatia isquémica foi identificada como a consequência mais prevalente da exposição a $PM_{2.5}$ na União Europeia, sendo que a sua maior expressão é em **YLL**. Também o cancro do pulmão, associado à exposição a estas partículas, regista um elevado nível de mortalidade. Doenças como **Acidente Vascular Cerebral (AVC)**, *Diabetes mellitus*, doença pulmonar obstrutiva crónica são também associadas a exposição prolongada a $PM_{2.5}$ [12]. Dado que este poluente provoca efeitos negativos na saúde a longo prazo, a recomendação da **OMS** é expressa a nível anual, referindo que o valor de $PM_{2.5}$ não deve ultrapassar os $5\mu g/m^3$ e que o valor de PM_{10} não deve ultrapassar os $15\mu g/m^3$ [66]. Sendo que as PM_{10} são frequentemente constituídas em parte por $PM_{2.5}$ e que o valor de PM_{10} é menos restritivo, existindo ambas as medições deve ser dada prioridade ao cumprimento do limite de $PM_{2.5}$. Em Portugal, em 2021, a exposição a concentrações de $PM_{2.5}$ acima do limite resultou em 2 100 mortes e em 20 700 **YLL**, o que corresponde a um valor de 211 **YLL** por cada 100 000 habitantes [12].

Ozono troposférico (O_3) A exposição a ozono troposférico causa danos nas vias respiratórias, levando a efeitos adversos à saúde, como a redução da função pulmonar e a inflamação das vias respiratórias. Este gás é perigoso para as mucosas oculares e respiratórias, causando também irritação nos olhos, nariz e garganta e tosse, podendo ainda

levar a dores de cabeça [27]. A sensibilidade individual a este poluente varia bastante, porém tem sido verificado que jovens e pessoas com um índice de massa corporal (IMC) elevado experienciam mais frequentemente problemas na função pulmonar. Pessoas com doenças respiratórias crônicas, como asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), são particularmente suscetíveis aos efeitos do ozono. Isto pode resultar na exacerbação de sua condição, aumentando a probabilidade de ataques de asma e hospitalizações. Adicionalmente, a exposição recorrente a ozono pode estar relacionada com o desenvolvimento de novos casos de asma e com o desenvolvimento anormal do sistema respiratório em crianças [7]. Na União Europeia, em 2019, foram identificadas 12253 infecções respiratórias causadas por este poluente. Também associadas à exposição aguda ao ozono foram determinadas 24 000 mortes prematuras em 2020 [42].

Devido às especificidades da formação do ozono, a OMS define recomendações para o período de maior intensidade de concentração de ozono. Este período é definido como os seis meses seguidos do ano com a maior média móvel de seis meses e a recomendação definida é de $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ para uma média de oito horas. Para o restante ano, a recomendação é que a concentração de O_3 não ultrapasse $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ numa média de oito horas [66].

Dióxido de Azoto (NO_2) A exposição a este poluente tem efeitos prejudiciais tanto a curto como a longo prazo. A curto prazo, a exposição irrita as vias respiratórias, podendo agravar condições pré-existentes como a asma [6], potencialmente resultando em hospitalizações [87]. A longo prazo, esta exposição está associada a um aumento da suscetibilidade a doenças respiratórias, bem como ao desenvolvimento de condições crônicas como asma [6] e diabetes tipo 2 [12]. Na União Europeia, em 2020, a morbidez de diabetes tipo 2 causado por exposição a NO_2 estima-se em 175 070 YLD. Adicionalmente, durante o mesmo período, foram registadas 49 000 mortes prematuras associadas à exposição crônica a NO_2 . Esta exposição prolongada também contribuiu para 18 227 mortes por diabetes tipo 2, 17 937 por AVC e 788 por asma em 2021. De forma a minimizar os efeitos nocivos do NO_2 , a OMS definiu limites de concentração do poluente tanto a curto (24 horas), como longo prazo (um ano). De acordo com estas recomendações, o valor diário não deve exceder $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que o valor anual não deve ultrapassar $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ [66].

Dióxido de Enxofre (SO_2) A exposição a este poluente pode causar dificuldades respiratórias [10], exacerbar sintomas de asma e levar a hospitalizações [87]. Sendo que a exposição a curto prazo provoca efeitos negativos na saúde, é relevante determinar limites de curto prazo deste poluente. A OMS determina que o limite diário deste poluente não deve ultrapassar os $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ e define ainda um limite de dez minutos de $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ [66].

Monóxido de Carbono (CO) A exposição a este poluente acarreta consequências a curto prazo, causando uma redução do nível de oxigénio no sangue, o que leva a que órgãos críticos como o coração e o cérebro não recebam oxigénio suficiente para o seu correto funcionamento [5]. Isto torna-se particularmente perigoso para indivíduos com problemas

Poluente	Tempo de medição	Valor recomendado pela OMS
$PM_{2.5}, \mu g/m^3$	Anual	5
	24 Horas	15
$PM_{10}, \mu g/m^3$	Anual	15
	24 Horas	45
$O_3, \mu g/m^3$	Peak	60
	8 Horas	100
$NO_2, \mu g/m^3$	Anual	10
	24 Horas	25
	1 Hora	200
$SO_2, \mu g/m^3$	24 Horas	40
	10 Minutos	500
$CO, mg/m^3$	24 Horas	4
	8 Horas	10
	1 Hora	35
	15 Minutos	100

Tabela 2.2: Valores recomendados pela OMS para vários poluentes e respectivos tempos de exposição

cardiovasculares ou durante o exercício físico. Embora valores muito elevados de CO não ocorram muito frequentemente no exterior, estes podem causar tonturas, confusão, náusea, vômitos e podem ainda levar a coma ou morte [27] [5]. Devido às graves consequências da exposição ao CO , a OMS define recomendações para 15 minutos, 1 hora, 8 horas e 24 horas, com valores $100mg/m^3$, $35mg/m^3$, $10mg/m^3$ e $4mg/m^3$, respetivamente.

2.3 Monitorização da qualidade do ar

A monitorização da qualidade do ar a nível nacional é feita através de estações de medição que se posicionam em localizações estratégicas e específicas, podendo ser caracterizadas pelo seu tipo e pelo tipo de área onde estão inseridas. O tipo de estação subdivide-se em estações de tráfego, de fundo e industriais, enquanto o tipo de área pode ser classificada como Urbana, suburbana e rural [20].

As **estações de tráfego** estão posicionadas na proximidade de vias onde o tráfego automóvel é intenso, de modo a possibilitar a monitorização das concentrações de poluentes resultantes desta fonte.

As **estações industriais** estão localizadas em zonas de atividade industrial, com o objetivo de monitorizar as concentrações de poluentes resultantes destas fontes.

As **estações de fundo**, contrariamente às estações de tráfego e industriais, são posicionadas longe de fontes de poluição, de modo a permitir a monitorização da qualidade do ar média à qual um qualquer cidadão está sujeito.

As **estações urbanas**, como o nome indica, estão localizadas em ambientes urbanos, enquanto as **estações suburbanas** se localizam nas periferias da cidade e as **estações rurais** em ambientes rurais.

As medições dos poluentes são tipicamente representadas em unidades de massa por volume, comumente em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3 , ou em **partes por milhão (ppm)**, porém, por vezes podem ser expressas em forma de índice, um **AQI**. Um índice muito utilizado é o definido pela **EPA**, que categoriza os níveis de poluentes em seis categorias, fazendo-os corresponder a uma cor distinta. Esta categorização é feita seguindo um conjunto de passos. Primeiramente é necessário truncar os valores medidos da seguinte forma:

- O_3 (ppm) – truncar para 3 casas decimais
- $\text{PM}_{2.5}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – truncar para 1 casa decimal
- PM_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – truncar para número inteiro
- CO (ppm) – truncar para 1 casa decimal
- SO_2 (ppb) – truncar para número inteiro
- NO_2 (ppb) – truncar para número inteiro

Após alterar os valores para a forma correta, é necessário aplicar a fórmula apresentada em 2 na Figura 2.1, identificando os valores correspondentes na tabela 3 da mesma figura. O valor resultante deste cálculo é o **AQI** do poluente em consideração. Para obter o valor do **AQI** geral, ou seja, não específico a um só poluente, é considerado o maior valor calculado de todos os poluentes disponíveis. Para estabelecer a relação entre o valor do **AQI** e as categorias é utilizada a tabela representada na Figura 2.2.

2.4 Legislação

Em outubro de 2022, a Comissão Europeia publicou uma proposta para a revisão da Diretiva da Qualidade do Ar Ambiente 2008/50/CE [66]. Em outubro de 2024 foi publicada a Diretiva 2024/2881 [43], que visa estabelecer objetivos e limites mais rigorosos para qualidade do ar, alinhados de forma mais próxima com os novos padrões definidos pela Organização Mundial da Saúde, previamente mencionados [66]. Os valores definidos nesta diretiva são menos restritivos que os definidos pela **OMS** e podem ser encontrados na Figura 2.3. No âmbito da monitorização da qualidade do ar, propõe-se reforçar as regras para apoiar ações preventivas e medidas específicas. São também definidos requisitos para aprimorar a modelação da qualidade do ar, especialmente em áreas onde a qualidade do ar é deficiente. A proposta inclui, igualmente, melhorias na divulgação de informações

1	2							
<p>Where I_p = the index for pollutant p C_p = the truncated concentration of pollutant p BP_{Hi} = the concentration breakpoint that is greater than or equal to C_p BP_{Lo} = the concentration breakpoint that is less than or equal to C_p I_{Hi} = the AQI value corresponding to BP_{Hi} I_{Lo} = the AQI value corresponding to BP_{Lo}</p>	$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$							
3								
These Breakpoints...							...equal this AQI	...and this category
O ₃ (ppm) 8-hour	O ₃ (ppm) 1-hour ¹	PM _{2.5} (µg/m ³) 24-hour	PM ₁₀ (µg/m ³) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO ₂ (ppb) 1-hour	NO ₂ (ppb) 1-hour	AQI	
0.000 - 0.054	-	0.0 - 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Good
0.055 - 0.070	-	12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Moderate
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) ³	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) ⁴	361 - 649	151 - 200	Unhealthy
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	(150.5 - 250.4) ³	355 - 424	15.5 - 30.4	(305 - 604) ⁴	650 - 1249	201 - 300	Very unhealthy
(²)	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) ³	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) ⁴	1250 - 1649	301 - 400	Hazardous
(²)	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) ³	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) ⁴	1650 - 2049	401 - 500	Hazardous

Figura 2.1: Método de cálculo do AQI estabelecido pela EPA. Adaptado de [13]







For this AQI...	use this descriptor...	and this color
0 to 50	Good	Green 
51 to 100	Moderate	Yellow 
101 to 150	Unhealthy for Sensitive Groups	Orange 
151 to 200	Unhealthy	Red 
201 to 300	Very Unhealthy	Purple 
301 to 500	Hazardous	Maroon 

Figura 2.2: Tabela de conversão do valor do AQI nas categorias definidas pela EPA. Adaptado de [13]

públicas relacionadas com a qualidade do ar. Este conjunto de medidas visa, assim, promover uma gestão mais eficaz da qualidade do ar na União Europeia, valorizando e reforçando a importância e a necessidade de boas visualizações de dados para a boa compreensão do complexo problema que é a poluição do ar.

Um aspeto concomitante com a melhoria da qualidade do ar é a redução de emissões atmosféricas. De acordo com o relatório de redução de emissões de 2023 da Agência Europeia do Ambiente [41], Portugal cumpre os limites definidos pela Diretiva relativa aos denominados Tetos Nacionais de Emissão [36] até 2029 de emissões dos poluentes NO_x , $PM_{2.5}$ e SO_2 , mas não de NH_3 , uma vez que ainda será necessário reduzir as emissões

CAPÍTULO 2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E QUALIDADE DO AR: CONCEITOS TEÓRICOS

deste poluente em 6,5%, de modo a atingir o objetivo definido. Relativamente aos objetivos definidos para 2030, Portugal encontra-se aquém nos valores de NH₃, que necessitam de uma redução de 14,5%, nos valores de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), que necessitam de uma redução de 21,6%, nos de NO_x, que necessitam de uma redução de 18,7% e nos valores de PM_{2.5} que, ainda necessitam de uma redução de 40,2%.

Poluente	Tempo de medição	Diretiva 2008/50/EC			Diretiva 2024/2881		
		Concentração	Número de Excedências permitidas por Ano	Natureza Legal	Concentração	Número de Excedências permitidas por Ano	Natureza Legal
PM _{2.5}	Média de 1 ano	25 µg/m ³	Não aplicável	Valor guia a ser cumprido até 1.1.2010 Valor limite a ser cumprido até 1.1.2015	10 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
		20 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite de 2ª fase a ser cumprido até 1.1.2020			
	Média de 1 dia	-	-	-	25 µg/m ³	18	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
SO ₂	Média de 1 hora	350 µg/m ³	24	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2005	350 µg/m ³	3	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
	Média de 24 horas	125 µg/m ³	3	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2005	50 µg/m ³	18	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
	Média de 1 ano	-	-	-	20 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
NO ₂	Média de 1 hora	200 µg/m ³	18	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2010	200 µg/m ³	3	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
	Média de 24 horas	-	-	-	50 µg/m ³	18	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
	Média de 1 ano	40 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2010	20 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
PM ₁₀	Média de 24 horas	50 µg/m ³	35	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2005	45 µg/m ³	18	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
	Média de 1 ano	40 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2005	20 µg/m ³	Não aplicável	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030
O ₃	Máxima diária de 8 horas	120 µg/m ³	25 dias em média em 3 anos	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2010	120 µg/m ³	18 dias em média em 3 anos	Valor guia a ser cumprido até 1.1.2030
	Máxima diária de 8 horas num ano	-	-	-	100 µg/m ³	3	Valor objetivo a ser atingido até 1.1.2050
CO	Máxima diária de 8 horas	10 mg/m ³	Não definido	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2005	10 mg/m ³	Não definido	Valor limite a ser cumprido até 1.1.2030

Figura 2.3: Valores guia e limite para a concentração de poluentes definidos pela UE. Retirados de [32] e [82]

VISUALIZAÇÃO DE DADOS

Os dados de monitorização da qualidade do ar podem ser descritos, na sua maioria, como observações de séries temporais multivariadas obtidas de estações de monitorização em locais definidos [56]. É por isso essencial compreender os vários métodos para a visualização de dados temporais, espaciais e espaço-temporais. Neste capítulo serão apresentados, primeiramente, conceitos base da visualização de dados relevantes para a compreensão do trabalho realizado. De seguida serão apresentados exemplos de visualizações de dados temporais, espaciais e espaço-temporais que servirão de orientação aquando do desenvolvimento de visualizações neste estudo.

3.1 Conceitos Base

A representação visual de dados é uma prática com uma longa história no que diz respeito à análise e comunicação de informações ao longo dos séculos [29]. De entre os vários exemplos documentados, destaca-se a representação das órbitas planetárias em função do tempo, registadas numa escola monástica já no século X (figura 3.1), ou o conhecido mapa criado por Charles Joseph Minard em 1869, representando a Campanha da Rússia durante as guerras napoleónicas [15]. As representações deste tipo são elaboradas de forma lenta e apresentam limitações no volume e tipos de dados que são capazes de representar. Com a evolução da computação, desenvolveram-se ferramentas que possibilitam que a visualização de dados seja mais poderosa e expressiva no que toca a grandes quantidade de dados ou a conjuntos de dados em constante mudança e atualização [62].

A visualização de dados objetiva fundamentalmente a compreensão dos dados pelo utilizador, de forma a que este possa tomar decisões de forma sustentada. Quando comparada à aplicação de modelos estatísticos, que muitas vezes perdem informação em nome da sumarização, a visualização destaca-se na deteção de padrões e tendências, uma vez que apresenta informação de forma mais detalhada [62].

A essência da visualização de dados reside na representação gráfica de dados, mapeando-os para variáveis visuais. O utilizador, por meio da interação, pode responder a questões específicas e compreender os dados de forma mais profunda. Tamara Munzner,

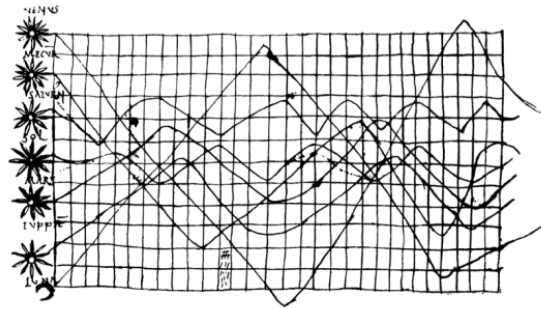


Figura 3.1: Visualização das órbitas planetárias em função do tempo presente num texto de uma escola monástica do século X. Retirado de [15]

uma referência na área, introduz o conceito de marcas e canais. Segundo sua proposição [62], as marcas são representações primitivas geométricas, tais como pontos, linhas e áreas, que simbolizam elementos, enquanto que os canais controlam a aparência dessas marcas, determinando características como posição, cor, forma, inclinação e tamanho. A quantidade e o tipo de informação que cada canal pode eficazmente transmitir varia de acordo com a capacidade perceptual humana. Para atributos ordenados, nos quais é possível estabelecer uma ordem natural e compará-los entre si, canais como a posição e o tamanho são particularmente eficazes. Já para atributos categóricos, que não possuem uma ordem intrínseca e podem apenas ser agrupados, destacam-se como canais mais eficazes a região espacial e a cor. Na figura 3.2, são apresentados os diversos canais, categorizados de acordo com o tipo de atributo, e ordenados de acordo com sua eficácia na transmissão de informação.

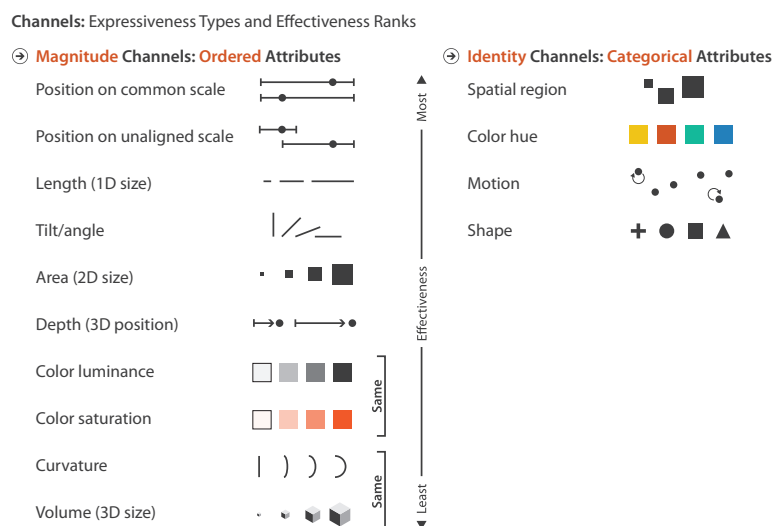


Figura 3.2: Canais visuais ordenados pelo seu nível de eficácia na transmissão de informação. Retirado de [62]

A análise de dados para a sua compreensão não deve ser estática [21], uma vez que a exploração de dados complexos não é compatível com uma única perspectiva sobre os

mesmos. Uma visualização estática apresenta diversas limitações na representação de dados volumosos e complexos, tanto em termos de percepção humana, como em termos de apresentação (*display*).

Numa visualização estática, apenas é possível observar uma perspectiva sobre dados. Com uma visualização interativa, é possível personalizar a perspectiva de acordo com os objetivos, suportando a análise em diversos níveis de detalhe, desde uma perspectiva global até a uma perspectiva detalhada sobre um aspeto específico. Isto permite que os dados sejam visualizados e sumarizados de formas distintas, adequadas a diferentes situações de acordo com as necessidades e interesses do utilizadores [62]. Para isto podem ser utilizadas várias técnicas, nomeadamente o *highlighting* que destaca aspetos selecionados. A aplicação desta técnica a várias visualizações relacionadas e com marcas análogas permite conectá-las proporcionando múltiplas perspectivas sobre os mesmos dados simultaneamente. A alteração (aumento ou redução) do número de itens ou atributos a visualizar é também uma forma de interação importante [22]. Isto pode ser feito através de filtragem, que controla a quantidade de informação apresentada, ou através de agregação, que a sumariza. Manipular a visualização para esta se enquadrar com os objetivos pode passar também pela alteração da ordem de apresentação dos dados, assim como a mudança do foco da visualização, por exemplo, através do *zoom* [62].

3.2 Representação de Séries Temporais

No tratamento de dados de séries temporais é fundamental ter em consideração alguns elementos básicos da sua análise. Uma abordagem comum na análise de séries temporais é considerar o tempo de forma linear, o que significa que as observações são organizadas em ordem cronológica. Isto permite identificar tendências e padrões ao longo do tempo, nomeadamente variações regulares e momentos de inversão de tendências. No entanto, é possível também considerar o tempo como cíclico, o que permite mais facilmente identificar padrões de sazonalidade com diferentes periodicidades[67] [74].

Além disto, a agregação de dados temporais pode ser útil para simplificar a análise e identificar padrões de longo prazo. Por exemplo, é comum agrupar dados em intervalos de tempo maiores, como semanas ou meses, utilizando médias ou outras operações estatísticas, para suavizar flutuações de curto prazo e destacar tendências de longo prazo. No entanto, esta agregação pode resultar na perda de informações importantes[65]. Para mitigar esse problema, é comum utilizar bandas, como valores máximos, mínimos ou percentis, para representar a variabilidade dos dados dentro de cada intervalo de agregação. Isto ajuda a preservar informações sobre a dispersão dos dados, mesmo após a agregação [69].

Por fim, as janelas móveis são uma técnica poderosa na análise de séries temporais, permitindo calcular estatísticas ao longo de intervalos móveis de tempo, suavizando flutuações de curto prazo. Isto é útil quando uma granularidade muito fina dos dados apresenta ruído que torna difícil a identificação de padrões[49].

3.3 Visualização de dados temporais

Em [14] são apresentados vários métodos de visualização de dados de natureza temporal. Nesta secção serão exploradas as visualizações que poderão ser mais relevantes para este estudo, no entanto, uma listagem mais abrangente pode ser encontrada em [78].

Gráfico de linhas Os gráficos de linhas são amplamente utilizados para ilustrar a variação de uma ou mais variáveis ao longo do tempo, proporcionando uma compreensão das tendências, padrões e variações nos dados. Nesta visualização, exemplificada na Figura 3.3a, a posição é utilizada para mapear tanto o tempo como o valor, tipicamente utilizando o eixo horizontal como eixo temporal e o eixo vertical representando o valor da variável a visualizar [47]. Cada ponto neste gráfico corresponde a uma observação temporal e as ligações entre as observações estabelecem a sequência do comportamento da variável. A visualização é particularmente eficaz no destaque de variáveis contínuas ao longo de um período de tempo [14]. A utilização da cor nesta visualização permite que se distinga com facilidade múltiplas variáveis que possam estar representadas.

Gráfico de barras Assim como o gráfico de linhas, o gráfico de barras é comumente utilizado na representação de dados temporais, atribuindo, geralmente, o eixo horizontal à escala de tempo. No entanto, esta visualização é mais apropriada quando se lida com o tempo de forma discreta [14]. Uma das principais vantagens dos gráficos de barras reside na facilidade de comparação entre diferentes categorias ou períodos temporais. Cada barra isolada representa segmentos temporais específicos, sendo que a diferença de altura entre elas proporciona uma compreensão imediata das discrepâncias ou mudanças na variável representada. Esta clareza visual torna os gráficos de barras particularmente eficazes ao evidenciar diferenças marcantes entre distintos períodos ou categorias [80]. A interpretação de um gráfico de barras é facilitada pela simplicidade da representação. Cada barra é independente e oferece uma visão distinta da magnitude da variável para o intervalo de tempo associado. Isso simplifica a identificação de padrões, picos ou quedas em momentos específicos. Um exemplo deste tipo de gráfico pode ser encontrado na figura 3.3b.

Theme River Os gráficos *Theme River*, também conhecidos como *River Plot* ou *Stream Graph*, são uma técnica de visualização de dados adequada para a representação de séries temporais [46]. Esta abordagem ilustra a variação de um conjunto de variáveis ao longo de um período temporal linear e contínuo. Este tipo de gráfico pode ser encarado como uma derivação dos gráficos de área empilhada, onde cada categoria de dados é representada na forma de uma "corrente" que flui horizontalmente no eixo temporal, apresentando larguras variáveis, de acordo com os valores que representa. Nesta técnica de visualização a cor é utilizada para diferenciar entre as variáveis representadas, enquanto que o tamanho mapeia a magnitude dos seus valores. Esta visualização permite uma análise de múltiplas

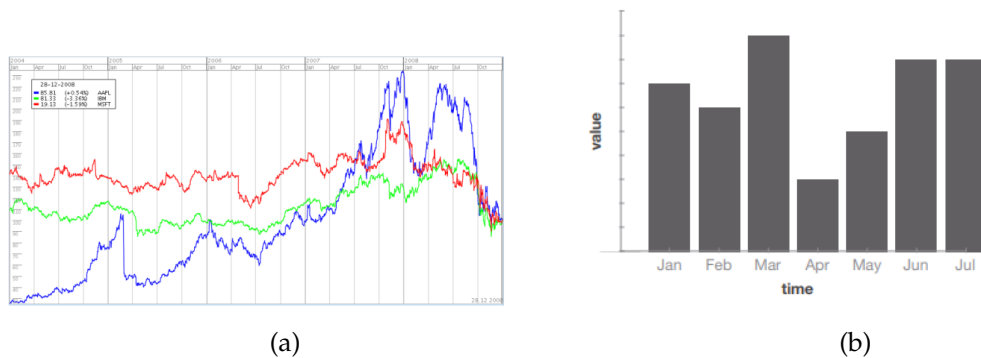


Figura 3.3: Visualizações apresentadas no site CO2Now [1]

variáveis ao longo do tempo, permitindo também compreender a sua contribuição para uma tendência global. Um exemplo deste tipo de visualização pode ser observado na Figura 3.4.

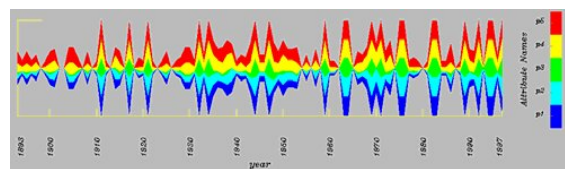


Figura 3.4: Exemplo de um gráfico *Theme River* relativo a dados climáticos de 100 anos. Retirado de [61]

Horizon graphs A utilização de *horizon graphs* para a visualização de dados temporais proporciona a capacidade de representar um vasto número de séries temporais num espaço reduzido, tornando-os particularmente benéficos em conjuntos de dados extensos [79]. Nesta representação visual, otimiza-se o espaço necessário ao sobrepor camadas de valores segmentadas ao longo do eixo vertical e ao utilizar cores distintas para distinguir os intervalos de valores. Para construir esta visualização, é crucial selecionar o número de camadas e definir os seus intervalos de valor apropriados [47]. Esta técnica permite a análise e comparação simultânea de várias séries temporais. A utilidade deste tipo de representação destaca-se em situações onde é essencial monitorizar variações a longo prazo nos dados sem comprometer o detalhe ou a precisão[37]. Na figura 3.5 estão presentes as fases de construção de um *horizon graph*

Mapa de calor A aplicação de mapas de calor na visualização de dados temporais é uma estratégia eficaz para evidenciar padrões de distribuição da variável em análise ao longo do tempo, dada a sua natureza cíclica. Neste formato de visualização, o tempo é representado de forma discreta, sendo que a cor assume o papel de indicar os valores da variável em estudo. Uma das principais vantagens desta abordagem é a capacidade de examinar extensos intervalos temporais sem necessitar de uma grande quantidade de espaço, permitindo a identificação de padrões de longo prazo nos dados. Um exemplo

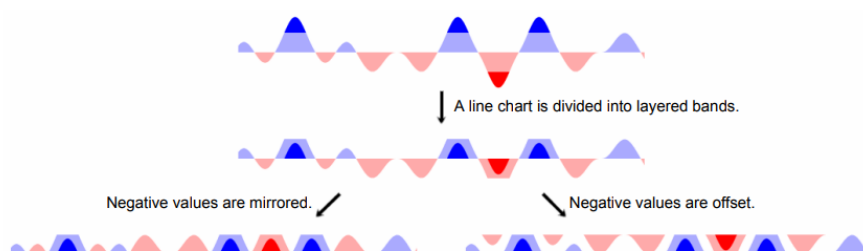


Figura 3.5: Exemplo da construção de um gráfico *Horizon graph*. Retirado de [47]

desta visualização pode ser observado na Figura 3.6, é no entanto importante referir que o exemplo apresenta uma escala de cinzentos mas no estudo conduzido em [57] foi determinado que este tipo de escala de cores provocava o maior número de erros de perceção.

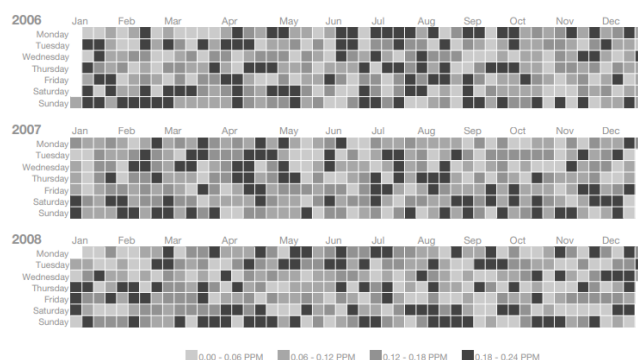


Figura 3.6: Exemplo de um mapa de calor relativo a dados de medições diárias de ozono. Retirado de [14]

Gráficos espirais Também os gráficos espirais abordam o tempo de forma cíclica, o que permite identificar tendências e padrões sazonais ou cíclicos a longo prazo nos dados mais facilmente [15]. Neste tipo de visualização a escolha da periodicidade do ciclo é crucial para a correta interpretação dos dados. A Figura 3.7 apresenta os mesmos dados visualizados em gráficos espirais com diferentes periodicidades, onde se constata que o padrão cíclico só é perceptível quando se utiliza a periodicidade correta. A falta de conhecimento prévio sobre a periodicidade dos dados pode dificultar a escolha adequada do ciclo. Em [86], é proposta uma solução para determinar o ciclo correto, baseada na perceção do utilizador, utilizando uma animação que ajusta o tamanho do ciclo até que o utilizador identifique um padrão, momento em que a animação pode ser interrompida.

3.4 Visualização de dados espaço-temporais

Visualização de dados espaciais Tipicamente o canal visual mais relevante na visualização de dados é a posição. No caso da visualização de dados geográficos, este canal

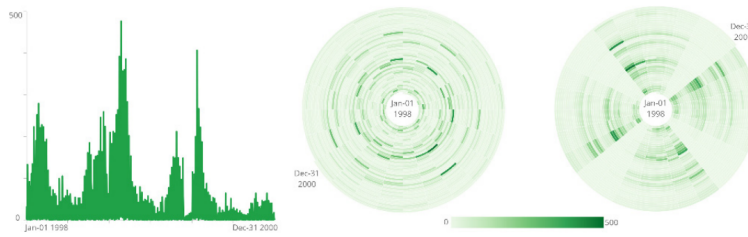


Figura 3.7: Diferentes visualizações incluindo dois gráficos de espiral do mesmo conjunto de dados evidenciando a importância de uma escolha adequada de periodicidade. Retirado de [14]

fica reservado para as coordenadas, de forma a produzir um mapa. Assim sendo, outros canais têm que ser utilizados para o mapeamento de variáveis.

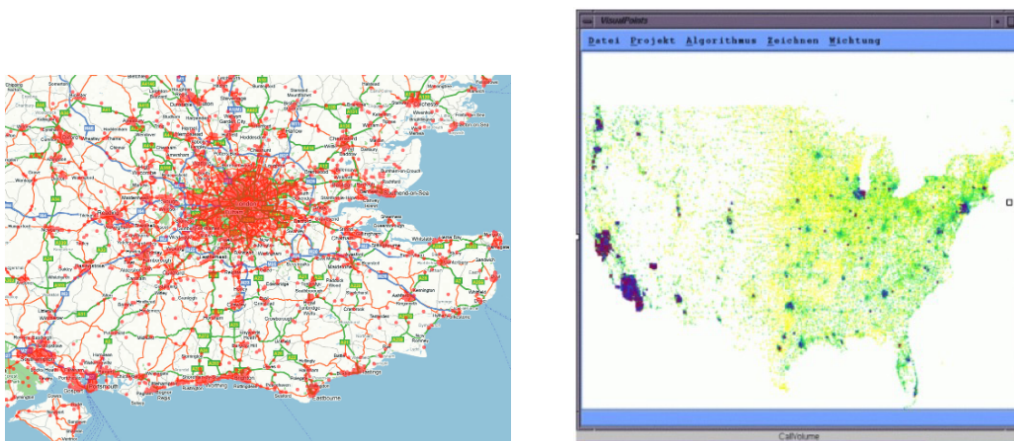
Através da utilização da cor para mapear um valor é possível criar **mapas coropléticos**. Estes mapas relacionam áreas a cores que correspondem a valores específicos de um atributo, podendo ser categórico ou ordenado. São ferramentas valiosas para identificar padrões geográficos, embora possam distorcer a percepção dos dados em algumas situações [14]. Devido à variação na divisão geográfica, que nem sempre é uniforme, a distribuição do atributo no mapa pode ser afetada, resultando na perda de detalhes sobre sua distribuição dentro das áreas coloridas.

Os **mapas de pontos** são empregues para representar a distribuição de ocorrências de um fenómeno, utilizando marcas para identificar cada localização no mapa. No entanto, em situações em que as ocorrências estão próximas umas das outras ou quando o conjunto de dados é extenso, pode ocorrer sobreposição dos símbolos. Isto pode dificultar a compreensão do número de ocorrências num determinado local e tornar a interpretação desafiadora [52], como se pode observar na Figura 3.8a. Para lidar com este problema, uma alternativa é usar **mapas de densidade**, como mostra a Figura 3.8b, que consideram a sobreposição dos símbolos e fazem uso de cores para indicar a densidade de pontos em cada local.

Os mapas conhecidos como **mapas de símbolos proporcionais** associam o tamanho dos símbolos no mapa a valores de um atributo ordenado. No entanto, assim como os mapas de pontos, estes mapas podem enfrentar desafios de sobreposição quando há muitas marcas próximas.

Contudo, todas estas visualizações de dados geográficos não permitem a representação temporal. Para permitir que ambas as dimensões espacial e temporal sejam visualizadas é necessário implementar as técnicas que se apresentam de seguida.

Representações dinâmicas Uma opção de representação de dados espácio-temporais é a utilização de visualizações dinâmicas nas quais a variável tempo é codificada no tempo físico, ou seja, as visualizações variam automaticamente de acordo com o tempo. Ao aplicar esta representação dinâmica do tempo a um mapa, é possível analisar as variações temporais num contexto espacial. Representações deste tipo podem ser percebidas



(a) Exemplo de uma representação de um mapa de pontos. Retirado de [52] (b) Exemplo de uma mapa de densidade. Retirado de [51]

Figura 3.8: Exemplos de diferentes tipos de mapas para visualização de dados geográficos

como animações ou como *slideshows*, de acordo com o número de *frames* por segundo. Esta distinção é relevante na medida em que a utilização de animação em dados mais esparsos pode, erradamente, criar a impressão de dinâmicas inexistentes nos dados [14]. Estas visualizações devem ser acompanhadas de algumas funcionalidades como a capacidade de parar e retomar a animação bem como a seleção de momentos temporais e de alguns parâmetros que possam ser controlados, como a velocidade da animação, a direção do tempo, o início e o fim da animação [22]. Na figura 3.9 está presente um exemplo de um controlo com algumas das funcionalidades descritas. É importante notar que se uma visualização dinâmica for utilizada para séries temporais muito longas, o utilizador terá dificuldades em acompanhar a animação e entender as variações ao longo do tempo [15].

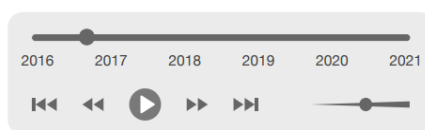


Figura 3.9: Exemplo de um controlo típico de representações dinâmicas temporais onde se pode avançar e recuar no tempo, selecionar um momento no tempo e alterar a velocidade da mudança dos *frames*. Retirado de [14]

Iteração de mapas Um método típico para representar dados espaço-temporais é a visualização de vários mapas justapostos, representando momentos temporais distintos[68]. Apesar da aplicabilidade deste método a uma ampla variedade de dados espaço-temporais, ele enfrenta limitações quando se trata de visualizar simultaneamente uma grande quantidade de momentos temporais[22]. Neste contexto, a interação torna-se crucial para otimizar a eficácia desta técnica de visualização.

Visualizações 3D Estas representações visuais propõem métodos de visualizar dados espaço-temporais recorrendo a uma dimensão adicional. Neste tipo de visualizações, a interatividade torna-se essencial devido à ocultação de parte da representação que naturalmente ocorre neste contexto. Na visualização *Lexis Pencil* [61], por exemplo, cada face do "lápiz" representa uma variável, e o eixo temporal estende-se da ponta à base do lápis, conforme ilustrado na Figura 3.10. Neste caso, dado que nem todas as faces são visíveis simultaneamente, a componente de interação deve possibilitar a rotação dos lápis.

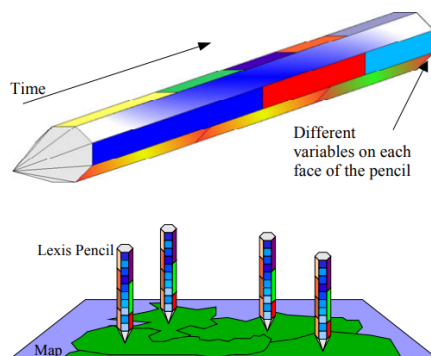


Figura 3.10: Exemplo de uma representação *Lexis Pencil*. Retirado de [61]

TRABALHO RELACIONADO

Face às inúmeras e severas consequências da poluição do ar, a análise de dados de qualidade do ar tem sido objeto de extensa investigação. Existem diversos trabalhos desenvolvidos e uma multiplicidade de sites e plataformas dedicadas à apresentação visual destes dados, tentando torná-los acessíveis e compreensíveis. Este capítulo explora algumas das várias visualizações relativas a dados de qualidade do ar disponíveis, procurando fazer uma apreciação crítica das mesmas.

4.1 QualAR

O site QualAR [18] fornece informações em tempo real sobre a qualidade do ar em Portugal, assim como seus valores históricos. Os dados dos poluentes provenientes das estações de monitorização são convertidos num índice codificado em cinco categorias, variando de muito bom a mau, conforme ilustrado na Figura 4.1. Os limites das categorias têm por base os valores recomendáveis de qualidade do ar a curto prazo definidos antes da mais recente revisão pela OMS. Este índice é calculado de formas distintas, dependendo se é atual ou histórico. No cálculo do índice atual, tanto o PM_{10} como o $PM_{2.5}$ são determinados considerando a média deslizante das 24 horas anteriores, enquanto o NO_2 , o O_3 e o SO_2 são calculados com base na média horária. Para o cálculo do índice histórico, que representa a qualidade do ar de um dia, é necessário que pelo menos 75% dos valores horários desse dia estejam disponíveis. Se esta condição for satisfeita, o índice do PM_{10} e $PM_{2.5}$ representa a média diária, enquanto os índices dos restantes poluentes correspondem ao valor mais elevado da média horária desse dia. De forma a obter o índice global, de forma semelhante ao AQI da EPA, é tido em consideração o pior valor obtido pelos poluentes individuais.

Para visualizar este índice, o QualAR fornece duas opções. Uma opção de visualização apresenta um mapa no qual cada estação de monitorização é representada por uma marca com uma cor correspondente à escala, presente na Figura 4.1. Adicionalmente é utilizada transparência para indicar se as medições do dia atual foram realizadas nas três horas anteriores e cinzento caso não existam dados suficientes para o cálculo do índice. Na

Classificação	PM10	PM2.5	NO2	O3	SO2
Muito Bom	0-20	0-10	0-40	0-80	0-100
Bom	21-35	11-20	41-100	81-100	101-200
Médio	36-50	21-25	101-200	101-180	201-350
Fraco	51-100	26-50	201-400	181-240	351-500
Mau	101-1200	51-800	401-1000	241-600	501-1250

Figura 4.1: Escala utilizada para obter o índice QualAR. Retirado de [18]

visualização é possível selecionar o dia a analisar, bem como o tipo de estação (Tráfego, Industrial e Fundo), de área (Urbana, Suburbana e Rural) e de poluente. A outra opção é visualizar o índice por zona, que representa o pior resultado obtido por uma estação na zona. Selecionando esta opção, fica também disponível um gráfico de barras que permite observar em cada zona ou estação o número de dias em que o índice se enquadra em cada categoria para o ano e mês selecionados. A aparição deste gráfico apenas aquando da seleção da segunda opção de visualização torna-a um pouco confusa, uma vez que as seleções de data e de zona não influenciam o mapa de zona. Na Figura 4.2, os controlos identificados pelo retângulo azul afetam o gráfico de barras, mas não o mapa, que é afetado apenas pelo controlo assinalado pelo retângulo vermelho. Selecionar uma das zonas no mapa faz a alteração da seleção da zona no gráfico, mas não afeta a sua data, podendo induzir um utilizador em erro. Não existe também menção do significado da não identificação do poluente responsável pela classificação da zona.

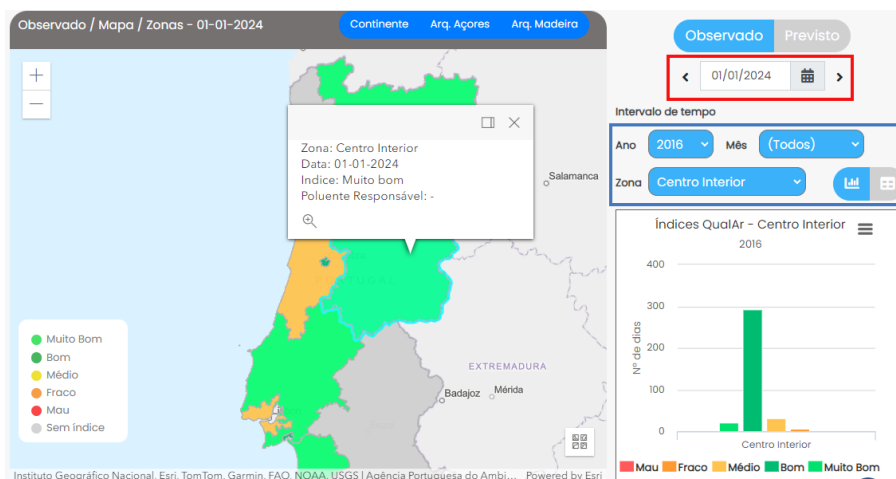


Figura 4.2: Visualização do índice QualAR por zona. Retirado de [18]

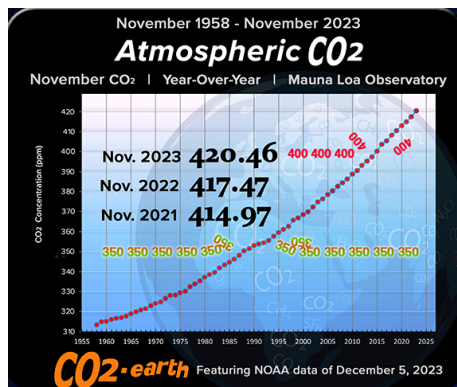
4.2 CO2Now

Bui, L. [25] faz uma análise comparativa de quatro plataformas de análise e visualização de dados de qualidade do ar. É analisado, primeiramente, o CO2Now, [1] que apresenta dados atualizados semanalmente de concentração de Dióxido de carbono (CO_2) em ppm recolhidos no Mauna Loa Observatory (MLO), no Havai, pelo National Atmospheric and

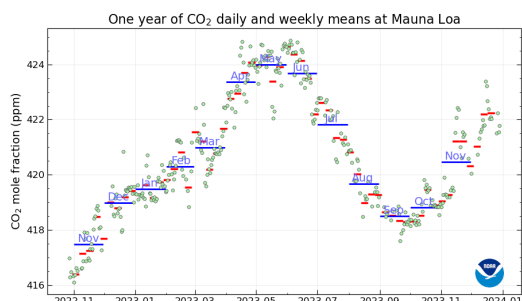
Oceanic Administration (NOAA) e pelo Scripps Institution of Oceanography (SIO). A plataforma apresenta algumas visualizações, nomeadamente uma que inclui um gráfico de pontos representando a evolução da média anual de concentração de CO_2 desde 1958, bem como os valores do mês findo, o mês anterior e o seu mês antecedente, como mostra a Figura 4.3a. Na figura é possível observar também dois limites identificados em $350ppm$ e em $400ppm$. Estes, no entanto, não são justificados ou de fácil interpretação. Sendo que o objetivo principal desta visualização é a comparação das concentrações de CO_2 ao longo do tempo, um utilizador, independentemente do seu nível de experiência, pode facilmente retirar conclusões neste sentido.

Uma outra visualização disponível nesta plataforma, retirada de [83], representa a variação da média da concentração diária, semanal e mensal ao longo de um ano (Figura 4.3b). Nesta figura, os pontos verdes representam as médias diárias, os traços vermelhos as médias semanais e os traços azuis, as médias mensais. Os restantes dados presentes na plataforma são apenas apresentados na forma de tabelas.

Apesar desta plataforma permitir algumas análises de dados históricos, estas são bastante limitadas. Dado que não é possível a interação com as visualizações, um utilizador não poderá, por exemplo, alterar o intervalo de tempo a visualizar, para explorar os dados livremente, o que limitará a sua capacidade de deles retirar conclusões. A plataforma foca-se apenas num poluente, não permitindo também qualquer análise de correlações.



(a)



(b)

Figura 4.3: Visualizações apresentadas no site CO2Now [1]

4.3 AirNow

Uma outra ferramenta disponível para a visualização de dados de qualidade do ar é o AirNow [2] disponibilizada pela EPA. As visualizações baseiam-se no NowCast AQI calculado considerando dados de uma a oito horas de ozono e de doze horas de partículas em suspensão, de modo a responder rapidamente às variações na qualidade do ar [8]. As visualizações disponíveis são acompanhadas de uma legenda que indica a codificação do AQI no esquema de cores previamente identificado na secção 2.3 na Figura 2.2. No

AirNow, a exploração de dados é possível através de um mapa interativo que permite a visualização de dados de qualidade do ar baseados em medições de O_3 e de PM . Ao aceder ao mapa interativo, os utilizadores têm a possibilidade de alterar o tipo de mapa base conforme as suas preferências, escolhendo entre imagens de satélite, topográfico, National Geographic, entre outros. Além disso, é possível selecionar o tipo específico de poluente em análise, adaptando a visualização de acordo com as necessidades individuais. A escolha entre visualizar os dados por estação de medição (Figura 4.4) ou por contorno de zona geográfica (Figura 4.5) oferece uma abordagem personalizada à análise da qualidade do ar.

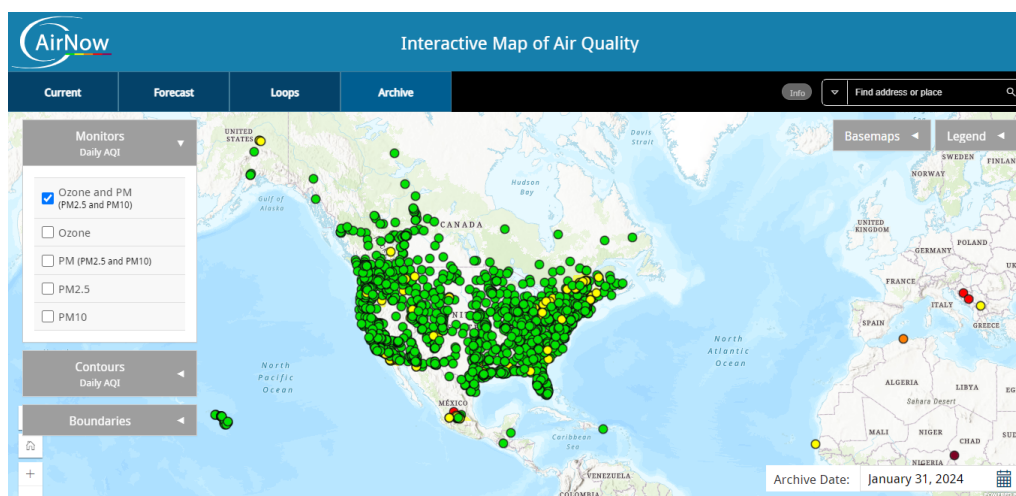


Figura 4.4: Visualização de um dia no passado para os valores de O_3 e de PM das estações de monitorização. Retirado de [2]

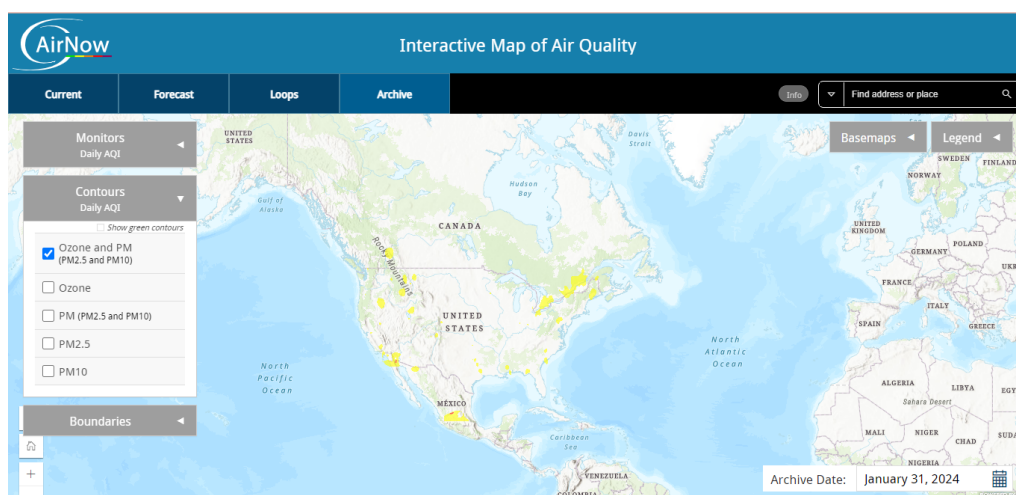


Figura 4.5: Visualização de um dia no passado para os valores de O_3 e de PM das estações de monitorização no modo de contorno das estações. Retirado de [2]

Este mapa interativo apresenta uma representação dinâmica do tempo, já que inclui uma escala de tempo interativa, permitindo uma análise temporal detalhada das 24 horas anteriores (Figura 4.6). Os utilizadores têm a flexibilidade de examinar os dados hora

a hora, selecionando uma hora específica de interesse. Alternativamente, podem optar por visualizar a evolução ao longo do dia, observando automaticamente, na forma de animação, a variação dos dados à medida que o tempo avança.

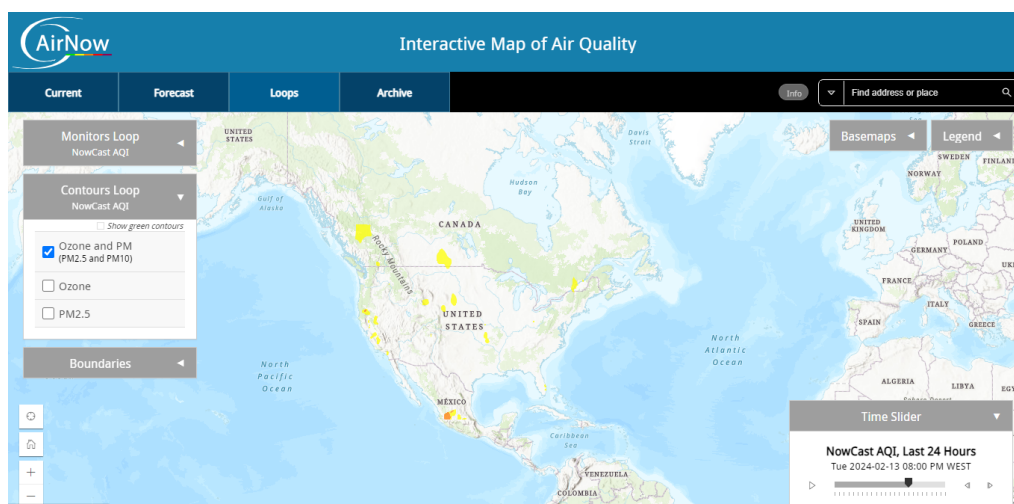


Figura 4.6: Visualização de um dia atual onde podem ser vistos os valores de O_3 e de PM durante as 24 horas. Retirado de [2]

Como menciona [25], embora as estações de medição apenas tenham a capacidade de detetar a qualidade do ar que as rodeia, os dados são generalizados para uma área.

Relativamente a dados históricos, este mapa interativo permite a visualização do **AQI** diário de um dia selecionado a partir de outubro de 2012. Ao permitir apenas a visualização de um dia de cada vez, o mapa não possibilita a identificação das variações do **AQI** ao longo dos dias, não facilitando a análise de tendências e padrões.

4.4 AQICN

O AQICN [70] é um site disponibilizado pelo World Air Quality Index Project que aglomera vários dados de qualidade do ar a nível mundial. À semelhança do *AirNow*, o AQICN utiliza o **AQI** definido pela EPA para representar os dados de qualidade do ar, recorrendo também a uma escala de cores equivalente. Contrariamente ao *AirNow*, esta plataforma oferece uma visualização mais detalhada dos poluentes medidos. Isto possibilita a distinção entre diferentes poluentes e seus valores específicos, nomeadamente $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 e CO_2 , permitindo uma análise mais pormenorizada comparativamente a uma análise baseada num único valor geral de **AQI**. Adicionalmente são apresentados os dados de temperatura, pressão, humidade e velocidade do vento. Os dados são apresentados na forma de histogramas com um intervalo temporal de dois dias.

No que diz respeito aos dados históricos, a plataforma disponibiliza informações desde 2014, apresentando-as através de duas visualizações presentes na figura 4.7. A primeira oferece uma visão abrangente de cada ano, onde cada mês é detalhado quanto ao número de dias em que o **AQI** se enquadra em cada categoria. Cada categoria é representada por

cores distintas, facilitando a identificação visual dos diferentes níveis de AQI ao longo do tempo. A complementar esta visão geral, existe um mapa de calor onde é possível observar os valores diários de AQI do ano selecionado, novamente identificados pela cor. É possível visualizar o valor específico de AQI para cada dia passando o ponteiro por cima do dia selecionado. Para ambas as visualizações é possível selecionar o poluente em análise, não existindo a possibilidade de visualizar o AQI geral. Nestas visualizações é possível identificar tendências ao longo dos anos relativas ao número de dias com valores medidos em cada categoria. Porém, não é fácil identificar padrões de sazonalidade, nem semelhanças nas medições dos vários poluentes.

É de salientar que a escala de cores utilizada nas representações de dados históricos não corresponde à escala utilizada na monitorização em tempo real dos dados de qualidade do ar, o que poderá gerar confusão no momento de análise dos dados.

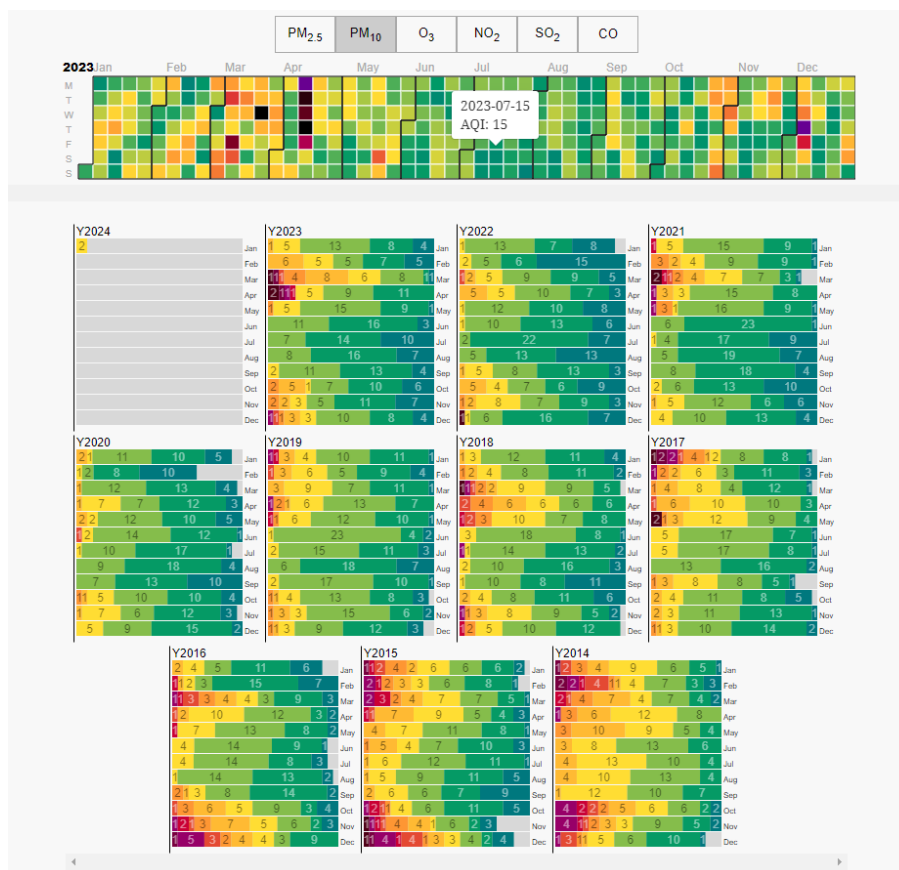


Figura 4.7: Visualizações de dados históricos da cidade de Pequim, onde está selecionado o poluente PM_{10} para o ano 2023. Retirado de [71]

4.5 European Environmental Agency

A EEA disponibiliza uma extensa variedade de visualizações para a análise da qualidade do ar. Uma das visualizações permite examinar a média anual, no período entre 2018 e 2020, dos vários países europeus, das concentrações de $PM_{2,5}$ e de NO_2 , ambos expressos

em $\mu g/m^3$, e de O_3 , representado pelo indicador SOMO35, que indica a frequência e intensidade de picos perigosos de ozono. Nesta visualização, é possível selecionar o poluente desejado para análise, sendo cada seleção acompanhada por um parágrafo informativo sobre o poluente escolhido. A Figura 4.8 ilustra esta representação, onde é evidente que o mapa apresenta uma total cobertura do território a nível de coloração apesar de os dados serem obtidos a partir de pontos de medição concretos. A aproximação dos valores para mapeamento foi feita utilizando a técnica de regressão-interpolação-*merging mapping* [50]. Este método combina os valores das estações de monitorização com modelos de transporte químico utilizando inicialmente regressão linear seguida de um passo de *residual kriging*.

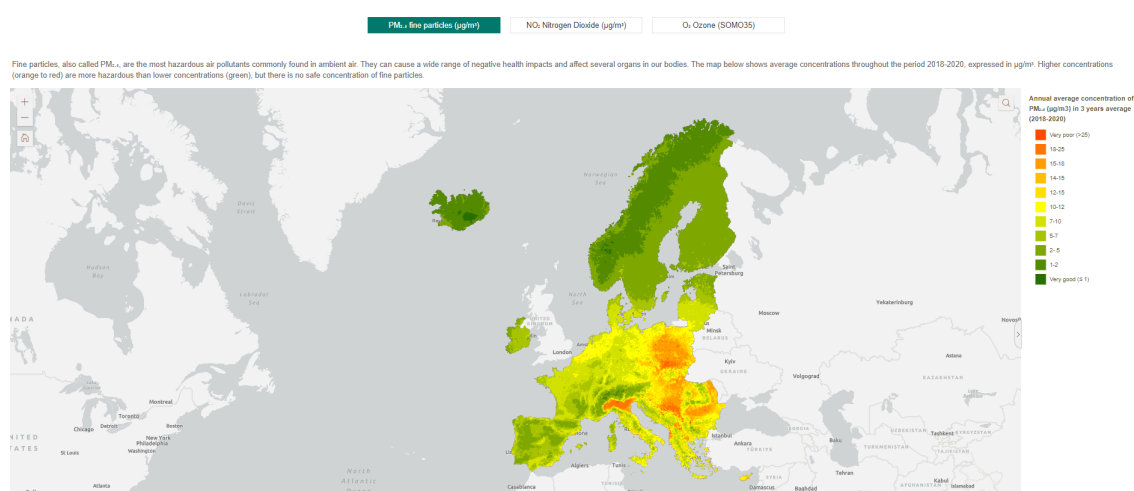


Figura 4.8: Visualizações de dados de concentração média de $PM_{2.5}$ entre 2018 e 2020. Retirado de [23]

Outro tipo visualização a destacar é a análise de tendências de vários poluentes. Esta visualização pretende demonstrar se cada estação de monitorização do ar apresenta tendência de crescimento ou de diminuição do poluente em análise. No exemplo do PM_{10} , representado na figura 4.9, a análise da tendência é feita considerando o percentil 90.4 das observações diárias nos locais de monitorização. As estações consideradas são as incluídas na base de dados de relatórios de qualidade do ar [16] da EEA que possuam um mínimo de 75% dos registos diários disponíveis para um mínimo de oito anos. Adicionalmente, é necessário que existam metadados sobre o tipo de estação e área para que as estações sejam consideradas.

O método estatístico utilizado para identificar tendências é o teste de Mann-Kendall, com um nível de significância (α) fixado em 0.05. A inclinação real da tendência é estimada utilizando a abordagem de Sen-Theil. Uma tendência é considerada significativa quando o p-value associado ao teste de Mann-Kendall é inferior a 0.05 (α). Isto significa que há uma probabilidade de 95% de existência de uma tendência monotónica.

Quando a tendência é estatisticamente significativa, as estações são representadas no mapa como quadrados coloridos, sendo a cor indicativa do valor da tendência. No caso

oposto, quando a probabilidade de existência de uma tendência monotónica é inferior a 95%, considera-se que não há uma tendência significativa e as estações são marcadas com pontos pretos no mapa. A mesma análise existe para o $PM_{2.5}$ e para o O_3 . Embora a perspectiva de análise seja interessante, a forma optada para apresentar os valores não é ideal. As cores seleccionadas demasiado semelhantes e a sobreposição de marcas dificultam a análise.

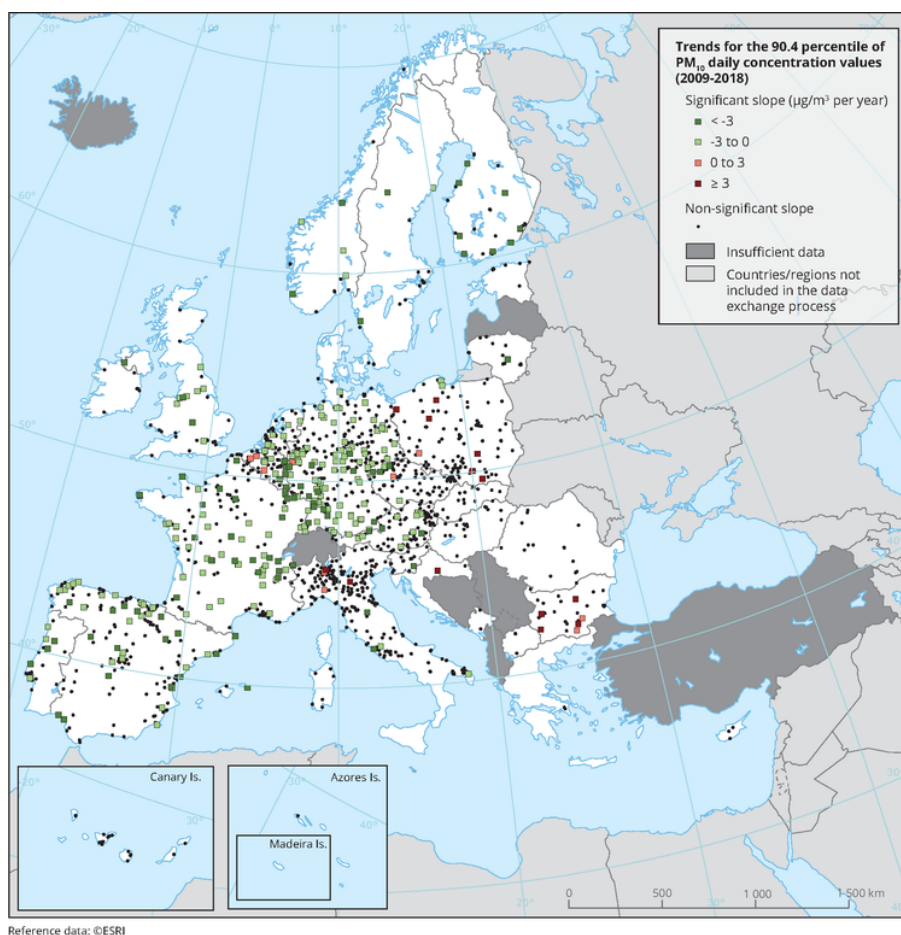


Figura 4.9: Análise de tendências do PM_{10} . Retirado de [23]

Outra importante visualização disponibilizada é um painel interativo relativo à qualidade do ar na Europa desde 2013, utilizando a média anual expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [3]. Este valor é codificado através da cor em categorias de acordo com os limites da OMS e da UE adaptado para cada poluente. Neste *dashboard* é possível seleccionar o ano, o país, o tipo de poluente, a área e a estação a visualizar. O *dashboard* apresenta um mapa onde são identificados os pontos de medição da qualidade do ar com a cor correspondente, bem como um gráfico circular indicando a percentagem de estações cuja média anual se enquadra em cada categoria. Passando o cursor por qualquer dos gráficos permite obter informação mais detalhada. No painel, é possível seleccionar o ano, o país, o tipo de poluente, de área e de estação a serem visualizados. A Figura 4.10 apresenta este *dashboard* onde está seleccionado Portugal. Existe ainda um diagrama de extremos e quartis referente

à média anual de cada ponto de medição da qualidade do ar. Para analisar vários anos em simultâneo é possível selecionar a opção *See over past years* (Figura 4.11), que faz aparecer na mesma visualização os diagramas de extremos e quartis dos anos medidos, com e sem densidade, bem como um gráfico com a média anual ao longo dos anos, com a sua linha de tendência. Estas visualizações de dados históricos permitem apenas ver a distribuição dos valores de média anual de um poluente, no caso de Portugal, desde 2013, o que possibilita a deteção de algumas tendências.

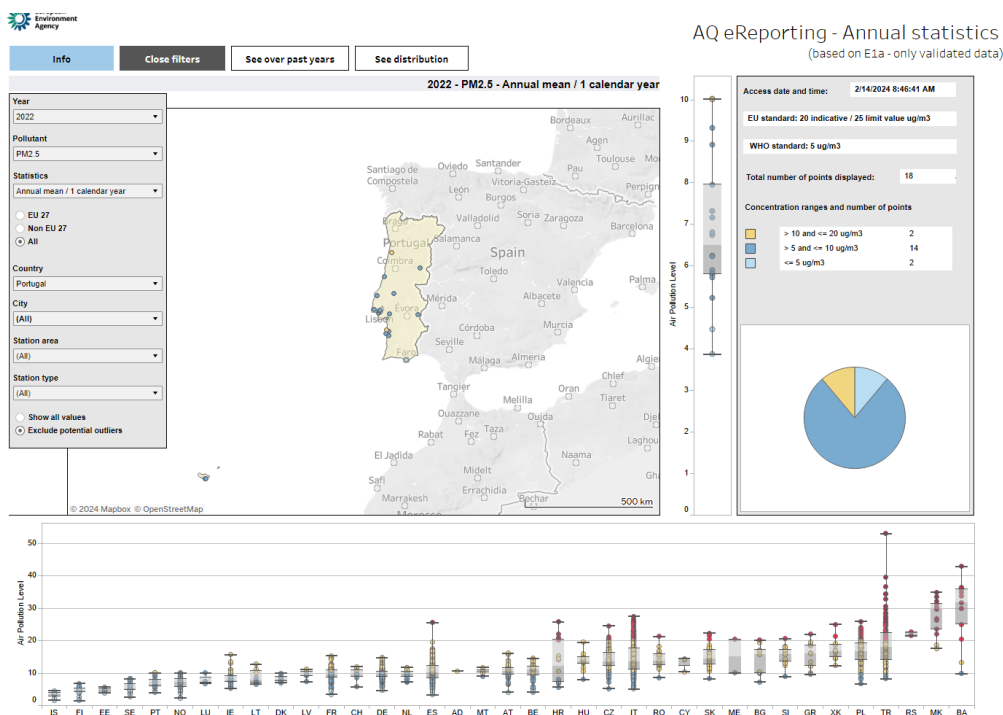


Figura 4.10: *Dashboard* apresentando os dados de qualidade do ar de Portugal em 2022. Retirado de [3]

4.6 Outros trabalhos

Li et al. [54] faz uma exploração sobre dados de qualidade do ar em Pequim, baseada no AQI da EPA de $PM_{2.5}$, onde são propostas algumas análises e visualizações interessantes. Uma das análises feitas aos dados passa pela determinação da correlação entre os AQI de $PM_{2.5}$, PM_{10} e de NO_2 , a temperatura, a humidade, o vento, a pressão atmosférica, a estação do ano, o mês, a hora e a estação de medição. A correlação foi determinada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson. O resultado deste cálculo é uma matriz que é visualizada através de um *heatmap* representado na Figura 4.12 no qual a cor divergente codifica o valor r que varia entre -1 e 1 . Esta visualização permite retirar conclusões relativas à interação das vários fatores. Na matriz verifica-se uma correlação negativa entre a velocidade do vento, representada pelo termo *weather*, e os valores de $PM_{2.5}$, PM_{10} e NO_2 . A forte correlação dos valores do poluentes, por exemplo, pode indicar que são

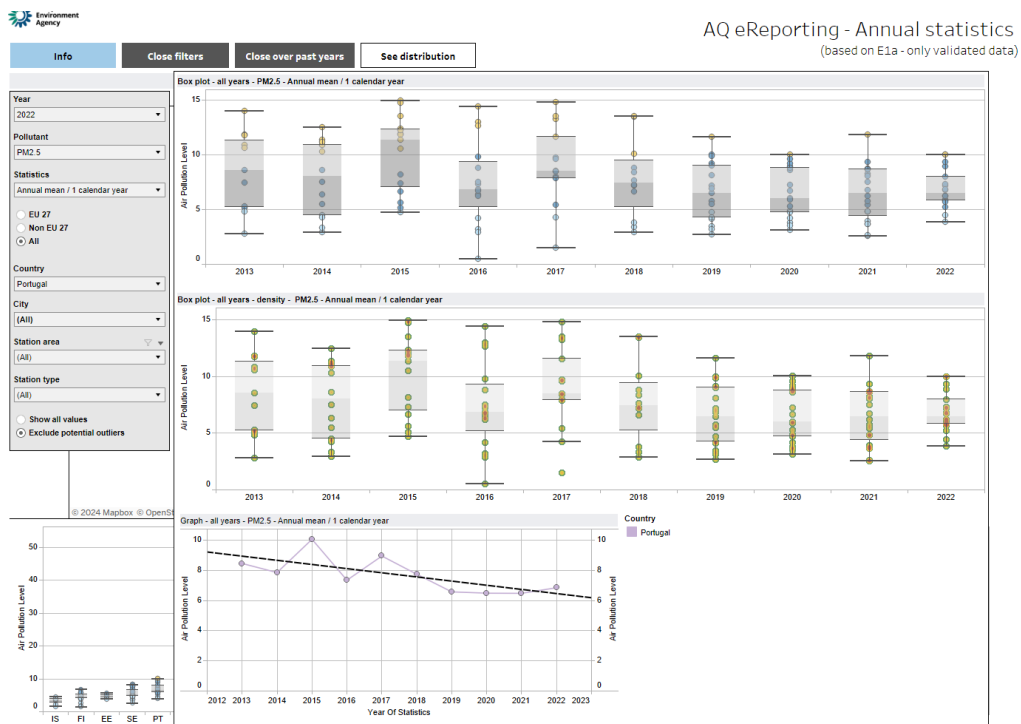


Figura 4.11: *Dashboard* apresentando os dados de qualidade do ar de Portugal ao longo dos anos. Retirado de [3]

emitidos da mesma fonte. De modo a explorar mais profundamente estas relações foi também visualizado um conjunto de scatter plots demonstrando as relações entre $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , a velocidade do vento e a temperatura como se pode ver na figura 4.13.

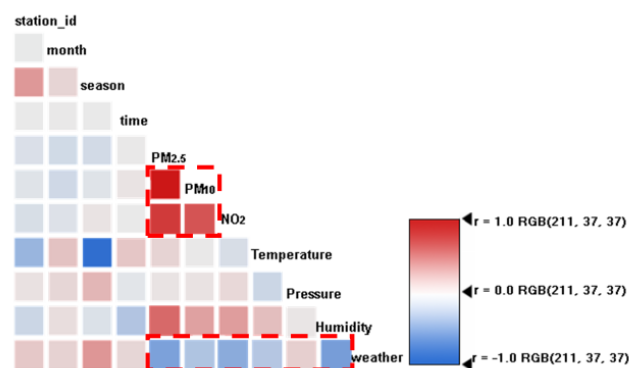


Figura 4.12: Visualização da matriz de correlação. Retirado de [54]

Também neste artigo é apresentada uma visualização que permite analisar dados a longo prazo entre 2010 e 2014. Os autores recorrem a um *heatmap* circular onde cada anel representa um ano e cada separação radial representa um mês em (a) ou uma hora em (b). Esta representação permite, em pouco espaço, visualizar tendências e padrões globais. Para o cálculo de cada secção é feita a média mensal no caso de (a) e a média diária ao longo do ano em (b). A visualização está presente na Figura 4.14

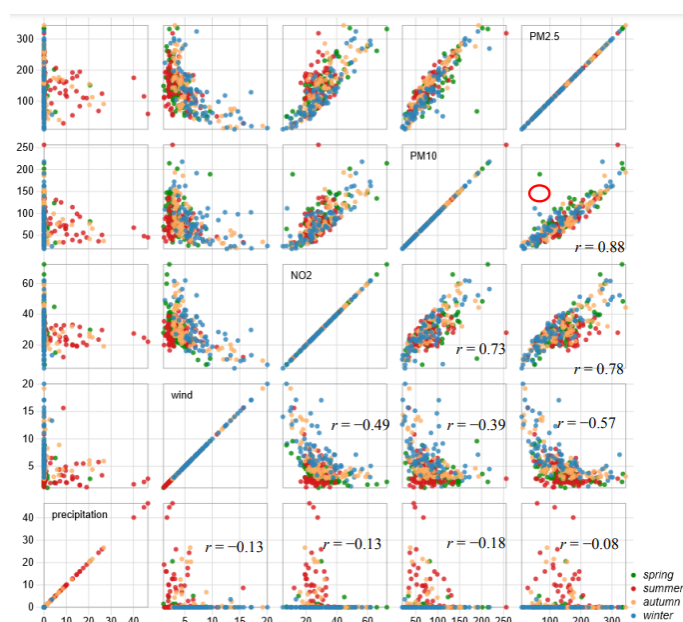


Figura 4.13: Visualização dos *scatter plots* relacionando $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , a velocidade do vento e a temperatura. Retirado de [54]

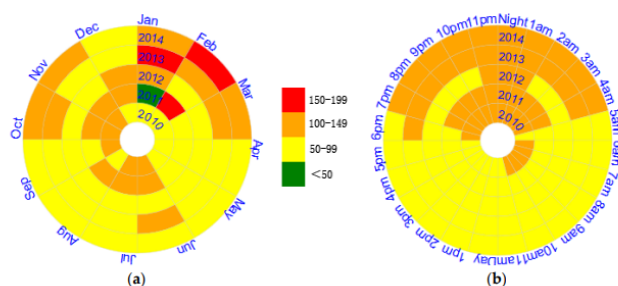


Figura 4.14: *Heatmaps* circulares representando: (a) o AQI de $PM_{2.5}$ médio mensal e (b) o AQI de $PM_{2.5}$ médio diário. Retirado de [54]

4.7 Conclusões

Após uma análise abrangente do trabalho relacionado com a visualização de dados de qualidade do ar, é evidente que várias tendências surgem de forma consistente. Uma observação destacada é a uniformidade na escolha da escala de cores em muitos dos trabalhos examinados. Esta uniformidade pode ser explicada pela facilidade em associar elementos positivos, neste caso, a boa qualidade do ar a tons de verde e elementos negativos, a má qualidade do ar, a tons de vermelho.

Uma descoberta clara é a falta de opções adequadas para a análise visual de dados históricos de qualidade do ar. Embora exista uma abundância de ferramentas e de plataformas dedicadas à visualização de dados em tempo real, a disponibilidade de recursos para análises retrospectivas é relativamente escassa. Isto representa uma lacuna significativa no campo, considerando a importância da compreensão de tendências de longo prazo e padrões sazonais na qualidade do ar.

Além disso, outra observação importante é a falta de visualizações que permitam uma compreensão do impacto de fatores externos, como as condições meteorológicas, na qualidade do ar. Embora muitas visualizações apresentem dados de qualidade do ar em conjunto com informações meteorológicas, a maioria não oferece uma análise detalhada da relação entre esses dois conjuntos de dados. Esta lacuna evidencia a necessidade de desenvolver técnicas de visualização integradas, que possam elucidar de forma mais clara os efeitos da meteorologia na qualidade do ar.

Adicionalmente, várias visualizações analisadas poderiam beneficiar significativamente com a incorporação de recursos interativos. A incorporação de elementos interativos pode aumentar a capacidade dos utilizadores de explorar e interpretar os dados de forma mais dinâmica, possibilitando uma compreensão mais profunda dos padrões e tendências na qualidade do ar.

Esta análise dos trabalhos relacionados destaca a relevância deste estudo. Perante uma vasta gama de visualizações com diferentes perspectivas, níveis de interação e capacidade de detetar tendências e padrões, é notória a falta de *dashboards* interativos que permitam uma exploração profunda de dados de qualidade do ar que tenham a capacidade para responder a uma variedade de questões analíticas. Os trabalhos analisados não possibilitam uma análise integrada e detalhada dos padrões e tendências dos poluentes atmosféricos, nem permitem responder a questões específicas como a estabilidade das tendências ao longo do tempo, a sazonalidade de padrões e a identificação de possíveis causas de anomalias identificadas.

As plataformas e os trabalhos aqui analisados, que recorrem à visualização de dados para explorar informação relativa à qualidade do ar, não possuem as capacidades e funcionalidades necessárias para responder, de forma abrangente, às questões objetivadas neste estudo. Embora alguns apresentem abordagens relevantes, nenhum permite realizar, de forma integral, os diferentes tipos de análise possibilitados pelos *dashboards* desenvolvidos, nomeadamente em termos de evolução temporal, sazonalidade, padrões horários, comparações espaciais, comparação entre tipos de estação, comparação entre tipos de dias e impacto das variáveis meteorológicas. Esta limitação é evidente na análise comparativa ilustrada na Figura 4.15.

	QualAr	AirNow	AQICN	CO2Now	EEA	Li et al.
Evolução			✓	✓	✓	✓
Sazonalidade			✓	✓		✓
Padrões Horários						
Comparações Espaciais	✓	✓			✓	
Comparação de Tipos de Estação	✓				✓	
Comparação de Tipos de Dias						
Impacto da Meteorologia						✓

Figura 4.15: Comparação entre capacidades de resposta às questões analíticas dos trabalhos relacionados

5.1 Metodologia Utilizada

De modo a responder aos problemas descritos na secção 1.2, foi necessário definir uma metodologia de trabalho que fosse adequada às necessidades da dissertação e que orientasse a organização do estudo. A metodologia escolhida para este fim foi a **CRISP-DM** uma vez que é largamente utilizada e reconhecida na área de *data mining* [73]. Adicionalmente, a metodologia oferece flexibilidade, permitindo a criação de um modelo adaptado que responde às necessidades do trabalho [59].

Esta metodologia inclui seis fases sequenciais, a de *Business Understanding* fase inicial na qual o foco é compreender o contexto e os objetivos do projeto, identificando os problemas que se pretende resolver e os requisitos do trabalho e traduzindo necessidades de negócio em metas analíticas claras e mensuráveis; *Data Understanding*, a fase que envolve a recolha, exploração e compreensão dos dados disponíveis e que inclui a identificação da estrutura, a análise de padrões iniciais e a deteção de problemas, como lacunas ou erros nos dados; *Data Preparation*, fase na qual os dados são organizados, limpos e transformados, de forma a garantir que estejam prontos para análise ou modelação, o que é crucial para a criação de um conjunto de dados robusto e fiável; *Modelling*, fase que consiste na seleção de métodos analíticos ou de visualização para resolver os problemas identificados e que envolve a construção de modelos ou representações baseados nos dados preparados; *Evaluation*, fase fundamental para avaliar o modelo ou solução desenvolvida, garantindo que cumpre os objetivos iniciais e satisfaz os requisitos do problema; e *Deployment*, fase final do CRISP-DM que envolve a aplicação prática do modelo ou solução desenvolvida, garantindo que esta pode ser utilizada no contexto real do problema [59]. Um esquema das várias fases desta metodologia é apresentado na Figura 5.1.

A concretização destas fases da metodologia para o âmbito do trabalho são apresentadas de seguida.

Business Understanding A etapa inicial centrou-se na aquisição de conhecimentos abrangentes sobre os conceitos teóricos relacionados com a qualidade do ar, com o objetivo de

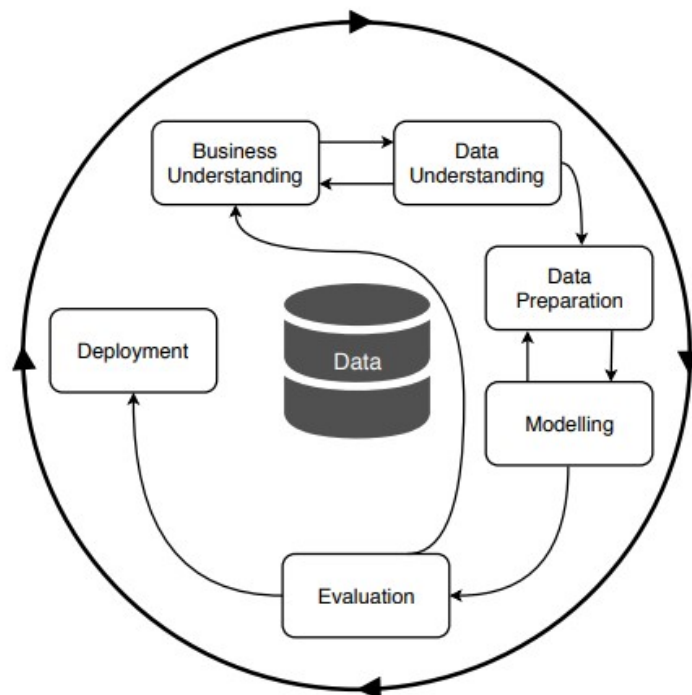


Figura 5.1: Modelo do processo **CRISP-DM**. Retirado de [59]

compreender o contexto do trabalho e determinar a relevância e o impacto do trabalho proposto. Este estudo teórico, apresentado na secção 2, proporcionou as bases necessárias para definir os objetivos da dissertação, descritos na secção 1. Este alinhamento inicial garantiu que o trabalho respondesse às necessidades do problema e serviu de orientação às etapas subsequentes.

Data Understanding Com os objetivos definidos, procedeu-se à obtenção dos dados necessários provenientes do QualAr [24], do IPMA e do Departamento de Ambiente da FCT NOVA. Esta fase envolveu uma análise dos dados e da sua qualidade para identificar a sua abrangência e estrutura, bem como possíveis lacunas ou inconsistências que poderiam impactar o trabalho subsequente. A compreensão detalhada dos dados permitiu o planeamento de estratégias apropriadas para a sua utilização e preparação.

Data Preparation Com base na informação obtida na fase anterior, a etapa seguinte concentrou-se no processamento dos dados, que envolveu tarefas como limpeza, tratamento de inconsistências e reformatação para atender aos requisitos analíticos e objetivos do estudo. Este processo, descrito em detalhe no Capítulo 6, foi crucial para assegurar a qualidade e consistência dos dados. Desta etapa resulta um conjunto de dados integrado que serve de base para visualizações e análises robustas.

Modelling Com os dados devidamente preparados e formatados, deu-se início ao processo de desenvolvimento e modelação dos *dashboards*. Para este propósito, foi utilizada a ferramenta *Tableau Desktop* [75]. O desenvolvimento decorreu de forma iterativa, envolvendo diversas iterações entre criação inicial e refinamento, com o objetivo de produzir *dashboards* com elevado grau de utilidade e usabilidade. Nesta metodologia a fase de *modelling* é descrita, porém não existe uma especificação desta metodologia para responder às necessidades do desenvolvimento de *dashboards*. Por não ter sido encontrada nenhuma literatura que sistematizasse uma metodologia que fosse aplicável especificamente ao desenvolvimento de *dashboards*, para aprofundar e especificar a fase de *modelling* para este propósito, foi definida uma metodologia que fosse ao encontro das especificidades do desenvolvimento de *dashboards*. Esta metodologia é descrita em detalhe na secção seguinte, a 5.2.

Evaluation Com os *dashboards* concluídos, a avaliação sistemática garantiu a sua utilidade e facilidade de uso. Esta fase incluiu testes com utilizadores e validação relativamente aos objetivos definidos, assegurando que as soluções desenvolvidas respondiam às necessidades dos especialistas. Os detalhes desta etapa estão descritos no capítulo 8.

Deployment Após a realização dos testes, que asseguraram a correção e a usabilidade dos *dashboards*, estes foram disponibilizados publicamente através da plataforma *Tableau Public*.

5.2 Metodologia do desenvolvimento dos *Dashboards*

O desenvolvimento dos *dashboards* insere-se na fase de *Modelling* da metodologia CRISP-DM, escolhida para orientar este trabalho. Embora esta metodologia descreva a fase de modelação, não apresenta uma especificação adaptada às necessidades do desenvolvimento de *dashboards*.

Apesar de existir vasta literatura que aponta características desejáveis em *dashboards* [53] e que apresenta o desenvolvimento de *dashboards* para cenários específicos [85] [34] [48], não foi identificada na literatura uma abordagem sistematizada e abstrata o suficiente para ser especificamente aplicável ao desenvolvimento de *dashboards*, particularmente nesta fase de modelação. Assim, para aprofundar e adaptar a fase de *Modelling* a este contexto específico, foi definida uma metodologia que considera as particularidades do processo de conceção, desenho e implementação de *dashboards*.

Antes de iniciar o desenho dos *dashboards* em termos de *layout*, estrutura e ligações, é imprescindível passar por uma fase de conceptualização. Esta fase refere-se ao processo de organização e planeamento das análises a fazer, que consiste na definição clara dos elementos fundamentais descritos abaixo:

1. **Âmbito das Análises:** Refere-se ao escopo do que se pretende analisar com a produção dos *dashboards*. Este está diretamente ligado aos dados selecionados para as análises e estabelece os limites da exploração analítica.
2. **Temas das Análises:** Dentro de um dado âmbito, podem ser definidos vários temas que serão materializados através da implementação de *dashboards* lógicos. Cada tema deve estar alinhado com o âmbito, mas suficientemente distinto para justificar a criação de *dashboards* independentes.
3. **Perspetivas de Análise:** Cada tema pode ser analisado sob diferentes perspetivas, que se referem às formas específicas de analisar os temas definidos. Estas perspetivas estão associadas às agregações feitas sobre os dados e são concretizadas através dos *dashboards* físicos.
4. **Objetivos de Análise:** Cada perspetiva possui um ou mais objetivos específicos que se pretende alcançar através das visualizações. Estes objetivos correspondem a questões analíticas que direcionam as análises realizadas dentro da perspetiva

5.2.1 Definição do Âmbito das Análises

O ponto de partida para o desenvolvimento dos *dashboards* consiste na definição clara do âmbito das análises. Para tal, é necessário:

- Conhecer os dados existentes: A compreensão preliminar do conjunto de dados disponível é fundamental para identificar as potencialidades e limitações das análises. Este trabalho de conhecimento dos dados já foi realizado nas fases anteriores da metodologia CRISP-DM.
- Interagir com especialistas e stakeholders: Reuniões, entrevistas ou discussões colaborativas são essenciais para entender os objetivos do projeto e os requisitos analíticos.

Com base nestes elementos, o âmbito, e conseqüentemente, o conjunto de dados a utilizar é definido. A definição do âmbito das análises para o contexto deste trabalho é especificado na Secção 7.1.1.

5.2.2 Definição dos Temas, Perspetivas e Objetivos

Após a definição do âmbito é necessário definir os restantes elementos organizacionais. Este é um processo iterativo e não linear que requer interação frequente com especialistas e *stakeholders*.

Para dar início a este processo é necessário elaborar um conjunto inicial de questões analíticas. Estas questões funcionam como guia no processo de conceptualização, sendo que nem todas serão necessariamente respondidas pelos *dashboards*. Estas questões são obtidas através de um *Brainstorming* inicial que gera um conjunto amplo de questões

analíticas e refinadas através de discussões com especialistas que ajudam a restringir e priorizar as questões mais relevantes. A especificação do tipo de questões que guiaram este trabalho é feita na Secção 7.1.2.

Com base nas questões definidas e nos dados selecionados, surgem ideias sobre as agregações e métricas a serem utilizadas:

- **Agregações:** Agrupamentos necessários para analisar os dados, por exemplo, organização de dados por intervalo temporal ou localização geográfica. Estas agregações começam a sugerir perspectivas de análise possíveis.
- **Métricas:** Formas de sumarizar os dados dentro das agregações, como médias, máximos, percentis ou outras métricas mais complexas adaptadas ao contexto.

Este processo é iterativo, permitindo ajustes, incluindo a identificação de novos dados de interesse, o refinamento de questões analíticas e ajustes em agregações e métricas baseados em feedback de especialistas. As agregações e métricas utilizadas neste trabalho são descritas na Secção 7.1.3.

Com base nas questões analíticas, nas agregações e métricas é possível determinar os temas, perspectivas e objetivos, tendo sempre presente que em qualquer altura poderá fazer sentido visitar este processo e fazer ajustes. A definição destes elementos organizacionais para aplicação neste trabalho é feita nas Secções 7.1.4 e 7.1.5.

Após esta fase da metodologia, dá-se início à fase de desenho dos *dashboards*. Considerando que o desenvolvimento de *dashboards* é um processo iterativo, é essencial recorrer a protótipos que possam simular o produto final sem a necessidade de implementar completamente o *dashboard* antes de obter uma forma final aproximada. Assim, a fase seguinte da metodologia de desenvolvimento envolve a criação de maquetes.

A utilização de maquetes permite adaptar a estrutura do *dashboard* com base no feedback recebido de forma ágil, acelerando o processo de design. Durante esta fase, podem ser refinados, ajustados ou até repensados alguns dos elementos organizacionais definidos inicialmente, reforçando o carácter iterativo do desenvolvimento de *dashboards*.

A possibilidade de serem necessárias alterações, tanto nos elementos organizacionais como em aspetos visuais das visualizações ou na estrutura do *dashboard*, evidencia a importância desta metodologia. Ao exigir a definição e consolidação de conceitos-chave no início do processo, esta abordagem minimiza o risco de desperdício de tempo e esforço na construção de *dashboards* que eventualmente se revelem inadequados para os objetivos definidos.

Alterações realizadas numa fase avançada do desenvolvimento podem ser significativamente mais dispendiosas em termos de tempo e recursos. Portanto, a filosofia de "falhar cedo" (*fail early*) aplicada neste contexto torna-se uma estratégia vantajosa, permitindo identificar e corrigir problemas nas etapas iniciais, antes que o desenvolvimento completo tenha ocorrido.

CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Esta secção aborda o processo de tratamento e preparação dos dados obtidos para o estudo. O processamento dos dados envolveu várias etapas essenciais para garantir que a análise fosse precisa e relevante para os objetivos da dissertação. Nesta secção serão descritas as correções dos dados brutos, as seleções de subconjuntos de dados que foram feitas e subsequente produção de novos conjuntos de dados relevantes.

Através do processamento de todos os dados disponíveis, foi gerado um conjunto de ficheiros preparados para análise, bem como outros que, embora não tenham uma utilidade direta no desenvolvimento dos dashboards, representam uma mais-valia e uma contribuição para possíveis análises futuras.

Para realizar este processamento, foi desenvolvido um conjunto de *scripts* específicos, concebidos para executar diversas tarefas de preparação e transformação dos dados. Estes *scripts* geram ficheiros intermédios que, apesar de não serem utilizados diretamente nas análises deste estudo, podem revelar-se relevantes para outros trabalhos. Além disso, ao serem separados em vários passos, estes *scripts* facilitam a adaptação deste processo de limpeza e formatação dos dados para utilização noutros trabalhos e para servir as necessidades de outras análises.

Cada *script* foi projetado para executar uma tarefa específica, permitindo a execução seletiva de etapas individuais do processamento, caso seja necessário. No entanto, quando utilizados sequencialmente, produzem os ficheiros finais que servem de base às análises realizadas neste trabalho.

Os dados e os *scripts*, disponibilizados em formato de *Jupyter Notebook*, podem ser consultados [nesta pasta](#).

6.1 Dados das medições dos poluentes

Os dados referentes às concentrações de poluentes atmosféricos foram obtidos através do *website* QualAr [18]. Estes dados abrangem o período de 2001 a 2022, contemplando

várias estações de medição em Portugal. Os poluentes monitorizados incluem O_3 , NO_2 , CO , o Benzeno (H_6C_6), NO_2 , PM_{10} e $PM_{2.5}$, embora o conjunto específico de poluentes medidos possa variar de acordo com a estação e com o ano. As medições dos poluentes ocorrem em intervalos horários, podendo esta frequência, em algumas estações e para alguns poluentes, apresentar lacunas.

Para este estudo, o âmbito definido foi Portugal continental, pelo que as estações de monitorização da qualidade do ar da Madeira e dos Açores não foram consideradas.

Quando obtidos, os dados encontravam-se separados em ficheiros correspondentes a cada ano e estação. Para possibilitar o seu uso eficiente, foi necessário agregar todos estes dados num único ficheiro por meio de *scripts* desenvolvidos em *Python*.

Antes de proceder à junção dos ficheiros, foi fundamental assegurar a consistência dos nomes das estações ao longo dos anos. Durante esta verificação, foram identificados pares de estações com nomes semelhantes e com períodos de medição disjuntos, sugerindo a possibilidade de se tratar da mesma estação sujeita a uma alteração de nome. Com base nesta observação, foram identificados os pares potencialmente afetados por mudanças de nome e, posteriormente, foi consultado o Professor Francisco Ferreira para determinar quais destes casos correspondiam, de facto, à mesma estação e quais representavam estações distintas.

Durante este processo, a criação de um atributo chamado "estação" foi essencial para armazenar o nome da estação, já que essa informação estava presente apenas nos cabeçalhos dos ficheiros individuais. O resultado desse processo foi a criação de um ficheiro que contém colunas com o nome da estação, a data e hora da medição, e uma coluna para cada poluente. Uma sistematização destes atributos pode ser encontrada na tabela 6.1.

De modo a facilitar a utilização dos dados, os nomes das colunas referentes às medições dos poluentes foram alterados para as suas abreviaturas, como indicado na coluna "Nomes alterados" da tabela 6.1.

Durante a exploração dos dados, foram identificadas várias instâncias de valores negativos e valores significativamente mais elevados do que o esperado nas medições dos poluentes. No caso dos valores negativos, ilógicos no contexto de medições de concentrações de poluentes, inicialmente foi levantada a hipótese de que seriam erros nos registos, devendo por isso ser removidos. No entanto, após consulta com uma especialista, responsável por assegurar os dados na região Lisboa e Vale do Tejo, foi esclarecido que os sensores possuem uma margem de erro nas medições, e que os valores negativos estariam dentro dessa margem, representando períodos em que não foram registadas concentrações de poluentes. Assim, substituíram-se todos os valores negativos por zero.

Relativamente aos valores extraordinariamente elevados, a mesma especialista foi consultada para determinar se estes poderiam ser erros. Foi determinado que, no caso das estações de Lisboa e Vale do Tejo, essas medições elevadas eram reais e refletiam a realidade das condições monitorizadas. Com esta confirmação, embora limitada a uma região específica, optou-se por manter todos os valores nos conjuntos de dados.

Dos poluentes inicialmente disponíveis, optou-se por eliminar o benzeno e o monóxido

Atributo (Nome original)	Nome alterado	Descrição
Data	Data	Data e hora da medição
Estação	Estação	Nome da estação de medição
Dióxido de Azoto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO2	Valor da concentração de NO_2 expresso em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono (mg/m^3)	CO	Valor da concentração de CO expresso em mg/m^3
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO2	Valor da concentração de SO_2 expresso em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas <10 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10	Valor da concentração de PM_{10} expresso em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O3	Valor da concentração de O_3 expresso em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas <2.5 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5	Valor da concentração de $\text{PM}_{2.5}$ expresso em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C6H6	Valor da concentração de C_6H_6 expresso em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabela 6.1: Colunas e suas respectivas descrições do ficheiro correspondente às medições das concentrações de poluentes.

de carbono devido quer à falta de dados, quer à recomendação do Professor Francisco Ferreira, que não considerou estes poluentes de grande relevância para o estudo em questão. Feita esta seleção, o ficheiro, cujo formatação original era o formato amplo, foi convertido para o formato longo. Esta modificação foi implementada de forma a que as análises que envolvem a agregação quer espacial quer temporal fosse facilitada. Este formato longo é recomendado quer para a análise de séries temporais quer para o uso na ferramenta *Tableau*, a ferramenta utilizada para a construção dos *dashboards* neste trabalho.

Após esta mudança de formatação, foi feita uma análise de sensibilidade com o objetivo de definir um número mínimo de medições por ano, de forma a garantir a robustez do estudo.

Para realizar a análise de sensibilidade, foi definido um intervalo de possíveis valores mínimos de medições por dia para considerar um dia válido, variando entre 50% (12 medições por dia), 60% (14 medições por dia), 70% (16 medições por dia), 75% (18 medições por dia), 80% (19 medições por dia), 85% (20 medições por dia) e 90% (21 medições por dia). Paralelamente, foi definido um intervalo de possíveis valores mínimos de dias válidos para considerar um ano válido, utilizando as mesmas percentagens - 50% (182 dias válidos), 60% (219 dias válidos), 70% (255 dias válidos), 75% (273 dias válidos), 80% (292 dias válidos), 85% (310 dias válidos) e 90% (328 dias válidos).

Para cada combinação de valores mínimos, foi calculado o número total de anos válidos em todas as estações assim como o número de estações com anos válidos, para cada poluente. Estes resultados podem ser encontrados na figura 6.1. A partir da análise dos resultados, e considerando que na plataforma Qualar é exigido um mínimo de 75% de valores horários medidos para calcular o AQI [19], em conjunto com o Professor Francisco

6.1. DADOS DAS MEDIÇÕES DOS POLUENTES

Atributo	Descrição
Estação	Estação de qualidade do ar
Poluente	Poluente na base do cálculo do AQI
Data	Data na base do cálculo do AQI
AQI Escala	Valor qualitativo do AQI numa escala de 1 (Muito Bom) a 5 (Mau)
AQI Valor	Valor numérico do AQI

Tabela 6.2: Colunas do ficheiro com o cálculo dos valores numéricos e qualitativos do AQI por dia, estação e poluente.

Ferreira, foi decidido que o valor mínimo de medições por dia para considerar um dia válido seria de 75%, correspondendo a 18 medições, e que um ano seria considerado válido se 90% dos seus dias fossem válidos. Com base nestes valores, foram excluídas da análise todos os pares estação-poluente que não tivessem no mínimo dois anos válidos.

The figure displays 10 tables of AQI data for four pollutants (NO2, O3, PM10, PM2.5) at two stations (182 and 219) across four years (2019, 2020, 2021, 2022). Each table shows the number of days (dias) and the percentage of days meeting specific AQI criteria (50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%). The data is color-coded: green for 2021 and 2022, and blue/purple for 2019 and 2020. The tables are arranged in a 5x2 grid, with the first row containing NO2 data and the last row containing PM2.5 data.

Figura 6.1: Resultados da análise de sensibilidade

A partir dos dados corrigidos e selecionados foram gerados vários conjuntos de dados. Primeiramente foi calculado o AQI de cada poluente, de acordo com o método descrito na secção 4.1, para todos os dias em cada estação de qualidade do ar. Este cálculo resultou na criação de um ficheiro com as colunas definidas na tabela 6.2.

De seguida foram calculados os incumprimentos às regras da União Europeia, apresentadas na secção 2.4 e resumidas na tabela 2.3, para todos os poluentes. Deste cálculo foram obtidos cinco ficheiros, um por poluente, onde são identificados os pares Estação-Ano que não cumpriram as normas, assim como qual a regra ou regras que foi ou foram violadas. A listagem dos ficheiros e do dos seus respetivos atributos pode ser encontrada na tabela 6.3.

A Figura 6.2 apresenta um esquema ilustrativo do processo de preparação dos dados

Ficheiro	Atributo	Descrição
Incumprimentos NO2	Estação	Estação de qualidade do ar em incumprimento
	Ano	Ano em incumprimento
	Num_horas_excedidas	Número de horas com valor acima do limite horário
	Média_anual	Média anual da estação
	Motivo	Motivo do incumprimento
Incumprimentos PM10	Estação	Estação de qualidade do ar em incumprimento
	Ano	Ano em incumprimento
	Média_anual	Média anual da estação
	Num_dias_excedidos	Número de dias com média acima do limite diário
	Motivo	Motivo do incumprimento
Incumprimentos O3	Estação	Estação de qualidade do ar em incumprimento
	Ano	Ano em incumprimento
	Excedências	Número de excedências ao valor limite de 8 horas
Incumprimentos PM2.5	Estação	Estação de qualidade do ar em incumprimento
	Ano	Ano em incumprimento
	Média_anual	Média anual da estação
Incumprimentos SO2	Estação	Estação de qualidade do ar em incumprimento
	Ano	Ano em incumprimento
	Num_horas_excedidas	Número de horas com valor acima do limite horário
	Num_dias_excedidos	Número de dias com média acima do limite diário
	Motivo	Motivo do incumprimento

Tabela 6.3: Colunas dos ficheiros com os cálculos dos incumprimentos às regras definidas pela União Europeia

das medições dos poluentes, detalhando os ficheiros gerados e os *scripts* utilizados ao longo deste processamento e disponíveis [nesta pasta](#).

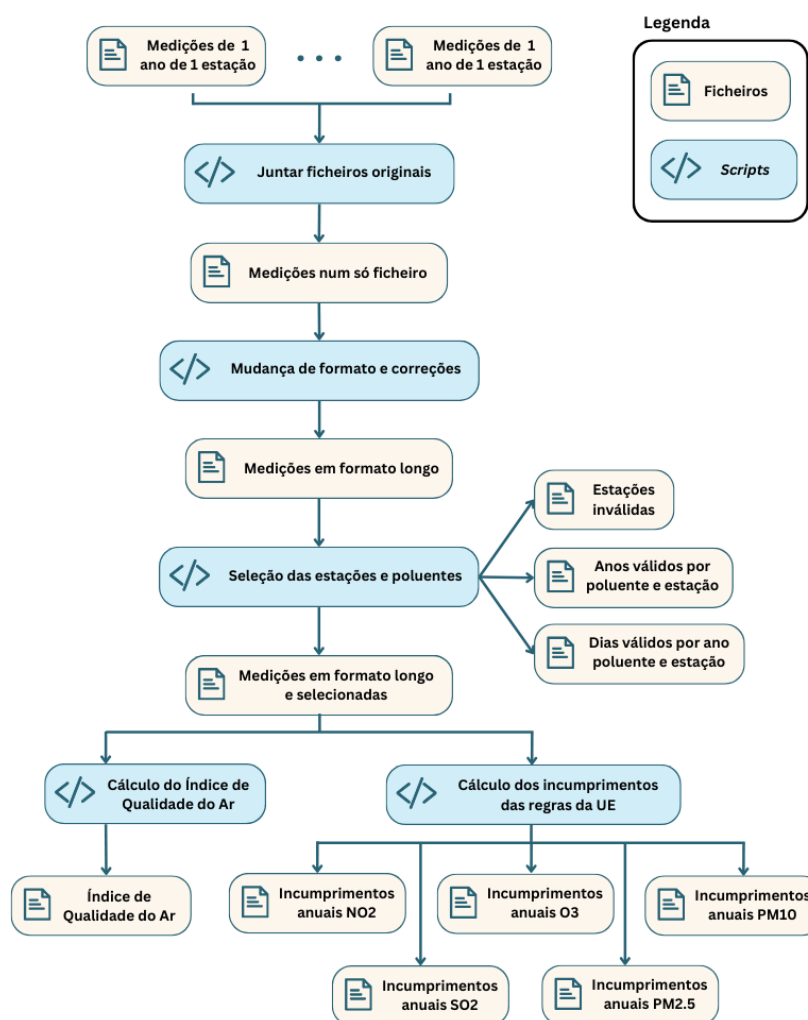


Figura 6.2: Esquema do processamento dos dados das medições dos poluentes

6.2 Dados da ocorrência de poeiras

O processo de obtenção e processamento dos dados de ocorrência de poeiras em Portugal Continental partiu do fornecimento dos dados por parte do Departamento de Engenharia do Ambiente da FCT/NOVA. Os dados foram entregues em dois ficheiros distintos.

O primeiro ficheiro apresenta os dados ao nível regional, contendo as colunas "Data" e cinco colunas adicionais correspondentes às regiões Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo (LVT), Alentejo e Algarve, detalhadas na Tabela 6.4. Em cada uma destas colunas regionais, os valores 0 ou 1 indicam se, num dado dia e região, foram registadas ocorrências de poeiras.

Atributo	Descrição
DATA	Data para assinalar a ocorrência do fenómeno de transporte de poeiras (período avaliado: de 01/01/2021 a 31/12/2022)
DIAS_EN_Norte	Dia com ocorrência de evento natural na região Norte (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (assinalado a 0)
DIAS_EN_Centro	Dia com ocorrência de evento natural na região Centro (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (assinalado a 0)
DIAS_EN_LVT	Dia com ocorrência de evento natural na região LVT (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (assinalado a 0)
DIAS_EN_Alentejo	Dia com ocorrência de evento natural na região Alentejo (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (assinalado a 0)
DIAS_EN_Algarve	Dia com ocorrência de evento natural na região Algarve (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (assinalado a 0)
DIAS_EN_Madeira	Dia com ocorrência de evento natural na região da Madeira (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (assinalado a 0)

Tabela 6.4: Ficheiro original de granularidade regional das poeiras

O segundo ficheiro detalha os dados ao nível das estações de monitorização, indicando não apenas os dias em que houve registo de poeiras numa determinada estação, mas também a fração natural das poeiras. Esta fração natural corresponde uma fração das medições de PM_{10} que pode ser atribuída ao acontecimento de poeiras e não a fatores internos ao país, sendo deste modo, um proxy para a intensidade do evento de poeiras. Este ficheiro incluía as colunas "Data", "Abrev", "Estação", "Região", "Cod_Região", "Código Local", "Dia EN", "PM10_inicial", "PM10_final" e "PM10_Fração Natural". No entanto, algumas colunas foram consideradas redundantes para a análise: a coluna "Abrev", que era apenas uma abreviação do nome da estação, as colunas "Cod_Região" e "Código Local", que forneciam informações já representadas noutras colunas. Para a análise dos dados, também se concluiu que as colunas "PM10_inicial" e "PM10_final" eram dispensáveis, uma vez que o valor da "PM10_Fração Natural" era suficiente para calcular a concentração final de poeiras de origem natural.

6.3 Dados meteorológicos

Nesta secção, são descritos os dados meteorológicos utilizados no estudo, bem como o seu processo de seleção e processamento. A primeira etapa da obtenção dos dados envolveu a identificação de todas as estações meteorológicas disponíveis em Portugal Continental, retiradas do site oficial do Instituto Português do Mar e da Atmosfera [58]. Esta identificação foi seguida de uma análise criteriosa para determinar quais as estações relevantes para a investigação.

Atributo	Descrição
Data	Data correspondente ao dia em análise (período avaliado: de 01/01/2021 a 31/12/2022)
Abrev	Abreviatura oficial do nome da estação de monitorização da qualidade do ar
Estação	Nome da estação de monitorização da qualidade do ar
Região	Nome da região a que pertence a estação (Norte, Centro, LVT, Alentejo, Algarve, Madeira)
Cod_Regiao	Código da região a que pertence a estação (1-Norte, 2-Centro, 3-LVT, 4-Alentejo, 5-Algarve, 6-Madeira)
Codigo Local	Código identificador de cada estação de monitorização da qualidade do ar
DIA EN	Dia com ocorrência de evento natural na região onde se insere a estação de monitorização (assinalado a 1). Dia sem ocorrência de evento natural (0)
PM10_inicial	Concentração média diária de PM10 medida na estação de monitorização da qualidade do ar
PM10_final	Concentração média diária de PM10, após dedução da fração natural, nos dias de ocorrência de EN
PM10_Fração Natural	Concentração média diária de PM10, correspondente à fração natural, nos dias de ocorrência de EN

Tabela 6.5: Ficheiro original de granularidade de estação das poeiras

Inicialmente, foi realizada uma verificação para identificar as estações meteorológicas que possuíam dados desde o ano de 2001, correspondendo ao primeiro ano disponível nos dados de qualidade do ar utilizados neste estudo. Esta análise permitiu filtrar as estações com séries temporais adequadas e consistentes para uma comparação ao longo do tempo.

Posteriormente, foi construído um mapa com as estações meteorológicas selecionadas com base na sua data de início e com as estações de qualidade do ar, como mostra a figura 6.3. Com o auxílio do Professor Francisco Ferreira, um especialista na área, foi possível identificar as estações meteorológicas mais relevantes para cada estação de qualidade do ar, garantindo que as condições meteorológicas registadas fossem as mais representativas dos locais de estudo.

Após a definição das estações meteorológicas a serem utilizadas, foram solicitados ao IPMA os dados meteorológicos correspondentes às 19 estações selecionadas, abrangendo as seguintes variáveis: velocidade do vento, temperatura, humidade, pressão atmosférica, precipitação e direção do vento. Os dados foram fornecidos em 19 ficheiros separados, um para cada estação meteorológica, contendo as colunas descritas na Tabela 6.6. Para facilitar a utilização dos dados, foi necessário consolidá-los num único ficheiro, à semelhança do que foi feito com os dados das medições dos poluentes. Após a junção dos ficheiros, foi realizada uma exploração preliminar dos dados, o que permitiu uma melhor compreensão do seu conteúdo. Durante esta fase, verificou-se que os nomes das variáveis eram pouco explícitos, procedendo-se então, à alteração dos nomes das colunas, conforme indicado

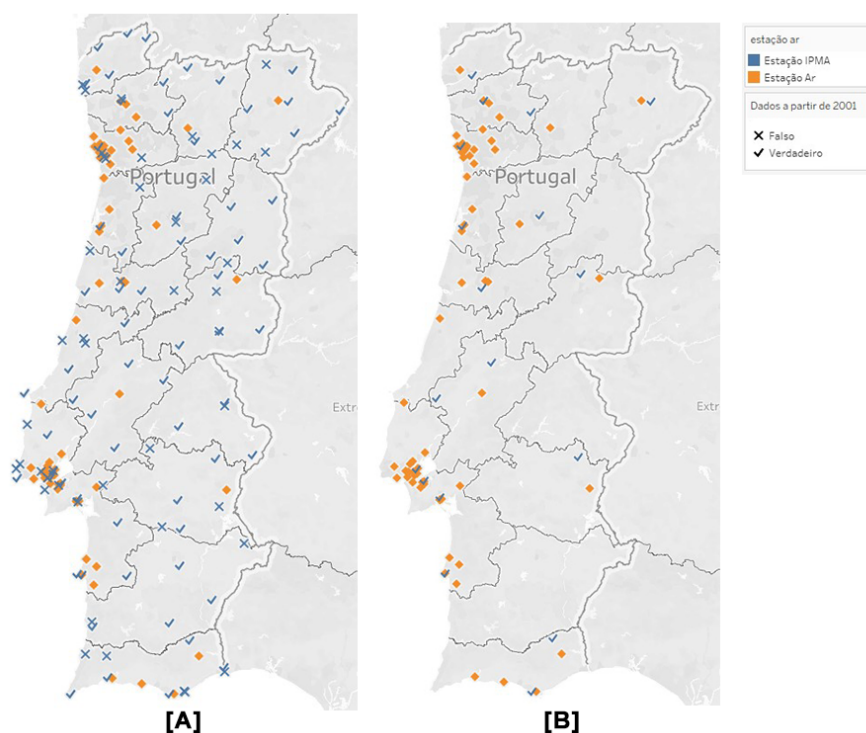


Figura 6.3: [A] Estações de qualidade do ar e todas as estações do IPMA disponíveis. [B] Estações de qualidade do ar e as estações do IPMA selecionadas.

na Tabela 6.6. As colunas referentes ao ano (ANO), mês (MS), dia (DI) e hora (HR) foram também combinadas numa única coluna denominada "Data", no formato AAAA-MM-DD HH:MM, de forma a manter a consistência com os dados de qualidade do ar. Nesta fase, também foi identificado que os dados de pressão atmosférica estavam bastante incompletos. Com o aval do Professor Francisco Ferreira, optou-se pela remoção desta variável do conjunto de dados. Adicionalmente, foi observada a existência de dados categorizados como inválidos, identificados pelo valor -990.0. Para evitar que esses valores distorcessem a análise, foram removidos e substituídos por valores nulos (null). A Figura 6.4 apresenta um esquema resumindo este processo de tratamento dos dados meteorológicos.

6.4 Dados das estações de qualidade do ar

Durante a fase de exploração dos dados das medições dos poluentes, tornou-se evidente a ausência de informações essenciais sobre as estações de medição, como a sua localização, o seu tipo e o seu tipo de área. Para possibilitar o acesso a estas informações durante a análise dos dados optou-se por criar um ficheiro separado dedicado apenas às informações das estações em vez de adicionar colunas ao ficheiro das medições. Esta abordagem evitou a repetição excessiva de informação, uma vez que cada estação de medição tem múltiplas linhas associadas no ficheiro das medições. Os dados das estações foram obtidos através

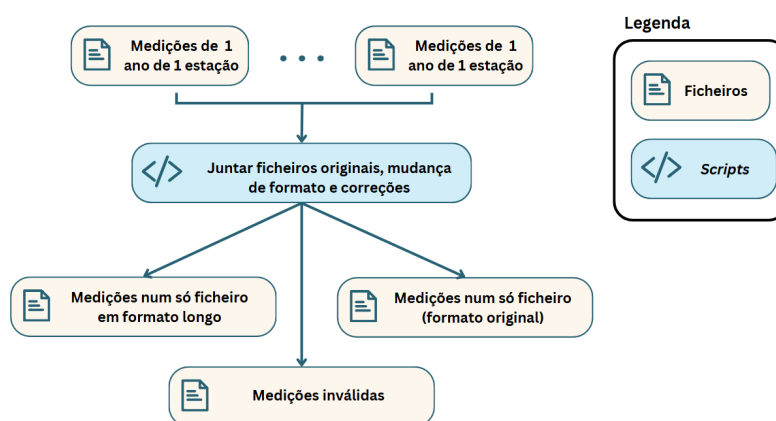


Figura 6.4: Esquema do processamento dos dados das medições da meteorologia

Atributo (Nome original)	Descrição	Nome alterado
ESTACAO	Identificação da estação meteorológica	Estação_Meteo
ANO	Ano do registo	Data
MS	Mês do registo	
DI	Dia do registo	
HR	Hora do registo	
P_M_MN	Pressão atmosférica média ao nível médio do mar ou geopotencial médio a 850 hPa para estações acima de 1000m	Pressão_Média
T_MED	Temperatura média do ar a 1,5m (°C)	Temp_Média
T_MAX	Temperatura máxima do ar a 1,5m (°C)	Temp_Max
T_MIN	Temperatura mínima do ar a 1,5m (°C)	Temp_Min
HR_MED	Humidade relativa média (%)	Humidade_Média
DD_MED	Rumo médio do vento (°)	Direção_Vento
FF_MED	Intensidade média do vento (m/s)	Intensidade_Vento
PR_QTD	Quantidade de precipitação (mm)	Precipitação_Qtd

Tabela 6.6: Variáveis meteorológicas e suas respectivas descrições.

do *website* do Qualar [72]. No entanto, ao analisar a listagem de estações disponível no Qualar, verificou-se que esta incluía menos estações do que aquelas presentes nos dados de medições de poluentes, faltando informação sobre estações que, apesar de terem existido no passado, já não estavam operacionais. Para resolver este problema, foi necessário identificar todas as estações que continham medições de poluentes e verificar quais não constavam no ficheiro retirado do Qualar. Após a identificação das estações em falta, a informação necessária foi solicitada ao Departamento de Engenharia do Ambiente da FCT-NOVA. Com os dados completos, o ficheiro final com informação apenas das estações de monitorização da qualidade do ar passou a incluir sete atributos: nome da estação, região,

Atributo	Descrição
Estação	Nome da estação de medição
Zona	Zona onde a estação está inserida
Concelho	Concelho onde está localizada a estação
Tipo de Estação	Tipo de estação (Tráfego, Industrial, Fundo)
Tipo de Área	Tipo de área da estação (Urbana, Suburbana, Rural)
Latitude	Latitude da estação
Longitude	Longitude da estação
Altitude	Altitude da estação

Tabela 6.7: Atributos e respetivas descrições do ficheiro relativo à informação sobre as estações

concelho, tipo de estação, tipo de área, coordenadas e altitude da estação. A sistematização destes atributos pode ser consultada na Tabela 6.7.

Para permitir a análise conjunta dos dados de qualidade do ar e das variáveis meteorológicas, foi necessário associar uma estação meteorológica a cada estação de qualidade do ar, garantindo assim, que a análise considerasse apenas os dados da estação do IPMA mais adequada. Em princípio, a estação meteorológica mais indicada seria a mais próxima da estação de qualidade do ar. No entanto, antes de efetuar essa atribuição, foi necessário verificar a existência de situações anómalas nas quais a estação meteorológica mais relevante pudesse não ser a mais próxima.

Para realizar esta verificação, identificaram-se inicialmente as duas estações meteorológicas mais próximas de cada estação de qualidade do ar calculando as distâncias entre as estações utilizando um *script* desenvolvido em *Python*. De seguida, foi construído um mapa com recurso ao *Tableau*, contendo as estações de qualidade do ar, as meteorológicas e uma linha unindo cada estação de qualidade do ar às duas estações meteorológicas mais próximas, conforme apresentado na Figura 6.5a. A partir do mapa e das informações sobre as distâncias, a análise do Professor Francisco Ferreira concluiu que, apenas no caso da estação de qualidade do ar de Burgães-Santo Tirso, a estação meteorológica mais adequada não seria a mais próxima, mas sim a segunda mais próxima.

Neste caso, a estação meteorológica mais próxima da estação de qualidade do ar é a "Porto - Pedras Rubras", localizada significativamente mais perto da zona litoral do que a estação de qualidade do ar, como se pode verificar na Figura 6.5b, o que poderia resultar em condições meteorológicas menos representativas da estação de qualidade do ar, conduzindo a uma análise enviesada. A segunda estação mais próxima, "Braga - Merelim", encontrava-se apenas cerca de 2 quilómetros mais distante e situava-se mais no interior do país. Por esta razão, optou-se por associar a estação meteorológica de Braga - Merelim à estação de qualidade do ar de Burgães-Santo Tirso. Todas as restantes estações meteorológicas ficaram associadas à estação de qualidade do ar mais próxima.

Para refletir esta associação nos dados, foram acrescentadas colunas ao ficheiro das estações de qualidade do ar (Tabela 6.7) com as informações das estações de meteorologia. As colunas adicionais correspondem ao nome da estação meteorológica associada à estação

de qualidade do ar, à distância entre as estações e também a direção na qual se situa a estação meteorológica relativamente à estação de qualidade do ar, como mostra a Tabela 6.8.



Figura 6.5: (a) Todas as estações de qualidade do ar e respetivas distâncias às estações meteorológicas. (b) Estação de qualidade do ar (Burgães-Santo Tirso) e as suas estações mais próximas.

Com o objetivo de permitir análises por região, tanto dos dados das medições dos poluentes como dos dados das poeiras como dos dados meteorológicos, houve também a necessidade de acrescentar uma coluna aos dados das estações com esta informação regional. A partir dos dados das poeiras previamente descritos foi possível determinar a que região pertencia cada estação e adicionar essa informação ao ficheiro com informações relativas às estações.

Desta forma, o ficheiro final com as informações das estações contém os atributos apresentados na Tabela 6.8.

A Figura 6.4 mostra um esquema do processo de junção dos dados das estações meteorológicas aos dados das estações de qualidade do ar.

Atributo	Descrição
Estação	Nome da estação de medição
Zona	Zona onde a estação está inserida
Concelho	Concelho onde está localizada a estação
Tipo de Estação	Tipo de estação (Tráfego, Industrial, Fundo)
Tipo de Área	Tipo de área da estação (Urbana, Suburbana, Rural)
Latitude	Latitude da estação
Longitude	Longitude da estação
Altitude	Altitude da estação
Estação_IPMA	Estação meteorológica associada à estação de qualidade do ar
Distância	Distância a que se encontra a estação meteorológica
Direção	Direção onde se localiza a estação meteorológica relativamente à estação de qualidade do ar
Região	Região onde a estação está inserida

Tabela 6.8: Colunas do ficheiro final com informação relativa às estações de qualidade do ar

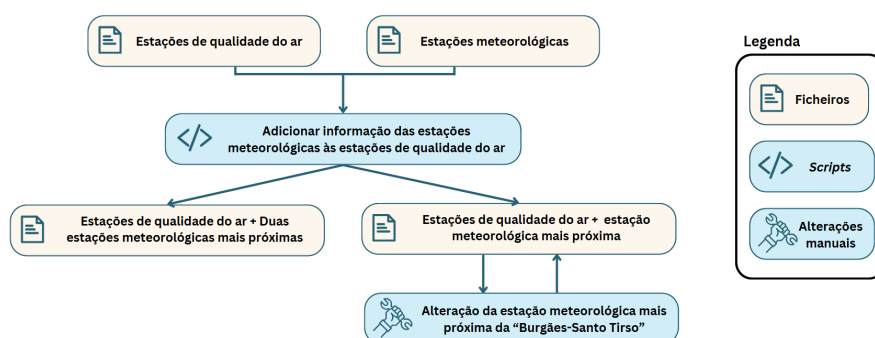


Figura 6.6: Esquema do processamento dos dados das estações meteorológicas e de qualidade do ar

6.5 Dados geográficos

Para possibilitar a utilização de mapas que contextualizassem geograficamente os utilizadores dos *dashboards*, foi necessário obter os limites geográficos das regiões previamente definidas: Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve. Estas regiões não correspondem integralmente ao nível II da Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS II) definido em [33], uma vez que a região de Lisboa e Vale do Tejo resulta da junção de três unidades NUTS II [35]. No entanto, as restantes regiões coincidem diretamente com as unidades NUTS II.

Após uma pesquisa detalhada, não foi identificado nenhum ficheiro já existente que contivesse os limites geográficos destas regiões. Assim, tornou-se necessário obter primeiro os limites de subdivisões administrativas menores, os concelhos de Portugal. Os limites geográficos dos concelhos foram obtidos através da Agência para a Modernização Administrativa [60]. Com estes dados, foi então necessário determinar quais os concelhos

pertencentes a cada uma das regiões, permitindo assim a agregação dos respetivos limites geográficos. Esta informação foi recolhida a partir de [38]. No entanto, dado que essa listagem de concelhos e respetiva classificação NUTS foi elaborada antes da atualização das unidades NUTS em 2024 [4], que afetou a Área Metropolitana de Lisboa, os concelhos pertencentes à região de Lisboa e Vale do Tejo foram validados com base em [28].

A partir destas duas fontes de informação, foi possível determinar os limites de cada região utilizando *scripts* em *Python*. O resultado desta junção, que pode ser observado na Figura 6.7a, revela alguns erros na delimitação de alguns concelhos e revela também a falta do concelho de Ponte de Sor.

Para corrigir estas situações foi utilizado o software QGIS, uma ferramenta para a edição de ficheiros geográficos. Deste processo resultou o ficheiro com informação dos contornos geográficos das regiões que estão apresentados na Figura 6.7b.

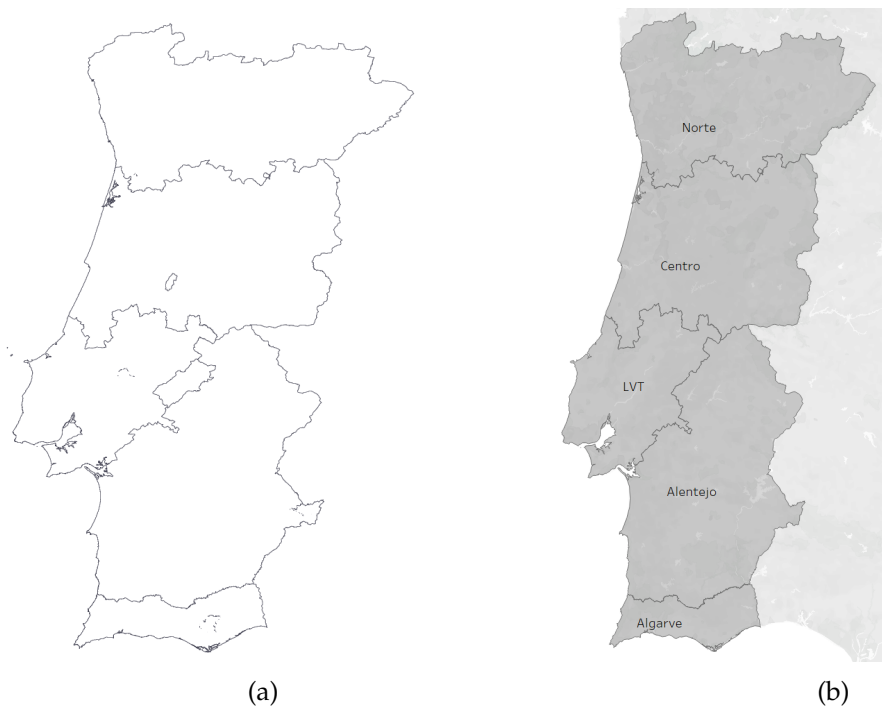


Figura 6.7: (a) Mapa com erros nos contornos das regiões resultante da junção dos contornos dos concelhos. (b) Mapa corrigido com os contornos das regiões do país.

DESENVOLVIMENTO DOS *DASHBOARDS*

Este capítulo detalha as etapas seguidas no desenvolvimento das ferramentas interativas de visualização de dados, alinhadas com a metodologia definida para este trabalho e descrita na Secção 5.2. Inicialmente, apresenta-se o processo de desenvolvimento dos *dashboards*, incluindo a estratégia adotada para assegurar a sua eficiência, eficácia e relevância no contexto das análises pretendidas. Seguidamente, são descritos os *dashboards* desenvolvidos, destacando as principais funcionalidades e capacidades analíticas implementadas. Esta descrição é também resumida em quatro pequenos vídeos de apresentação dos *dashboards* que podem ser encontrados [nesta pasta](#).

7.1 Aplicação da Metodologia

Nesta secção, descreve-se como a metodologia apresentada na Secção 5.2 foi concretizada no âmbito deste trabalho, destacando a sua aplicação prática no desenvolvimento dos *dashboards*.

7.1.1 Âmbito da Análise

Como descrito na metodologia, para dar início ao processo de desenvolvimento dos *dashboards*, foi necessário definir o âmbito do trabalho. Através da discussão com o Professor Francisco Ferreira e com base nos dados apresentados na secção anterior – incluindo medições horárias dos poluentes, dados do AQI, ocorrências de poeiras, violações das diretivas da União Europeia e informações meteorológicas –, foram delineadas várias áreas de interesse. Nesta fase, decidiu-se que o foco seria as medições das concentrações de poluentes, excluindo do âmbito as análises relacionadas com dados de emissões. Embora estas últimas sejam também relevantes no contexto da qualidade do ar, ficaram de fora do escopo deste trabalho, dada a necessidade de delimitação clara dos objetivos e das análises realizadas.

7.1.2 Questões analíticas

Com o âmbito das análises definido, o próximo passo consistiu na criação de um conjunto inicial de questões analíticas que servisse como ponto de partida para o desenvolvimento dos *dashboards*. Estas questões foram elaboradas com base em dois elementos principais:

1. **Conhecimento teórico sobre a qualidade do ar**, fundamentado no estudo dos conceitos e enquadramento apresentados no Capítulo 2.
2. **Análise dos trabalhos relacionados**, apresentados no Capítulo 4.

Com base nestes dois conjuntos de informação, foi possível criar uma listagem abrangente de questões que orientassem o trabalho. Este conjunto inicial de questões juntamente com um conjunto de questões mais refinado encontram-se listados no Apêndice A.

7.1.3 Agregações e Métricas

Dada a amplitude dos conjuntos de dados, foi necessário implementar agregações para tornar a visualização possível. Com base nos dados disponíveis e no conjunto de questões referidas anteriormente, foram sendo determinadas algumas agregações de interesse que fossem ao encontro dos objetivos de análise. Neste trabalho as agregações foram, tipicamente, calculadas através de médias, mas também foram considerados valores máximos e percentis (95 e 5), conforme a relevância para a análise. Estas agregações foram consideradas a dois níveis: agregação das medições a nível das estações de monitorização da qualidade do ar ou a nível temporal.

A agregação de estações pode ser feita a nível geográfico, ou seja, uma agregação de estações com base na sua localização, ou a nível das suas características, designadamente, tendo em conta o seu tipo. A agregação geográfica tem como objetivo possibilitar a comparação do comportamento das concentrações de poluentes em diferentes áreas geográficas e pode ocorrer a vários níveis:

- **Agregação ao nível do país** - Agregação que considera todas as estações de Portugal continental
- **Agregação ao nível da região** - Agregação pelas cinco regiões de Portugal, Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve
- **Agregação ao nível da zona** - Agregação pelas treze unidades de gestão da qualidade do ar definidas em [17].

A agregação das estações segundo o seu tipo é feita separando as estações em duas categorias: **Tráfego** ou **Fundo & Industrial**. As estações de fundo e as industriais foram agrupadas numa única categoria, conforme recomendação do Professor Francisco Ferreira, dado que a separação entre estes tipos de estação não acrescentaria valor significativo à análise.

Também se considerou pertinente a opção de não agregar os dados, quando possível, permitindo a análise individual de uma estação de qualidade do ar.

Em termos de agregações temporais, foram identificadas várias opções relevantes: a **agregação anual**, que possibilita uma visão clara da evolução ao longo do tempo; a **agregação mensal**, útil para identificar padrões sazonais; a **agregação semanal**, que oferece uma análise de intervalos de tempo mais curtos com maior granularidade e precisão; e a **agregação diária**, que possibilita uma análise detalhada e focada. Mais uma vez, é importante considerar a possibilidade de analisar os dados sem qualquer agregação, permitindo a visualização dos dados na sua granularidade mais detalhada, ao nível da hora. Outro aspeto temporal relevante é a distinção entre dias úteis, e fins de semana e feriados, que permite identificar como alguns comportamentos e hábitos humanos afetam as concentrações de poluentes.

7.1.4 Temas de Análise

Com base nos dados disponíveis, no âmbito previamente definido e nas possibilidades de agregação identificadas, foram delineados os principais temas de análise. Partindo do conjunto de dados considerado para este trabalho e do conjunto inicial de questões analíticas, em conjunto com discussões realizadas com especialistas na área, incluindo o Professor Francisco Ferreira, foi possível determinar os temas mais relevantes a serem explorados e implementados sob a forma de *dashboards*.

Os temas selecionados incluem:

- **Evolução do AQI:** Estudo das componentes qualitativa e quantitativa do AQI, com foco nas mudanças observadas ao longo do tempo.
- **Padrões horários das concentrações dos poluentes:** Análise das variações horárias das concentrações, permitindo identificar tendências ao longo do dia.
- **Estudo das poeiras:** Investigação da relação entre as partículas de poeiras e as concentrações de PM_{10} assim como com as violações das normas impostas pela União Europeia.
- **Influência das variáveis meteorológicas:** Análise do impacto das condições meteorológicas nas concentrações dos poluentes.

Estes temas foram definidos com o objetivo de proporcionar uma análise abrangente mas também detalhada, permitindo não apenas explorar os dados de forma eficaz, mas também responder a algumas questões analíticas previamente delineadas.

7.1.5 Perspetivas de análise

Para garantir a utilidade e relevância dos *dashboards* desenvolvidos, foi necessário começar por identificar os focos da análise para que fosse possível determinar as perspetivas

mais interessantes a explorar. Para a construção dos *dashboards*, foram identificados como relevantes diferentes perspectivas de análise para explorar os dados de forma eficaz. Um dos principais tipos de análise é a análise temporal, que pode ser realizada a diferentes níveis. A análise da evolução ao longo dos anos permite identificar tendências enquanto que a análise da sazonalidade, que examina os dados ao nível mensal, oferece uma visão detalhada sobre os padrões recorrentes ao longo dos anos.

Uma outra perspectiva de análise considerada fundamental é a análise comparativa, que possibilita a visualização simultânea de múltiplas variáveis, facilitando a comparação direta entre elas. Esta abordagem comparativa pode ser aplicada a diferentes contextos, como a comparação entre as várias regiões do país (Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve), a análise de todas as zonas contidas numa mesma região, ou a comparação entre as estações de uma zona específica. Adicionalmente, esta perspectiva permite comparar categorias de estações de monitorização, como as estações de Tráfego e as de Fundo & Industrial, bem como comparar os dias úteis com os fins de semana e feriados.

A capacidade de realizar estas análises comparativas diretamente no *dashboard* é crucial, pois evita que o utilizador tenha que recorrer à memória para estabelecer relações entre as variáveis. A comparação direta facilita a extração de conclusões sobre diferenças ou semelhanças entre as variáveis analisadas, permitindo uma interpretação rápida e eficiente dos dados da qualidade do ar.

7.1.6 Desenho dos *dashboards*

Após a definição dos elementos organizacionais iniciais, foi possível avançar para a fase seguinte da metodologia: a estruturação do *layout* e o desenho dos *dashboards*. Nesta etapa, foram criadas visualizações preliminares com o objetivo de identificar as representações mais claras e eficazes, considerando os elementos previamente definidos, como métricas e agregações.

Estas visualizações preliminares foram apresentadas regularmente aos orientadores, que forneceram feedback tanto a nível técnico, relacionado com a teoria e a qualidade das visualizações de dados, como no que diz respeito à sua utilidade prática para especialistas em qualidade do ar. Este diálogo contínuo permitiu consolidar o interesse em algumas perspectivas de análise, refinar outras e identificar novas perspectivas relevantes, orientando o desenvolvimento subsequente.

Após múltiplas reuniões de feedback e validação, foi possível consolidar um conjunto de visualizações e métricas que cumpriam os objetivos definidos. A fase seguinte consistiu na estruturação dos *dashboards*. Reconhecendo a natureza iterativa e o tempo elevado necessário para construir *dashboards* no Tableau, exploraram-se ferramentas para prototipagem, como a linguagem de modelação IVML [45] e ferramentas de diagramas como [39]. Contudo, estas ferramentas revelaram-se limitadas em termos de flexibilidade e facilidade de uso. Assim, optou-se por utilizar o Canva [26], uma solução que combinava

eficiência, fiabilidade e facilidade de integração com as visualizações já desenvolvidas no Tableau. A inclusão de capturas de ecrã das visualizações permitiu criar protótipos fiáveis e facilitar a comunicação com os orientadores, incluindo aqueles menos familiarizados com visualização de dados. Este método acelerou significativamente o processo de revisão e aprimoramento dos *dashboards*. Durante este processo foram tidos em conta alguns princípios de desenho que serão descritos de seguida, na Secção 7.2.

Com a aprovação dos protótipos finais, iniciou-se o desenvolvimento completo dos *dashboards* no Tableau, um processo descrito seguidamente em detalhe.

7.2 Orientações gerais do desenho dos *dashboards*

Para que um sistema seja útil, de acordo com [63], é essencial garantir a sua usabilidade. Para tal, o sistema deve ser fácil de aprender, eficiente de utilizar, simples de memorizar, apresentar um número reduzido de erros e proporcionar uma experiência agradável ao utilizador. Na fase de desenvolvimento e organização dos *dashboards*, procurou-se assegurar estas condições através da aplicação de princípios de design [64] e usabilidade [63]. De modo a garantir um nível de consistência entre os *dashboards* que facilite a sua aprendizagem e utilização, foram utilizadas estruturas e elementos semelhantes para os vários *dashboards*.

Todos os *dashboards* incluem um cabeçalho que permite controlar as variáveis que influenciam as visualizações apresentadas, segundo o esquema que se pode observar na Figura 7.1. Ao dedicar uma zona fixa do dashboard para conter os botões de controlo das visualizações, o utilizador vê facilitada a tarefa de procura do botão que pretende. Embora o conteúdo específico do cabeçalho varie conforme as necessidades de cada dashboard, o seu estilo e propósito mantêm-se consistentes. Este cabeçalho contribui também para o princípio de "reconhecer em vez de lembrar"[63], ao apresentar todas as variáveis selecionadas, eliminando assim a necessidade de o utilizador as memorizar.

Além disso, todos os *dashboards* incluem títulos associados a cada visualização, facilitando a sua interpretação e esclarecendo as variáveis apresentadas. Um título dinâmico no topo de cada *dashboard* apresenta informação sobre os dados que estão a ser visualizados, ajustando-se automaticamente às ações do utilizador. Este dinamismo está alinhado com o princípio de design de feedback [64], que assegura que o utilizador recebe uma confirmação clara de que as suas ações foram realizadas com sucesso.

Para reforçar a consistência interna de cada dashboard, assegurou-se que o cabeçalho, os títulos, os botões e as visualizações que representam a mesma métrica estejam colocadas sempre na mesma posição no layout. Esta abordagem reduz a necessidade de o utilizador interpretar layouts diferentes para cada opção, facilitando a memorização e a aprendizagem do sistema.

A utilização de *tooltips* foi considerada uma funcionalidade essencial, uma vez que desempenham diversas funções importantes no dashboard. Estes elementos ajudam na interpretação das visualizações, fornecendo informações detalhadas sobre elementos

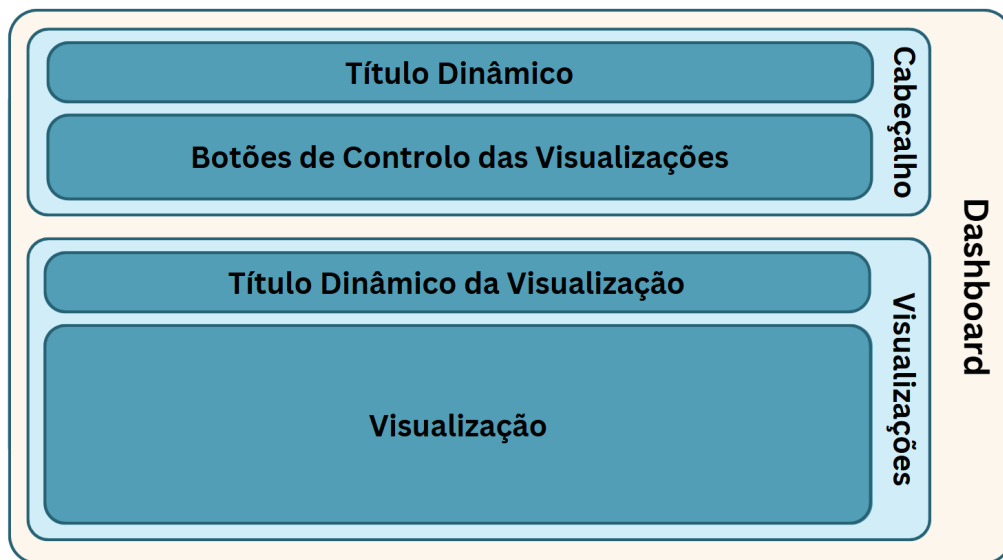


Figura 7.1: Esquema da estrutura usada ao longo do desenho dos *dashboards*

específicos e facilitando a navegação entre contextos. Além disso, os *tooltips* oferecem informações complementares às visualizações que, embora úteis, não são imprescindíveis para a compreensão geral do dashboard.

A inclusão desta funcionalidade em *tooltips* assegura que a informação adicional esteja sempre acessível ao utilizador, permitindo-lhe consultá-la conforme necessário, sem comprometer a clareza e a organização da interface. Dessa forma, os *tooltips* contribuem para uma experiência de utilização mais intuitiva e personalizada. Tendo em conta a importância desta funcionalidade, a sua implementação foi realizada em todas as visualizações dos *dashboards*, garantindo uma melhor interação e suporte ao utilizador.

No que respeita à navegação entre diferentes contextos dos *dashboards*, esta é possível através dos cabeçalhos já mencionados. Contudo, de acordo com [63], é crucial incluir "atalhos" que permitam uma interação mais rápida para utilizadores experientes. Assim, foram integrados botões em alguns *tooltips*, permitindo restringir o âmbito da análise de forma imediata. Adicionalmente, em determinados contextos, foram incluídas opções de navegação direta para âmbitos mais específicos. Por exemplo, ao comparar várias regiões, o utilizador pode clicar diretamente numa delas para a analisar, em vez de ter de seleccionar a região desejada através do cabeçalho.

Este enfoque no design e na usabilidade dos *dashboards* reflete um esforço consistente em proporcionar uma experiência intuitiva, eficiente e agradável, alinhada com os princípios estabelecidos na literatura.

7.3 Dashboard do AQI

Nesta secção é apresentado o *dashboard* desenvolvido para analisar a evolução do AQI de cada poluente ao longo do tempo. São descritos os diferentes tipos de análise que o

dashboard permite realizar, as métricas utilizadas para permitir essas análises e a forma como estão representadas, incluindo as justificações para as escolhas realizadas durante o processo de desenvolvimento. Além disso, são destacados alguns *tooltips* relevantes e explicadas as possibilidades de interação com o dashboard. Para facilitar a compreensão da descrição apresentada, é disponibilizado um exemplo do *dashboard* na Figura 7.2. Uma apresentação do *dashboard* pode também ser consultada através [deste link](#)

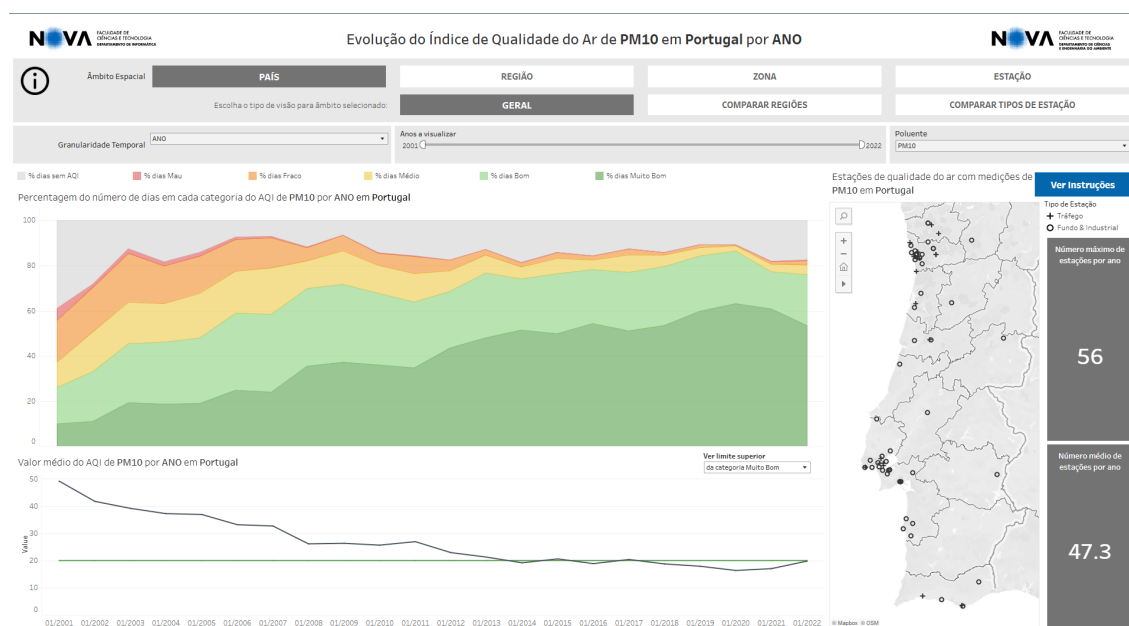


Figura 7.2: *Dashboard* do AQI no âmbito espacial país e perspetiva de análise Geral

7.3.1 Perspetivas de análise

Neste dashboard, a análise da evolução do **AQI** para cada poluente pode ser feita a diferentes níveis geográficos, permitindo uma exploração detalhada dos dados e a resposta a diversas questões relacionadas com a qualidade do ar. Esta análise, efetuada individualmente para cada poluente, pode ser conduzida a nível nacional, regional, por zona, ou por estação específica, abrangendo o período de 2001 a 2022.

Para cada âmbito espacial, estão disponíveis múltiplas perspetivas de análise, que possibilitam abordagens distintas relativamente aos mesmos dados, permitindo responder a diferentes questões e objetivos de análise. As perspetivas de análise disponíveis para cada âmbito espacial são listadas na Figura 7.3.

O racional subjacente às opções disponíveis para os âmbitos espaciais que englobam várias estações (País, Região e Zona) baseia-se em permitir diferentes níveis de agregação para proporcionar diferentes perspetivas para a análise dos dados:

- **Visão Geral:** apresenta os dados agregados de todas as estações dentro do âmbito escolhido, oferecendo uma perspetiva ampla e resumida. Este nível de granularidade é o mais elevado, focando-se no âmbito como um todo, sem distinção interna.

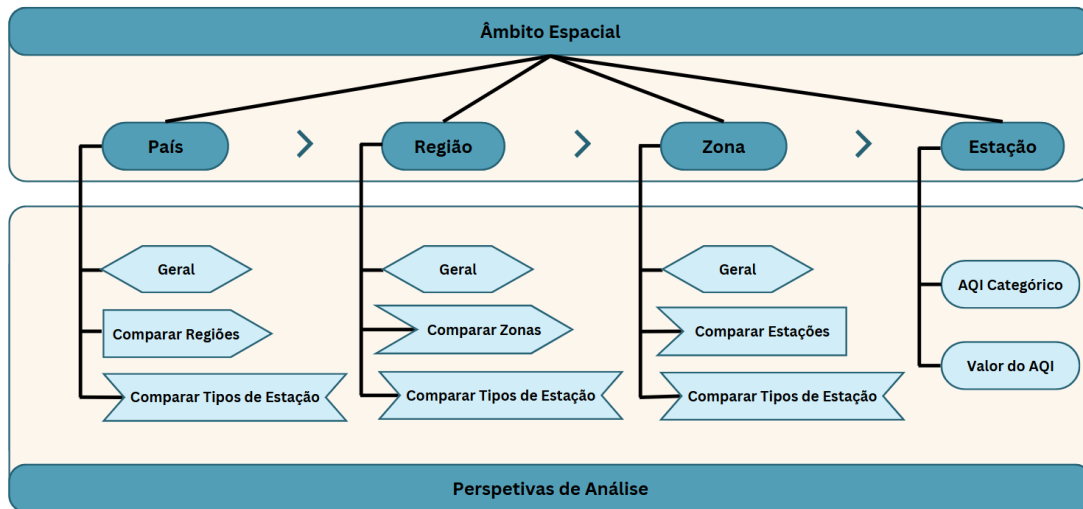


Figura 7.3: Perspetivas de análise disponíveis para cada âmbito espacial

- **Comparação por Subdivisões:** os dados são apresentados com menor nível de agregação, agrupados pelas subdivisões do âmbito escolhido. Este nível de granularidade permite ao utilizador explorar diferenças internas entre as subdivisões:
 - A nível nacional, as subdivisões correspondem às regiões, permitindo a comparação entre as várias regiões do país.
 - A nível regional, as subdivisões são as zonas, possibilitando a análise comparativa entre zonas dentro da mesma região.
 - A nível de zona, as subdivisões correspondem às estações, permitindo a comparação direta entre as estações individuais da zona.
- **Comparação por Tipo de Estação:** as estações dentro do âmbito escolhido são classificadas e comparadas com base em dois tipos predefinidos: Tráfego ou Fundo & Industrial. Este nível de análise é útil para explorar as diferenças relacionadas com o tipo de localização e finalidade de cada estação.

No caso da análise ao nível de uma única estação, estas opções de comparação não são aplicáveis, uma vez que não existem subdivisões possíveis. Para este âmbito a visão é sempre geral e as opções disponíveis focam-se nos detalhes do [AQI](#):

- **Visualização diária com base na categoria do [AQI](#):** permite analisar os dias categorizados de acordo com os níveis qualitativos de qualidade do ar.
- **Visualização diária com base no valor do [AQI](#):** permite analisar os valores concretos do índice de qualidade do ar para cada dia.

Além da seleção da perspetiva e do âmbito espacial, o cabeçalho disponibiliza opções adicionais que permitem personalizar e ajustar as visualizações às necessidades do

utilizador, variando conforme o âmbito espacial selecionado. Estas opções, presentes no cabeçalho do dashboard, controlam os dados apresentados nas visualizações. Um resumo detalhado de todas estas opções pode ser consultado na Figura 7.4.

			Âmbito Espacial			
			País	Região	Zona	Estação
Opções de visualização	Filtros comuns	Poluente	✓	✓	✓	✓
		Anos a visualizar	✓	✓	✓	✓
	Perspetivas de Análise	Visão Geral	✓	✓	✓	
		Comparar tipos de estação	✓	✓	✓	
		Comparar regiões	✓			
		Comparar zonas		✓		
		Comparar estações			✓	
		AQI Categórico				✓
		Valor do AQI				✓
	Filtros Específicos	Granularidade Temporal	✓	✓	✓	
		Selecionar região		✓		
		Selecionar zona			✓	
		Selecionar estação				✓

Figura 7.4: Listagem das opções de visualização disponíveis no *dashboard* do AQI

Como se vê na figura, há filtros comuns a todos os âmbitos espaciais, já que é sempre possível selecionar o poluente e o intervalo de tempo (em anos) em análise.

A granularidade temporal, cujas opções incluem ano, mês ou semana, permite que o utilizador veja os dados agregados a diferentes níveis temporais e que deles possa retirar conclusões ao nível que deseja. Esta opção está disponível para os âmbitos espaciais de País, Região e Zona. No entanto, no caso da análise ao nível de uma estação individual, a opção de seleção de granularidade temporal não está disponível, uma vez que a visualização dos dados pode ser apresentada diretamente com uma granularidade diária — a granularidade máxima permitida pelos valores diários do AQI. Esta abordagem elimina a necessidade de agregação dos dados, garantindo representações claras e precisas.

Adicionalmente, para os âmbitos espaciais Região, Zona e Estação, o utilizador pode selecionar qual a instância que pretende analisar, ou seja, qual região, qual zona específica ou qual estação individual em análise.

Esta estrutura de opções de visualização do cabeçalho garante flexibilidade na exploração dos dados, permitindo análises tanto gerais quanto detalhadas, adaptadas às

necessidades e objetivos do utilizador.

7.3.2 Métricas e a sua representação

Para proporcionar uma perspetiva geral sobre a qualidade do ar em níveis que abrangem múltiplas estações (País, Região e Zona), foi essencial definir métricas adequadas que sintetizassem a informação de forma clara e acessível. Neste dashboard, uma das métricas selecionadas é a **percentagem de dias registados em cada categoria do AQI**, permitindo avaliar, para a granularidade temporal escolhida, a distribuição dos dias em cada uma das categorias do índice. Por exemplo, ao optar pela granularidade anual, o utilizador pode verificar qual a percentagem de dias por ano que pertence a cada categoria do AQI.

Para a representação desta métrica, foi adotado um gráfico de área empilhada, com cores associadas a cada categoria do AQI, como se pode ver na Figura 7.2. Este tipo de visualização foi preferido em detrimento de gráficos de barras empilhadas, dado que permite ilustrar de forma mais eficaz a continuidade dos dados e a evolução das percentagens das categorias ao longo do tempo.

É importante destacar que as cores atribuídas a cada categoria do AQI neste *dashboard* diferem das cores utilizadas no site do Qualar, conforme descrito na Secção 4.1. No esquema de cores do Qualar, a categoria "Bom" é representada por um verde mais escuro, enquanto a categoria "Muito Bom" utiliza um verde mais claro. No entanto, este esquema pode ser pouco intuitivo para utilizadores não familiarizados com o esquema de cores do Qualar, uma vez que, em dados categóricos ordinais, espera-se que o gradiente de cores respeite a ordem das categorias. Assim, optou-se por inverter estas cores no dashboard, atribuindo o verde mais escuro à categoria "Muito Bom" e o verde mais claro à categoria "Bom", de forma a alinhar o esquema cromático com as expectativas intuitivas dos utilizadores.

Outra métrica implementada no *dashboard* é o **valor médio do AQI**, que reflete a média dos valores diários do índice registados ao longo do período e âmbito geográfico selecionados. Esta métrica complementa a análise da percentagem de dias em cada categoria do AQI, oferecendo uma perspetiva quantitativa mais concreta. Enquanto a métrica de percentagens apresenta a distribuição dos dias por intervalos de categorias, o valor médio permite uma comparação mais detalhada e direta entre anos, fornecendo uma noção mais precisa sobre a qualidade do ar ao longo do tempo.

Por exemplo, dois anos podem apresentar percentagens semelhantes de dias em cada categoria, mas ainda assim diferirem significativamente nos valores médios. Tal situação pode ocorrer se, em um dos anos, os valores diários se situarem consistentemente próximos aos limites superiores das categorias. Assim, as duas métricas complementam-se: juntas oferecem uma análise mais abrangente, embora também possam ser interpretadas de forma independente.

A representação visual desta métrica varia consoante o contexto. Na maioria das situações, é utilizado um gráfico de linhas, como os apresentados na Figura 7.5, que facilmente mostra a evolução: uma única linha para a visão geral, duas linhas para a comparação

entre os dois tipos de estação e duas ou mais linhas para a comparação entre subdivisões do âmbito selecionado. Quando várias linhas são apresentadas simultaneamente, estas são identificadas por cores distintas, acompanhadas por uma legenda. Estas cores foram cuidadosamente selecionadas de forma a não coincidir com nenhuma cor usada para a escala do AQI.

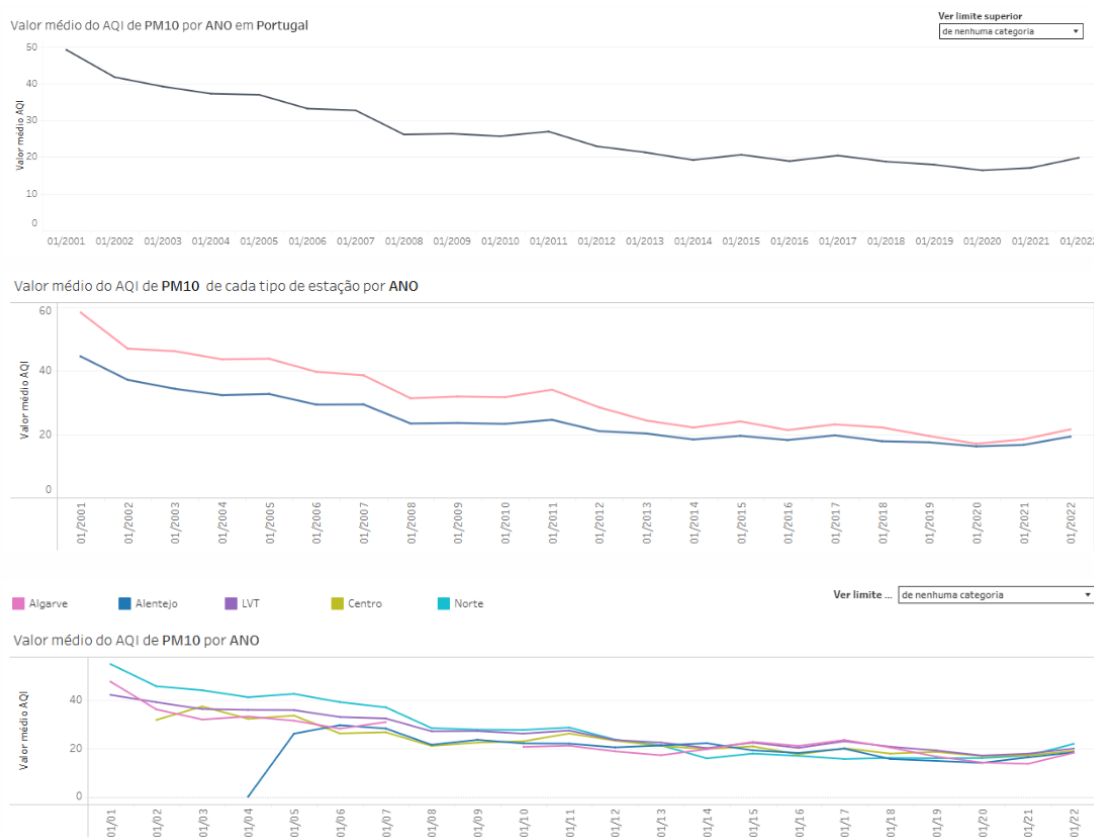


Figura 7.5: Gráficos de linhas que representam o valor médio do AQI na perspetiva geral, de comparar tipos de estação e de comparar regiões, respetivamente

No entanto, em cenários onde o número de subdivisões é elevado, como na comparação das várias estações dentro de uma zona, o gráfico de linhas pode tornar-se de difícil interpretação. Para resolver esta limitação, optou-se pela utilização de diagramas de caixas (*box plots*), que oferecem uma visualização mais clara e acessível dos dados neste contexto específico, como mostra a Figura 7.6.

Visto que interpretar o valor médio do AQI requer familiaridade com os intervalos associados a cada categoria, a análise por parte de utilizadores menos experientes pode ser dificultada. Para contornar esta barreira, foi introduzida uma funcionalidade que permite exibir, sobre a visualização, os limites superiores das categorias "Muito Bom" e "Bom" (individualmente, ambas ou nenhuma). Esta funcionalidade oferece um contexto adicional, permitindo que qualquer utilizador, independentemente do seu nível de familiaridade com o AQI, compreenda facilmente se um valor médio é elevado ou baixo em relação às categorias de qualidade do ar.

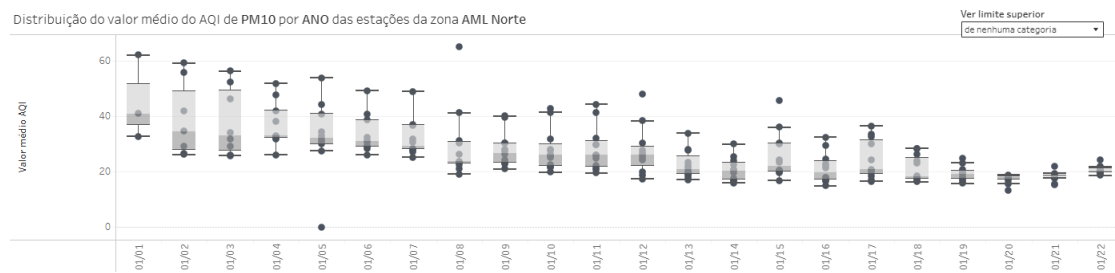


Figura 7.6: Diagrama de caixas que o valor médio do AQI na perspectiva de comparar estações

Outra métrica implementada no *dashboard* é a determinação dos **valores médio e máximo do número de estações de qualidade do ar** que medem o poluente selecionado dentro do âmbito espacial escolhido. Esta métrica desempenha um papel fundamental ao fornecer contexto adicional para a interpretação dos valores medidos e agregados. Ao indicar quantas estações estão a contribuir para os resultados apresentados, esta métrica permite ao utilizador compreender melhor a representatividade e a abrangência dos dados analisados em cada cenário.

Dado o seu carácter informativo, esta métrica é apresentada de forma simples, em formato numérico, realçando a sua função de suporte na análise, sem sobrecarregar as visualizações principais com informações complementares.

7.3.3 Tooltips e outras interações

Como mencionado anteriormente, os *tooltips* são elementos fundamentais do dashboard. Neste contexto específico, tanto na visualização das percentagens de dias em cada categoria do AQI quanto na análise da média do AQI, os *tooltips* desempenham um papel importante ao auxiliar a identificação da data correspondente a um ponto específico na visualização e na concretização do valor representado. Para além dessa função, os *tooltips* também ajudam a identificar o tipo de estação ou a subdivisão que está a ser analisada.

No mapa, presente em vários contextos do dashboard, os *tooltips* oferecem informações adicionais sobre cada estação, incluindo o nome da estação e os poluentes que mede. Além disso, ao selecionar uma estação específica, o *tooltip* passa a exibir um link que funciona como um atalho direto para a página dedicada a essa estação, como ilustrado na Figura 7.7. Esta funcionalidade proporciona uma navegação eficiente e uma exploração detalhada dos dados, o que enriquece a utilização do dashboard.

7.3.4 Navegação

A navegação entre os diferentes contextos do *dashboard* é realizada, principalmente, através do cabeçalho. Como cada âmbito espacial oferece vários tipos de visualização que podem ser selecionados, foi necessário definir cuidadosamente o comportamento da navegação quando ocorre uma alteração no âmbito espacial. Para facilitar a compreensão das opções

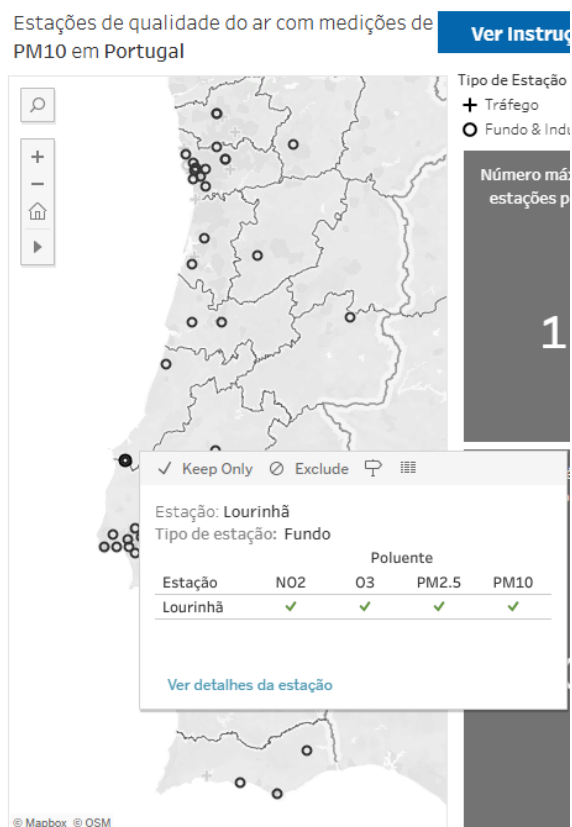


Figura 7.7: Tooltip da estação Lourinhã, no mapa do contexto País Geral

de navegação escolhidas que serão descritas de seguida, apresenta-se na Figura 7.8 um esquema que ilustra as possibilidades de navegação do dashboard.

Tendo em conta o tipo de utilização que vai ser dada a este *dashboard* e com o objetivo de facilitar a exploração dos dados por parte do utilizador, foi decidido que, ao alterar o âmbito espacial enquanto se está na perspetiva geral, o *dashboard* redirecionará o utilizador para a perspetiva geral do novo âmbito selecionado. Este comportamento reflete a suposição de que o objetivo principal do utilizador será obter uma visão global do novo contexto escolhido.

De forma semelhante, caso o utilizador esteja a comparar os tipos de estação de um determinado âmbito espacial e opte por alterar o âmbito, o *dashboard* manterá a mesma perspetiva — "Comparar Tipos de Estação"— para o novo âmbito espacial. Esta decisão baseia-se na elevada probabilidade de o utilizador desejar realizar o mesmo tipo de análise em contextos diferentes, sejam eles mais amplos ou mais específicos. Assim, a navegação é projetada para ser intuitiva e adaptada às necessidades exploratórias do utilizador.

Quando o tipo de visualização selecionado envolve a comparação das subdivisões de um determinado âmbito espacial, o comportamento do *dashboard* ao alterar o âmbito espacial é diferente. Neste caso, não é adequado que o *dashboard* redirecione automaticamente o utilizador para a comparação das subdivisões do novo âmbito selecionado.

Por exemplo, se um utilizador estiver a comparar as regiões do país e optar por mudar

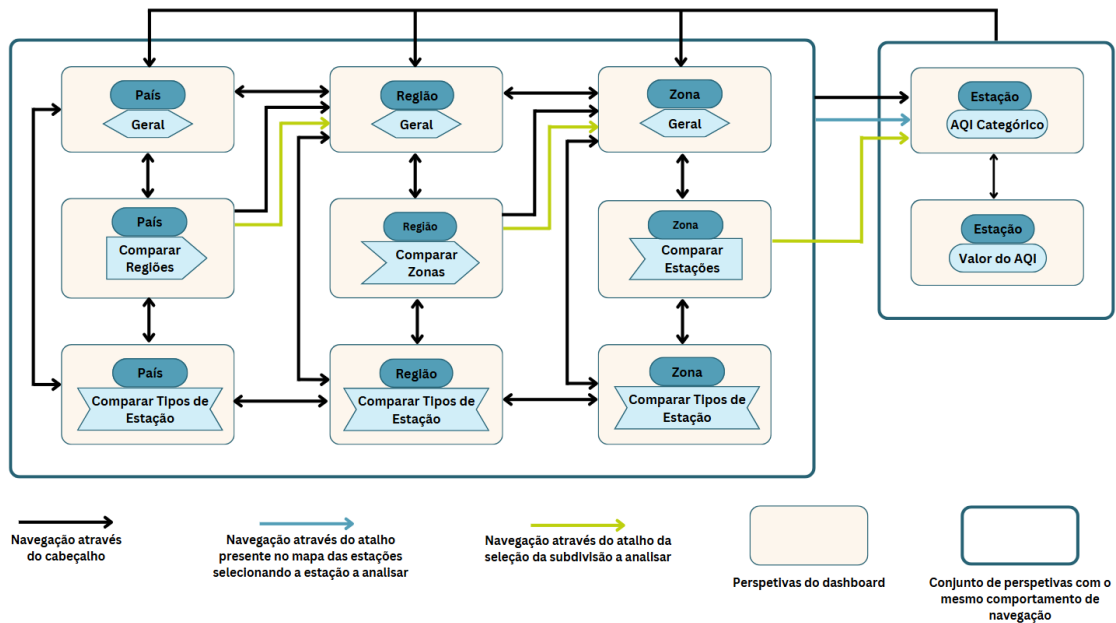


Figura 7.8: Esquema de navegação do *dashboard* do AQI

o âmbito espacial para "Região", é mais provável que deseje explorar uma das regiões em maior detalhe, ou seja, visualizar a sua perspectiva geral, em vez de analisar as zonas (subdivisões das regiões) que a compõem.

Com base neste raciocínio, foi definido que, ao alterar o âmbito espacial enquanto se está numa visão que compara subdivisões, o *dashboard* redirecionará o utilizador para a visão geral do novo âmbito escolhido. Esta abordagem assegura que a navegação responde às expectativas e objetivos do utilizador.

Além da navegação pelo cabeçalho, já mencionada anteriormente, o *dashboard* disponibiliza outras formas de navegação que podem facilitar a utilização e otimizar o processo de análise. Uma dessas alternativas encontra-se nos *tooltips* do mapa das estações, conforme descrito anteriormente, que permite redirecionar o utilizador diretamente para a página específica de uma estação, onde poderá ver os seus dados em detalhe.

Adicionalmente, as perspectivas que comparam as subdivisões de um âmbito espacial oferecem outra funcionalidade de navegação prática. Ao clicar no nome de uma subdivisão presente nas visualizações, o utilizador é automaticamente redirecionado para a perspectiva geral da subdivisão selecionada. Este atalho elimina a necessidade de utilizar o cabeçalho para selecionar o âmbito espacial correto e, em seguida, escolher a subdivisão específica que se pretende visualizar, tornando o processo de análise mais eficiente.

7.4 Dashboard dos padrões horários

Esta secção apresenta o *dashboard* desenvolvido para a análise dos padrões horários dos poluentes, detalhando os diferentes tipos de análise possíveis, as métricas utilizadas, a forma como estas foram representadas, bem como os *tooltips* relevantes e as opções de

navegação disponíveis. Para contextualizar a descrição que se segue, um exemplo do *dashboard* pode ser encontrado na Figura 7.9 e uma breve apresentação do mesmo pode ser vista [neste vídeo](#).

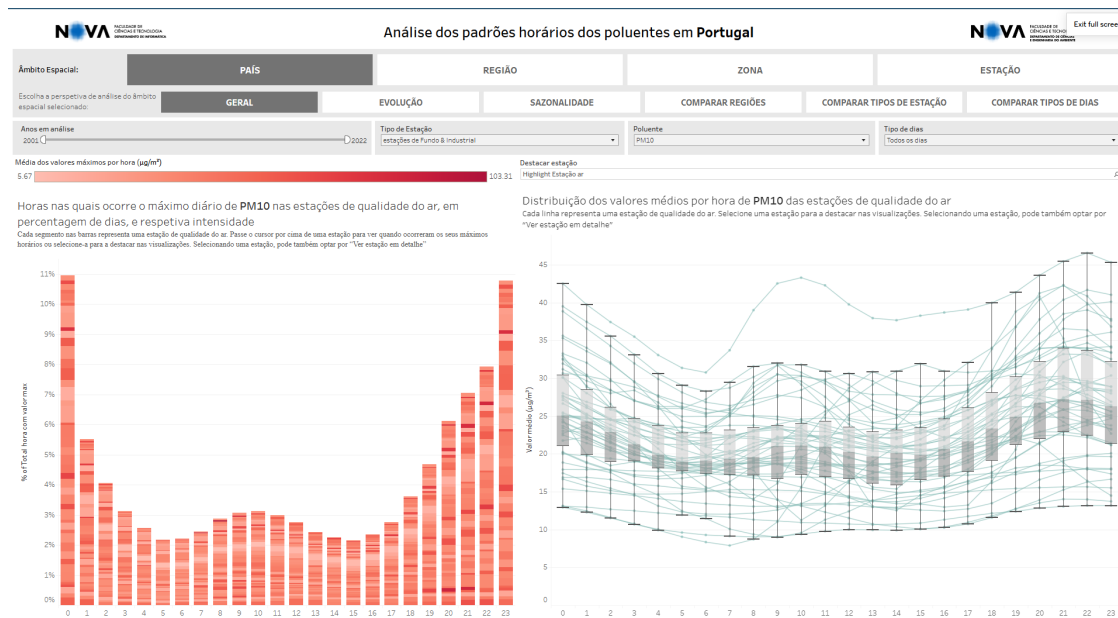


Figura 7.9: *Dashboard* da análise dos padrões horários no âmbito espacial "País" e perspetiva "Visão Geral"

7.4.1 Perspetivas de análise

Para permitir uma análise abrangente dos padrões horários dos poluentes, foram utilizados neste *dashboard* os mesmos âmbitos espaciais descritos anteriormente: país, região, zona e estação. Cada âmbito espacial oferece também múltiplas perspetivas, algumas das quais comuns ao *dashboard* do AQI. Contudo, considerando que o foco deste *dashboard* é a análise das concentrações dos poluentes nas várias horas do dia, tornou-se necessário incluir opções adicionais de visualização.

Assim como no *dashboard* anterior, estão disponíveis as opções de "Visão Geral", "Comparação das Subdivisões" e "Comparação do Tipo de Estações". Adicionalmente, foram incluídas novas opções específicas para a análise horária. A visualização de "Evolução" permite observar, ao longo dos anos, como os padrões horários se alteraram no âmbito espacial selecionado. Outra funcionalidade introduzida é a análise da "Sazonalidade", que proporciona uma visão das variações dos padrões horários ao longo dos meses do ano.

Uma outra opção relevante neste *dashboard* é a "Comparação do Tipo de Dias", que distingue os padrões horários em dias úteis face aos observados em fins de semana e feriados. Esta análise é especialmente pertinente, dado que os padrões horários de concentração de poluentes são fortemente influenciados por comportamentos humanos, nomeadamente horas de ponta, que variam significativamente consoante o tipo de dia.

Um resumo esquemático das opções disponíveis para cada âmbito espacial, que realça as diferenças e semelhanças entre eles, pode ser consultado na Figura 7.10.

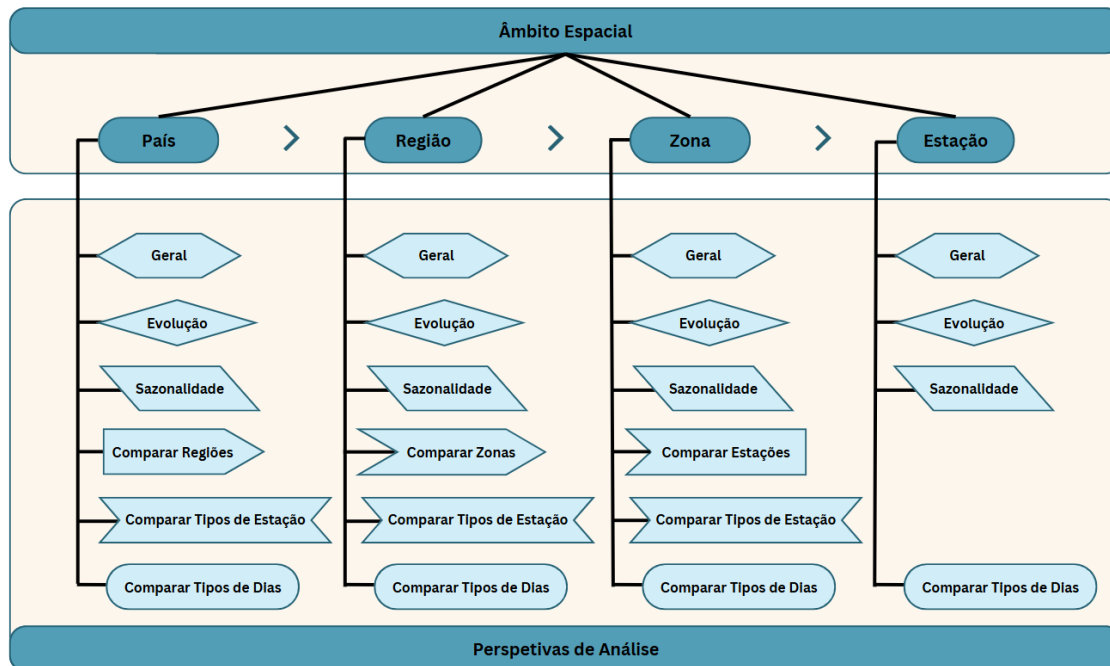


Figura 7.10: Perspetivas de análise disponíveis para cada âmbito espacial

Como se pode constatar, comparando a Figura 7.2 e a 7.9, o cabeçalho deste *dashboard* foi desenvolvido com uma estrutura e design muito semelhantes aos do *dashboard* do AQI, previamente apresentado, para garantir consistência visual e funcional. Esta abordagem facilita a utilização e aprendizagem dos *dashboards* por parte de utilizadores que tenham interesse nos dois tipos de análise.

Tal como no *dashboard* anterior, o cabeçalho inclui diversas opções que permitem controlar e personalizar as visualizações. A Figura 7.11 ilustra todas as opções disponíveis no cabeçalho, organizadas por âmbito espacial. Como se vê na figura, independentemente do contexto, o utilizador pode selecionar o tipo de poluente e os anos a analisar. De forma semelhante, o cabeçalho apresenta todos os âmbitos espaciais disponíveis e mostra as perspetivas de análise específicas para cada um.

Tal como no *dashboard* anterior é possível escolher qual a instância da subdivisão em análise. Na maioria das perspetivas, é também possível aplicar filtros adicionais, como o tipo de estação (Tráfego ou Fundo & Industrial) e o tipo de dia (Dias Úteis ou Fins de Semana e Feriados).

Contudo, algumas restrições foram implementadas para preservar a coerência das visualizações e evitar potenciais erros. Como o objetivo da perspetiva "Comparar Tipos de Estação" é a visualização simultânea de todos os tipos de estação, a disponibilização de um filtro que retirasse da análise um dos tipos de estação não seria desejável, pois não permitiria ao utilizador a comparação entre os vários tipos de estação. Ao não permitir que este filtro afete a visão de comparação de tipos de estação, evita-se que o utilizador,

			Âmbito Espacial			
			País	Região	Zona	Estação
Opções de visualização	Filtros comuns	Poluente	✓	✓	✓	✓
		Anos a Visualizar	✓	✓	✓	✓
	Perspetivas de Análise	Visão Geral	✓	✓	✓	✓
		Evolução	✓	✓	✓	✓
		Sazonalidade	✓	✓	✓	✓
		Comparar Tipos de Dias	✓	✓	✓	✓
		Comparar Tipos de Estação	✓	✓	✓	
		Comparar Regiões	✓			
		Comparar Zonas		✓		
		Comparar Estações			✓	
		Selecionar Região		✓		
		Selecionar Zona			✓	
	Filtros específicos	Selecionar Estação				✓
		Selecionar Tipo de Estação	✓*	✓*	✓*	
		Selecionar Tipo de Dia	✓**	✓**	✓**	✓**

* Não disponível quando está selecionado "Comparar Tipos de Estação"
 ** Não disponível quando está selecionado "Comparar Tipos de Dias"

Figura 7.11: Opções de visualização disponíveis para cada âmbito espacial

acidentalmente, selecione apenas um tipo de estação e não compreenda o motivo pelo qual a comparação não apresenta os resultados esperados. Esta decisão foi crucial para a prevenção de erros e para garantir que as análises sejam sempre consistentes.

De forma semelhante, a opção de selecionar o tipo de dia não está acessível na visão "Comparar Tipos de Dias", uma vez que o propósito desta análise é precisamente comparar todos os tipos de dia em simultâneo.

7.4.2 Métricas e sua representação

Também neste *dashboard* foi necessário definir métricas adequadas que permitissem uma análise eficaz dos padrões horários a vários níveis de agregação de estações e agregações temporais.

Uma das principais métricas utilizadas é a **percentagem de dias cujo valor máximo horário de concentração de poluentes ocorreu em cada hora**, ou seja, em cada hora do dia é possível determinar a percentagem de máximos aí registados. Esta métrica permite

identificar a distribuição horária dos máximos ao longo das horas do dia. Complementarmente, na mesma visualização, é apresentada a **média dos valores máximos que ocorrem em cada hora**. Assim, é possível avaliar não apenas a frequência com que os máximos acontecem em determinadas horas, mas também a intensidade média desses máximos. Este cruzamento de informações permite distinguir entre horários em que os máximos são mais frequentes e horários em que os valores dos máximos são mais elevados, possibilitando retirar conclusões distintas conforme a coincidência ou não destas duas métricas.

A representação destas métricas varia de acordo com a perspectiva escolhida, de forma a incluir informações adicionais relevantes para cada contexto. Contudo, algumas características são consistentes em todos os cenários, garantindo a consistência interna e facilidade em aprender o dashboard. Em todos os contextos, a cor é utilizada para representar o valor médio dos máximos diários. A cor vermelha foi escolhida para representar a métrica, de modo a transmitir visualmente a ideia de gravidade, onde quanto mais escuro o tom, mais elevada a concentração de poluentes e piores as condições de qualidade do ar. Adicionalmente, as horas são sempre apresentadas sequencialmente no eixo horizontal, com a hora 0 à esquerda e a hora 23 à direita, facilitando a leitura e interpretação dos padrões temporais.

Na perspectiva "**Geral**", a percentagem de dias é apresentada no eixo vertical, sendo concretizada através de barras, como ilustrado na Figura 7.12a. Estas barras são segmentadas por estação, o que permite observar a contribuição de cada estação em cada hora. Assim, é possível identificar padrões gerais sobre as horas em que os máximos ocorrem e, simultaneamente, obter um nível adicional de detalhe sobre os comportamentos específicos de cada estação. Esta segmentação está presente em todos os âmbitos espaciais que agregam estações (País, Região, Zona), sendo que no âmbito Estação tal abordagem não seria aplicável.

Na perspectiva "**Evolução**", apresentada na Figura 7.12b, a análise dos dados ao longo dos anos requer a apresentação sequencial desses anos para permitir uma interpretação coerente. A variável visual que melhor representa a sequência temporal é a **posição**. No entanto, na visualização do contexto anterior, a posição (no eixo vertical) era utilizada para representar a métrica da percentagem de dias. Neste caso, como a posição precisa ser ocupada pelos anos para transmitir a ideia de continuidade temporal, foi necessário recorrer a outra variável visual para representar a percentagem de dias.

Dado que a **cor** já está atribuída à representação do valor médio dos máximos diários, de forma a manter a consistência visual entre os diferentes contextos, optou-se por utilizar o **tamanho** dos elementos gráficos para indicar a percentagem de dias - quanto maior o elemento, mais elevada a percentagem conforme demonstrado na Figura 7.12b. Esta decisão assegura que as informações relevantes são claramente distinguidas e compreensíveis.

Na perspectiva "**Sazonalidade**", a representação é semelhante à da visão "Geral", uma vez que utiliza barras para representar a percentagem de dias. Contudo, no contexto da sazonalidade, as barras não são segmentadas da mesma forma, devido à limitação de altura causada pela partilha do eixo vertical com os meses, como é visível na Figura 7.12c.

Os meses estão dispostos no eixo vertical, pois, tal como na perspetiva "Evolução", é essencial transmitir a ideia de sequencialidade temporal, sendo a posição a variável visual mais adequada para esse fim.

Neste caso, a divisão do eixo vertical em 12 partes (correspondentes aos meses) permite a utilização de barras para representar a percentagem de dias sem comprometer a interpretação visual. Não foi, portanto, necessário recorrer ao tamanho como variável visual para representar a percentagem de dias. No entanto, a limitação da altura das barras, que decorre da divisão do eixo pelos meses, impede que estas sejam segmentadas de forma perceptível. Nestas condições, a segmentação das barras comprometeria a análise da sazonalidade. O mesmo se aplica aos restantes contextos

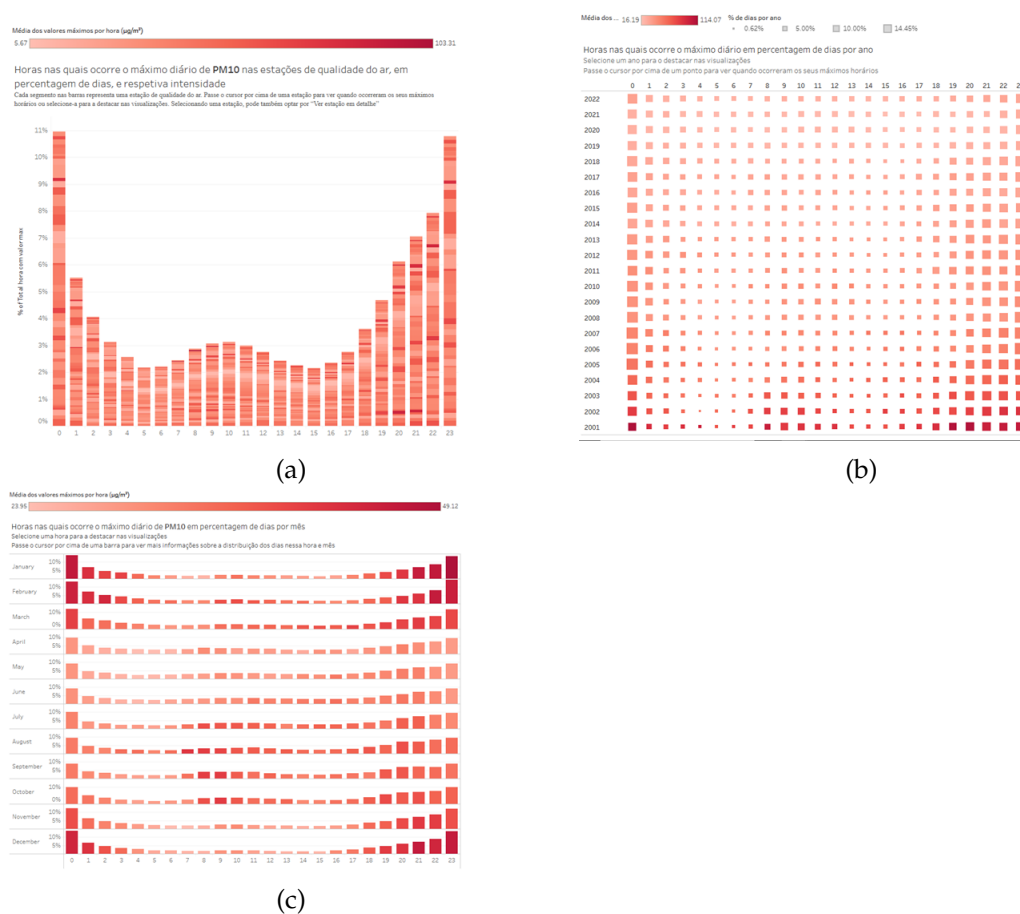


Figura 7.12: Visualização das métricas "percentagem de dias com máximo diário em cada hora" e "média dos valores máximos em cada hora" para o âmbito espacial País e perspetiva: (a) Geral (b) Evolução (c) Sazonalidade

Outra métrica principal deste *dashboard* é o **valor médio das concentrações de poluentes em cada hora**. Esta métrica complementa as previamente descritas, permitindo uma análise mais abrangente ao considerar todas as medições do contexto selecionado, e não apenas os valores máximos. Apesar da sua representação variar consoante a perspetiva escolhida, como se verifica na Figura 7.13, a métrica apresenta elementos comuns entre as representações, incluindo a utilização de uma escala horária consistente.

Em algumas perspectivas, esta métrica é representada através de um gráfico de linhas, no qual o eixo vertical indica os valores médios das concentrações.

Nas perspectivas "Geral", "Comparar Tipos de Estação" e nos que comparam subdivisões espaciais, o gráfico de linhas mostra os valores médios ao nível de cada estação, onde cada linha representa uma estação individual. Esta abordagem foi escolhida para preservar o detalhe, já que o espaço disponível do *dashboard* assim o permitiu, evitando a perda significativa de informação que resultaria da agregação das estações num único valor médio. Desta forma, é possível identificar padrões comuns, destacar estações com comportamentos atípicos e realizar outras análises relevantes.

Na perspectiva "Geral", o gráfico de linhas é complementado por um boxplot posicionado por cima das linhas, permitindo uma análise estatística adicional que enriquece a interpretação geral ao proporcionar métricas que agregam todas as estações do contexto, como ilustrado na Figura 7.13a.

Nas perspectivas "Comparar Tipos de Estação" e comparações de subdivisões espaciais, as linhas são coloridas de acordo com as características associadas às estações. No primeiro caso, as linhas são coloridas pelo tipo de estação; no segundo, pela subdivisão a que pertencem, conforme apresentado na Figura 7.13b. Apesar da sobreposição das linhas, a interpretação não é comprometida já que a funcionalidade de destaque (*highlight*) permite uma interpretação clara e facilita a análise.

Na perspectiva "Evolução", o gráfico de linhas apresenta uma abordagem diferente: cada linha representa um ano. Neste contexto, as linhas são coloridas com um gradiente sequencial, permitindo identificar alterações nos padrões horários ao longo do tempo, como mostrado na Figura 7.13c. A opção de agregar os valores de todas as estações no contexto selecionado (em vez de representar cada estação individualmente) foi feita para evitar a sobreposição excessiva de dados (*overplotting*) uma vez que tal impediria a avaliação da evolução das concentrações ao longo dos anos, o principal objetivo deste contexto.

Na perspectiva "Comparar Tipos de Dias", o gráfico de linhas também exibe áreas que representam os percentis 5 e 95 das concentrações, conforme exemplificado na Figura 7.13d. Esta abordagem, que agrega os dados de todas as estações do contexto selecionado, oferece uma visão mais detalhada do que seria possível com apenas os valores médios, permitindo análises mais detalhadas e completas.

No perspectiva "Sazonalidade", foi inicialmente considerado o uso de um gráfico de linhas, com cada linha a representar um mês. No entanto, devido à elevada sobreposição entre as linhas, que dificultava a leitura e interpretação do gráfico, optou-se por uma abordagem alternativa: a utilização de um *heatmap*.

Neste *heatmap*, a cor representa o valor médio das concentrações de poluentes para cada hora, como ilustrado na Figura 7.14. Esta representação facilita a identificação de diferenças e semelhanças entre os meses, eliminando o problema de sobreposição de elementos presente no gráfico de linhas.

Além disso, o *heatmap* apresenta uma vantagem adicional já que a sua estrutura se

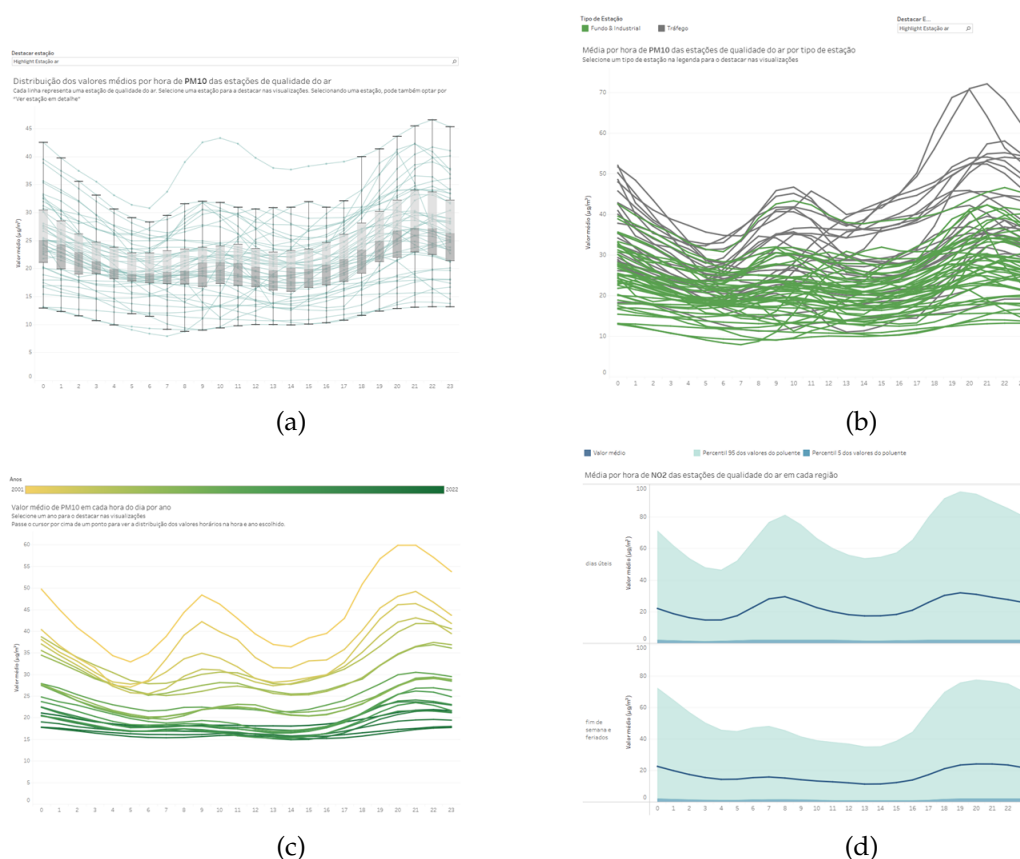


Figura 7.13: Visualização do valor médio para o âmbito espacial País e perspectiva: (a) Geral (b) Comparar Tipos de Estação (c) Evolução (d) Comparar Tipos de Dias

alinha com a visualização dos valores máximos diários por hora, permitindo uma análise sazonal mais clara e integrada. Esta abordagem oferece um suporte visual que melhora a experiência do utilizador e simplifica a exploração dos padrões sazonais ao longo do ano.

Embora existam variações nos tipos de visualizações utilizadas para apresentar as mesmas métricas, foi fundamental assegurar que, independentemente do formato gráfico escolhido, as visualizações que representam a mesma métrica permanecessem sempre na mesma posição ao longo do dashboard. Este cuidado visa garantir uma consistência interna na interface e facilitar a navegação e a interpretação por parte do utilizador.

Uma vez que as visualizações variam de acordo com o contexto do dashboard, foram implementadas medidas adicionais para apoiar o utilizador na compreensão de cada uma. Para além da presença habitual de um título descritivo associado a cada visualização, foi incluída uma pequena descrição instrutiva, que explica de forma breve o propósito e as características de cada gráfico.

Adicionalmente, sempre que variáveis visuais como a cor ou o tamanho são utilizadas para transmitir informações, estas são acompanhadas por uma legenda clara e acessível. Esta prática garante que as visualizações sejam compreendidas de forma precisa, promovendo uma experiência de utilização mais intuitiva e eficaz.

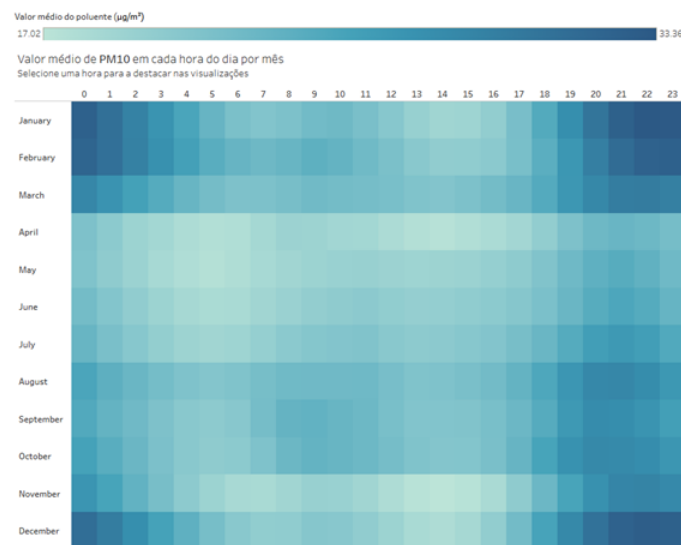


Figura 7.14: Visualização dos valores médios das concentrações dos poluentes por hora na perspectiva "Sazonalidade"

7.4.3 Tooltips e interações

Dada a sua importância para a interpretação das visualizações, os *tooltips* foram implementados em todas as visualizações deste dashboard. Além disso, foram introduzidas algumas interações para melhorar a usabilidade por parte dos utilizadores.

Nos *tooltips* das visualizações relativas aos máximos diários, é exibido o valor exato da média dos valores máximos. Este detalhe é particularmente relevante, pois a visualização representa este valor através de uma cor, impossibilitando a determinação do valor exato apenas pela análise visual.

Nas visualizações segmentadas por estação, o *tooltip* indica adicionalmente qual a estação correspondente ao segmento em foco. Esta funcionalidade pode ser observada no *tooltip* de exemplo, na Figura 7.15. À semelhança do *dashboard* anterior, os *tooltips* incluem também um atalho direto para a página de detalhes da estação selecionada, facilitando o acesso a informações mais específicas.

A Figura 7.15 demonstra ainda uma das interações disponíveis no dashboard: ao selecionar um segmento que representa uma estação numa hora específica, todos os segmentos dessa estação em outras horas são automaticamente destacados. Esta funcionalidade facilita a análise de uma estação ao longo de várias horas. Além disso, a seleção destaca também os pontos correspondentes à mesma estação na visualização que representa os valores médios, promovendo uma análise mais integrada e eficiente.

7.4.4 Navegação

Tal como no *dashboard* anterior, a navegação entre os vários contextos deste *dashboard* é feita principalmente através do cabeçalho. A estrutura de navegação segue uma lógica semelhante à do *dashboard* do AQI, com uma exceção no âmbito espacial Estação. Este

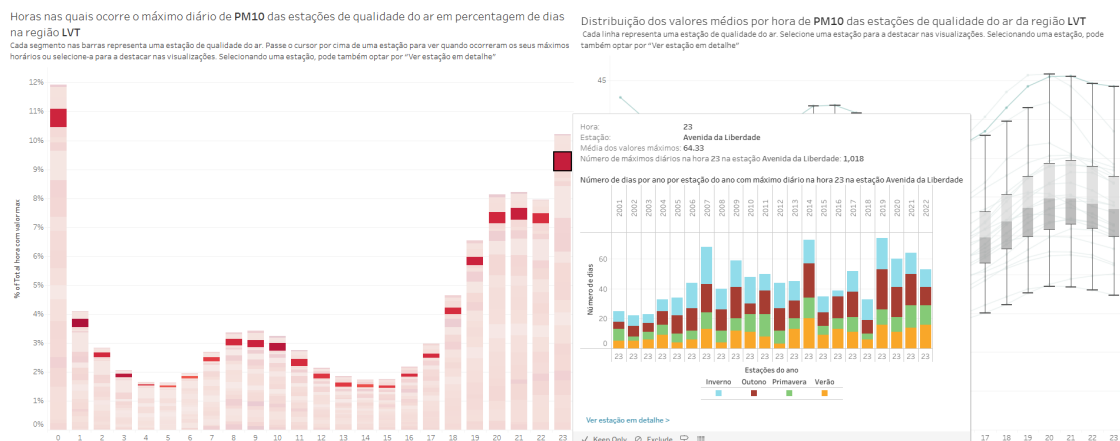


Figura 7.15: Visualização dos valores médios das concentrações dos poluentes por hora na perspetiva "Sazonalidade"

contém mais perspetivas do que no *dashboard* anterior, e, quando o utilizador está na perspetiva de comparar as subdivisões de uma zona (neste caso, as estações), ao seleccionar o âmbito espacial Estação, será redireccionado para o contexto geral dessa estação, tal como acontece nas restantes perspetivas de comparação de subdivisões.

Para as perspetivas presentes neste *dashboard* que não existem no do AQI, o comportamento mantém-se consistente. Assim, ao alternar o âmbito espacial enquanto se observa uma perspetiva como **Evolução**, **Sazonalidade** ou **Comparar Tipos de Dias**, o utilizador continuará na mesma perspetiva, mas aplicada ao novo âmbito espacial escolhido.

Este *dashboard* também oferece opções de navegação adicionais fora do cabeçalho. Sempre que as estações individuais são discriminadas em visualizações, é possível seleccionar uma estação e clicar num atalho do tooltip, como descrito na secção anterior, que redireciona diretamente para a visão geral dessa estação específica.

À semelhança do *dashboard* anterior, ao comparar as subdivisões de um âmbito espacial, o utilizador pode clicar sobre o nome de uma subdivisão na visualização à esquerda, sendo redireccionado para a visão geral dessa mesma subdivisão. Esta funcionalidade reforça a facilidade de interação com o dashboard, permitindo uma experiência de navegação mais fluida e eficiente para os utilizadores.

7.5 Dashboard das Poeiras

Este *dashboard* é dedicado à análise do impacto das poeiras provenientes dos desertos africanos em Portugal continental. O foco principal recai sobre o poluente PM_{10} , uma vez que as suas concentrações são as mais significativamente influenciadas por estas poeiras.

Nesta secção, serão detalhadas as principais análises que podem ser realizadas com este dashboard, as métricas empregues para interpretar os dados e os restantes elementos que o compõem, como os *tooltips* e as interações disponíveis. O objetivo é proporcionar uma visão abrangente sobre a estrutura e funcionalidades do dashboard, demonstrando

como este permite explorar e compreender os efeitos das poeiras em diferentes contextos.

7.5.1 Métricas utilizadas

Dada a especificidade da temática abordada por este dashboard, é essencial clarificar a terminologia utilizada para permitir a interpretação das métricas em análise. Para compreender corretamente os dados apresentados, é importante reconhecer três conceitos fundamentais: **evento de poeiras**, **episódio de poeiras** e **intensidade média das poeiras**.

- **Evento de Poeiras:** Refere-se a um dia em que, numa determinada região ou estação, foi registada a ocorrência de poeiras provenientes dos desertos africanos.
- **Episódio de Poeiras:** Trata-se de uma sequência de eventos de poeiras que ocorrem de forma consecutiva. Cada episódio é caracterizado pela sua duração, medida em dias, podendo ter uma duração mínima de apenas um dia.
- **Intensidade Média das Poeiras:** Representa a intensidade média das poeiras ocorridas numa região. Este valor é calculado com base na fração natural do PM_{10} , descrita na Secção 6.2. A fração natural é determinada ao nível de cada estação de monitorização. Para obter a intensidade média de uma região, calcula-se a média dos valores das frações naturais de PM_{10} de todas as estações dessa região, de acordo com a agregação temporal considerada.

Assim, as principais métricas utilizadas neste dashboard, ao nível da região, incluem:

- **Número de Eventos de Poeiras:** Quantidade total de dias com ocorrência de poeiras.
- **Número Médio de Eventos de Poeiras:** Número médio de eventos numa determinada perspectiva ou agregação temporal.
- **Número de Episódios de Poeiras:** Total de episódios registados, considerando a sequência de eventos consecutivos.
- **Duração dos Episódios:** Duração total dos episódios em dias.
- **Número Médio de Episódios e Duração Média dos Episódios:** Valores médios obtidos com base na perspectiva escolhida e na agregação temporal.
- **Intensidade Média dos Eventos de Poeiras:** Média dos valores das frações naturais do PM_{10} associados aos eventos de poeiras numa região.

O *dashboard* também apresenta métricas ao nível das estações individuais de monitorização da qualidade do ar. Neste contexto, é fundamental analisar como os eventos de poeiras influenciam o cumprimento das normas estabelecidas pela União Europeia, descritas na Secção 2.4. Para esse efeito, os valores medidos de PM_{10} são ajustados, subtraindo a fração natural (um valor diário) à média diária registada do poluente. Os valores

ajustados obtidos são então utilizados para avaliar o impacto das poeiras no cumprimento das normas da UE, tanto no que diz respeito aos limites diários como aos limites anuais.

Além disso, ao nível das estações, considerou-se relevante analisar se os eventos de poeiras têm impacto nas concentrações de $PM_{2.5}$. Embora este poluente não esteja incluído nos dados específicos sobre poeiras, o *dashboard* permite a comparação entre os valores médios de $PM_{2.5}$ em dias com ocorrência de eventos de poeiras e em dias sem ocorrência, facilitando a identificação da influência dos eventos neste poluente.

7.5.2 Perspetivas de análise

Os dados utilizados no desenvolvimento deste *dashboard* referem-se apenas ao poluente PM_{10} e abordam um aspeto muito específico da qualidade do ar. Devido a esta particularidade, as perspetivas apresentadas neste *dashboard* diferem das apresentadas nos *dashboards* anteriores e são estruturadas de forma distinta, como se pode ver na Figura 7.16.



Figura 7.16: Cabeçalho do *dashboard* da análise das poeiras

Neste caso os dados estão disponíveis apenas ao nível da região e da estação e as análises de interesse são apenas a estes níveis. Assim, não se justifica a inclusão de uma opção para selecionar o âmbito espacial, uma funcionalidade presente nos *dashboards* anteriores.

As visualizações deste *dashboard* são, na sua maioria, apresentadas ao nível da região, permitindo estudar o impacto das poeiras de uma forma abrangente, sem detalhar a estação.

Para explorar os dados ao nível das regiões, é disponibilizada uma perspetiva de **visão geral** que apresenta informações sobre a ocorrência de dias com poeiras, as regiões afetadas e a intensidade média das poeiras. Esta perspetiva apresenta os dados sem qualquer tipo de agregação, exceto a necessária agregação dos valores de intensidade de cada estação, utilizada para calcular a intensidade média dos eventos em cada região.

Para facilitar a análise da evolução das poeiras ao longo dos anos, foram desenvolvidas três perspetivas específicas que ilustram essa evolução ao nível regional: **Evolução anual - Visão geral**, **Evolução anual - Número e intensidade dos eventos por mês** e **Evolução anual - Duração e frequência dos episódios**. Cada uma destas perspetivas foca aspetos distintos da evolução anual.

Na perspetiva **Evolução anual - Visão geral**, apresentada na Figura 7.17, como o nome indica, é apresentada uma visão abrangente da evolução anual, permitindo obter uma perceção geral sobre a evolução das quatro métricas a nível regional: intensidade média, número de eventos, número de episódios e a duração média dos episódios.

Na perspetiva **Evolução anual - Número e intensidade dos eventos por mês**, presente na Figura 7.18 é também visível a evolução anual mas apenas focada nos **eventos de poeiras**,

7.5. DASHBOARD DAS POEIRAS



Figura 7.17: Perspetiva de Evolução - Visão geral do *dashboard* da análise das poeiras

não abrangendo os episódios. Nesta perspetiva dá-se uma desagregação temporal que, possibilita não só a análise da evolução dos eventos ao longo dos anos mas também ao longo dos meses.

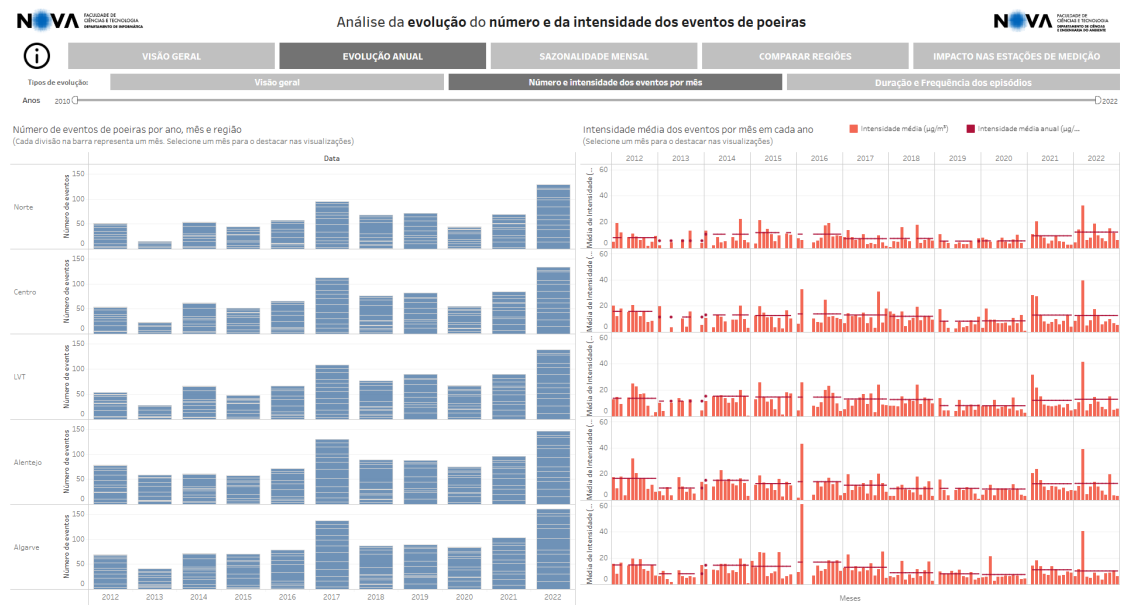


Figura 7.18: Perspetiva da Evolução anual - Número e intensidade dos eventos por mês do *dashboard* da análise das poeiras

Na perspetiva **Evolução anual - Duração e frequência dos episódios**, visível na Figura 7.19, o foco é nos episódios e é possível analisar as durações dos vários episódios ao longo dos anos, o que complementa a visão geral da evolução previamente apresentada.

CAPÍTULO 7. DESENVOLVIMENTO DOS DASHBOARDS

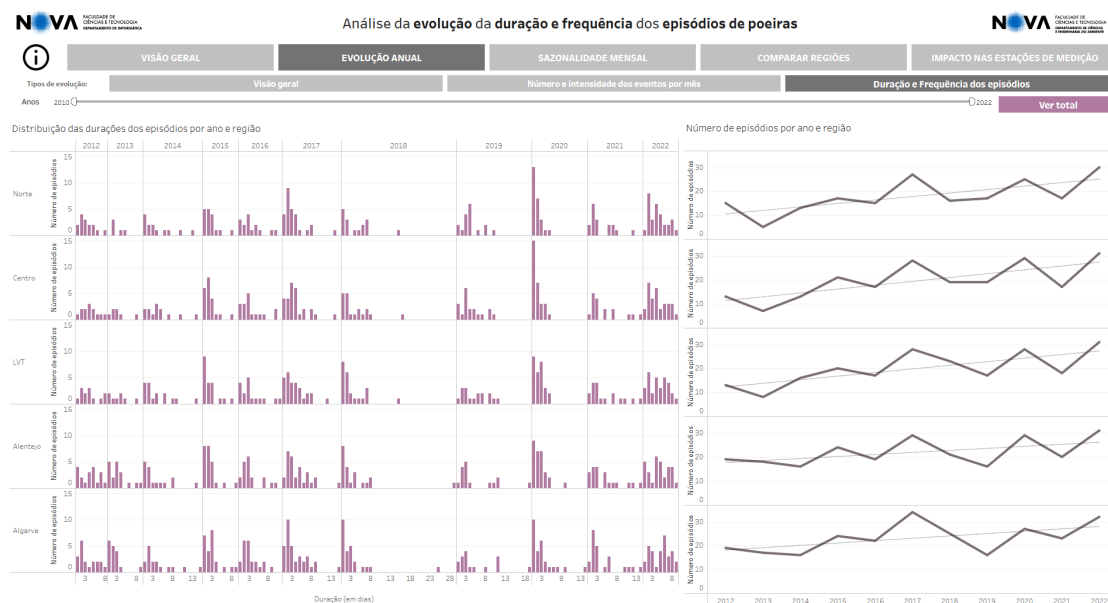


Figura 7.19: Perspetiva da Evolução anual - Número e intensidade dos eventos por mês do *dashboard* da análise das poeiras

De modo a permitir uma análise da sazonalidade dos eventos existe também a perspetiva de **Sazonalidade Mensal**. Esta perspetiva apresenta o número e a intensidade dos eventos agregados ao nível dos meses para que seja possível detetar padrões mensais.

Para permitir que se compare de uma forma geral todas as métricas ao nível regional em simultâneo, foi implementada a perspetiva **Comparar Regiões** que permite ter uma visão transversal das quatro métricas em todas as regiões, como se pode observar na Figura 7.20.

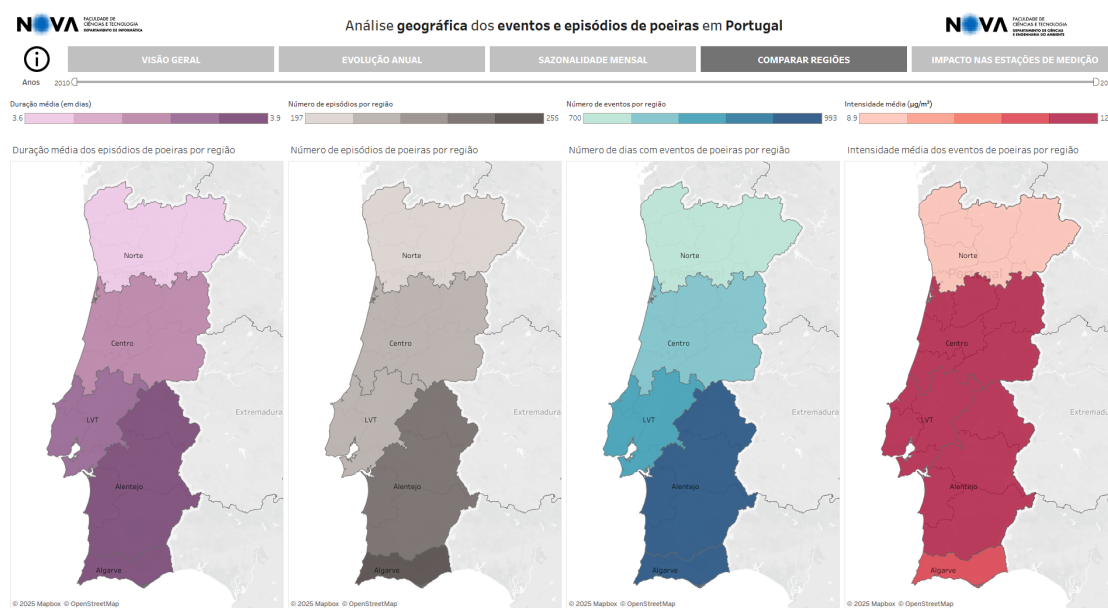


Figura 7.20: *Dashboard* da análise das poeiras na perspetiva de Comparar Regiões

Por fim, para analisar a ocorrência de poeiras a nível de estação existe a perspectiva **Impacto nas estações de medição**, onde é possível analisar de que forma as poeiras afetam o cumprimento das regras da UE tanto a nível anual como a nível diário, dependendo da opção selecionada. Através desta perspectiva é também possível observar como a ocorrência de eventos de poeiras afeta as medições de $PM_{2,5}$ ao nível das estações.

7.5.3 Representação das Métricas

A representação das várias métricas, como visto anteriormente, varia bastante de acordo com a perspectiva selecionada, porém, sempre que possível há elementos que se mantêm comuns para garantir consistência visual. No caso das métricas a nível regional, a utilização de cores é consistente ao longo de todas as perspectivas, isto é, a mesma métrica é sempre representada pela mesma cor. As cores atribuídas a cada métrica podem ser vistas na Figura 7.20, que mostra a perspectiva de "Comparar Regiões". A escolha da cor vermelha para representar a intensidade média foi intencional uma vez que transmite bem a ideia de gravidade e permite que um utilizador facilmente associe um tom de vermelho mais escuro a uma pior qualidade do ar.

Outro elemento comum a várias visualizações deste *dashboard* é a organização das regiões quando são apresentadas de forma discriminada. Sempre que as regiões são utilizados, a sua disposição segue a lógica geográfica do país: a região mais a sul é apresentada na parte inferior da visualização, enquanto a região mais a norte surge na parte superior da visualização.

Para representar a totalidade dos dias nos quais foram registados eventos, quando ocorreram e em que região, sem os agregar, ou seja sem recorrer a métricas como o número de eventos ou episódios e a sua duração foi utilizada a visualização que se apresenta na Figura 7.21. Esta visualização proporciona uma visão geral já que permite que dela se retirem várias informações distintas como uma ideia geral da evolução do número de eventos e da sua intensidade ao longo dos anos, como varia a ocorrência de eventos por mês, que regiões são mais afetadas, quais os eventos que afetaram o país na sua totalidade e quais afetaram apenas algumas regiões assim como identificar episódios mais ou menos longos. Esta visualização oferece um bom ponto de partida para a análise das poeiras e permite que o utilizador identifique quais os aspetos que pretende ver com mais detalhe, se a evolução, a sazonalidade, comparar as várias regiões ou analisar as poeiras ao nível das estações de monitorização de qualidade do ar.

Nas perspectivas da evolução anual as métricas são representadas em grande parte por gráficos de barras e de linhas que, ao usar a posição, a variável visual mais relevante para a transmissão de informação facilmente mostram a evolução ao longo dos vários anos e meses.

Como visto anteriormente na Figura 7.20, a perspectiva de comparar regiões mostra todas as métricas do nível regional utilizando a cor sobreposta no mapa de Portugal com as regiões delimitadas. Nesta perspectiva optou-se por utilizar um mapa em vez de

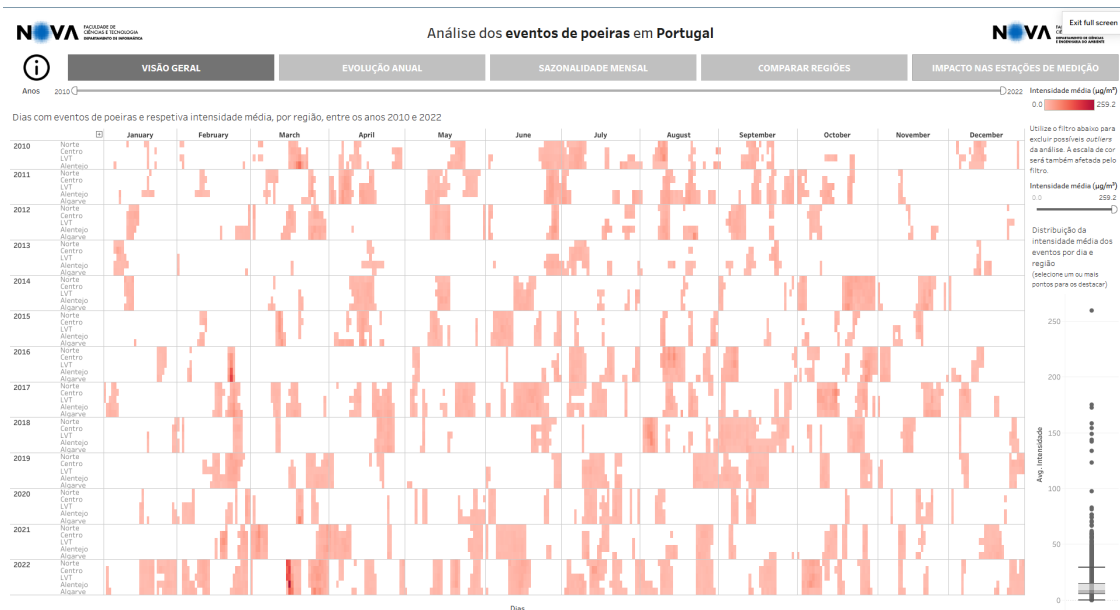


Figura 7.21: *Dashboard* da análise das poeiras na perspetiva Visão Geral

apresentar apenas os nomes das regiões para que o utilizador percebesse os limites de cada região e para que visualmente fosse possível ver como as diferenças na geografia afetam as métricas disponibilizadas.

7.5.4 Tooltips e Interações

Para facilitar a interpretação das visualizações e complementá-las, foram sempre implementados tooltips. Na maioria das visualizações deste dashboard, os *tooltips* têm como principal função apresentar informação mais desagregada do que a exibida na visualização correspondente. No caso da visão geral, que já apresenta uma perspetiva desagregada dos eventos e apenas agrega os valores de intensidade para calcular a intensidade média do evento na região, o *tooltip* fornece detalhes adicionais, exibindo os valores individuais de intensidade registados em cada estação envolvida no cálculo. Este detalhe pode ser observado na Figura 7.22.

Nesta figura é também visível outra funcionalidade do dashboard, que permite selecionar um dia e destacá-lo, tanto na visualização principal como no *boxplot* à sua direita, que representa a distribuição da intensidade de todos os dias apresentados na visualização principal. Esta funcionalidade é particularmente útil para identificar *outliers* e dias com intensidades mais elevadas, permitindo compreender quando e onde ocorreram esses eventos.

Vários exemplos de *tooltips* que apresentam informação com um nível de agregação mais baixo podem ser observados na perspetiva Comparar Regiões. Nesta perspetiva, cada mapa representa uma métrica agregada ao longo de todos os anos para cada região. No entanto, os *tooltips* fornecem informações mais detalhadas, exibindo a evolução da métrica ao longo dos anos e, por vezes, também ao longo dos meses, como ilustrado na

7.6. DASHBOARD DO IMPACTO DA METEOROLOGIA

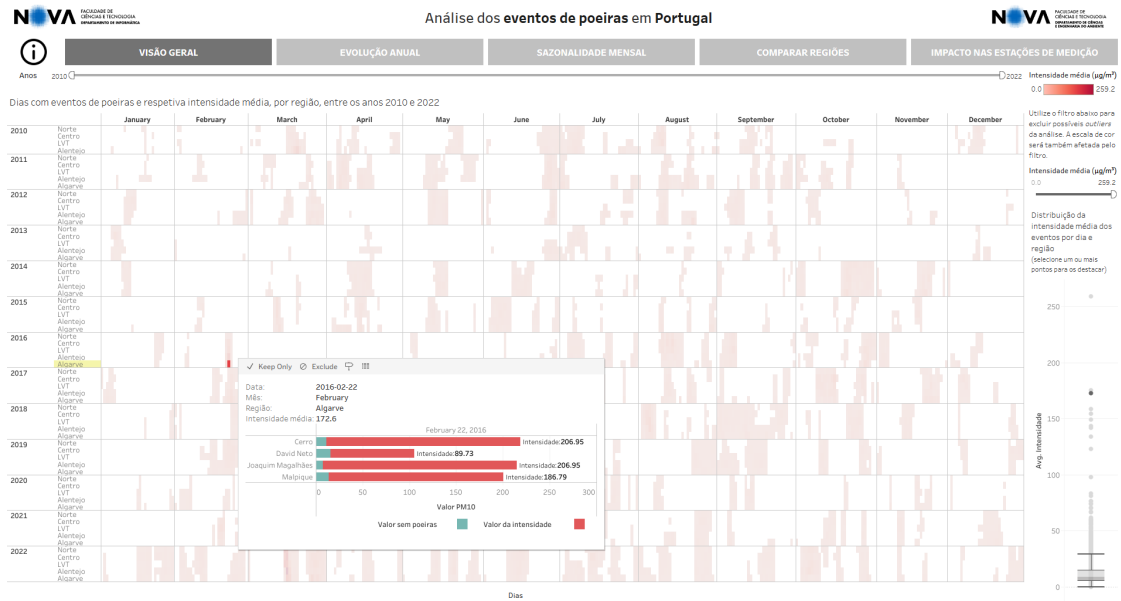


Figura 7.22: *Dashboard* da análise das poeiras na perspetiva Visão Geral com o *tooltip* selecionado

Figura 7.23.

Neste *tooltip*, por exemplo, é possível visualizar o total de eventos registados no Alentejo, a região selecionada—métrica que determina a cor atribuída à região no mapa. Além disso, são apresentados dados desagregados, como o número de eventos por ano e os meses em que ocorreram. Para facilitar a interpretação, a escala de cores utilizada nos meses segue um esquema intuitivo: tons quentes representam os meses mais quentes, enquanto tons frios indicam os meses mais frios, proporcionando uma leitura mais clara e intuitiva ao utilizador.

Uma outra interação relevante neste *dashboard* é a hipótese de poder sempre filtrar os anos em análise.

7.5.5 Navegação

Neste *dashboard*, ao contrário dos anteriormente descritos, a navegação entre as perspetivas é feita apenas através do cabeçalho.

7.6 *Dashboard* do Impacto da Meteorologia

Este *dashboard*, que tem como objetivo principal perceber o impacto da meteorologia nas concentrações dos poluentes

7.6.1 Perspetivas de análise

Para analisar o impacto das variáveis meteorológicas nas concentrações de poluentes, foi necessário definir quais os fatores meteorológicos que deveriam ser considerados. Entre os

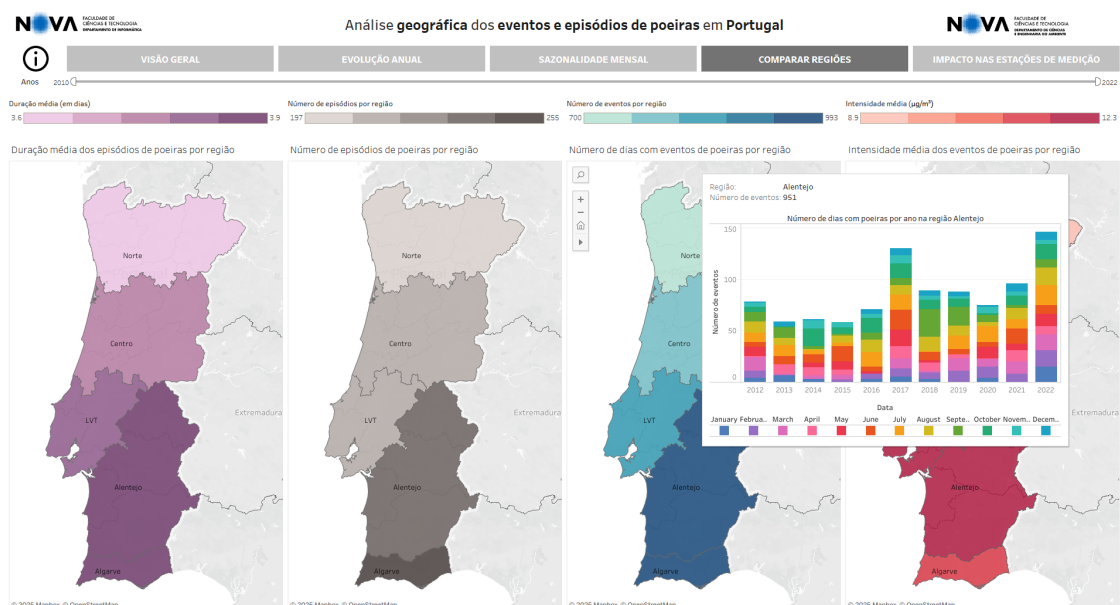


Figura 7.23: *Dashboard* da análise das poeiras na perspetiva de Comparar Regiões com o *tooltip* da visualização do número de eventos selecionado

disponíveis no conjunto de dados, foram selecionadas quatro variáveis: temperatura média horária, humidade relativa horária, intensidade do vento horária e precipitação horária. A escolha destas variáveis foi orientada pelas recomendações do Professor Francisco Ferreira, com base em princípios teóricos relevantes.

O O_3 requer temperaturas elevadas para a sua formação, tornando essencial a análise da relação da sua concentração com a temperatura. Entre as medições disponíveis — temperatura mínima, máxima e média — optou-se pela utilização apenas da temperatura média, uma vez que a inclusão das restantes não acrescentaria análises significativamente diferentes. Além disso, o O_3 necessita de radiação solar para se formar; como esta variável não estava disponível, a humidade relativa foi utilizada como *proxy*, dado que dias húmidos tendem a apresentar menor radiação solar.

A intensidade do vento foi incluída na análise devido à sua influência na dispersão dos poluentes, reduzindo a sua concentração. Já a precipitação foi considerada relevante, pois contribui para a remoção de partículas em suspensão no ar, reduzindo a concentração registada.

Dado o conjunto de quatro variáveis meteorológicas selecionadas, decidiu-se que a análise simultânea entre meteorologia e poluentes não deveria estar restrita apenas às combinações inicialmente justificadas pelos casos de estudo. Ou seja, o *dashboard* não se limita a explorar exclusivamente a relação entre temperatura e humidade para o O_3 ou entre precipitação e os poluentes PM_{10} e $PM_{2.5}$. Pelo contrário, uma vez que os dados abrangem todas essas variáveis, o sistema permite a combinação livre de qualquer fator meteorológico com qualquer poluente, possibilitando a realização de análises que, à partida, poderiam não ter sido consideradas relevantes. Esta abordagem confere maior

versatilidade à ferramenta e amplia o leque de investigações possíveis.

Além disso, à semelhança dos *dashboards* anteriores, este também permite visualizar os dados em diferentes escalas espaciais. As opções disponíveis incluem País, Região, Zona e Estação, permitindo restringir os dados geograficamente conforme a necessidade da análise. Para cada um destes âmbitos espaciais, é possível explorar a relação entre **um fator meteorológico** e **um poluente** específico ou, alternativamente, examinar o impacto conjunto de **dois fatores meteorológicos** sobre **um poluente**. Esta flexibilidade na escolha das perspectivas de análise possibilita uma compreensão mais abrangente da influência das condições meteorológicas na qualidade do ar, permitindo observar tanto os efeitos isolados como as interações entre múltiplos fatores.

Adicionalmente, este *dashboard* permite analisar o impacto de um ou dois fatores meteorológicos sobre um poluente não só ao longo dos anos, possibilitando uma visão da evolução desse impacto, como também por mês, possibilitando uma visão da sazonalidade do impacto.

À semelhança dos dois primeiros *dashboards*, este também possibilita a comparação do impacto dos fatores meteorológicos entre diferentes tipos de estação ou entre subdivisões de cada âmbito espacial. A única exceção, como nos restantes *dashboards*, é o âmbito "Estação", que não possui subdivisões nem permite a distinção entre diferentes tipos de estação.

Uma característica adicional deste *dashboard* é a capacidade de realizar comparações simultâneas tanto a nível da desagregação temporal como da desagregação espacial. Ou seja, é possível analisar a sazonalidade do impacto dos fatores meteorológicos sobre os poluentes e, em simultâneo, comparar os dois tipos de estação, proporcionando uma visão mais abrangente das dinâmicas em estudo. A Figura 7.24 ilustra a estrutura desta abordagem analítica.

7.6.2 Métricas e sua representação

Como mencionado anteriormente nas perspectivas de análise, o objetivo principal deste *dashboard* é analisar o impacto de um ou dois fatores meteorológicos nas concentrações de um poluente.

Para essa análise, a métrica escolhida foi o valor médio das medições horárias do poluente selecionado. O impacto da meteorologia sobre esse valor médio é representado por meio de *bins*, ou seja, classes uniformes. Cada um desses intervalos é definido de acordo com o fator meteorológico em questão. No caso da humidade relativa, utilizam-se intervalos de 10, enquanto para os restantes fatores meteorológicos, os intervalos são definidos como 1.

Quando se avalia o impacto de um único fator meteorológico nas concentrações do poluente, o eixo vertical do gráfico representa o poluente, também dividido em classes uniformes, com intervalos de 10, à semelhança dos fatores meteorológicos. Assim, como ilustrado na Figura 7.25, o eixo vertical exhibe o poluente e o eixo horizontal mostra o fator

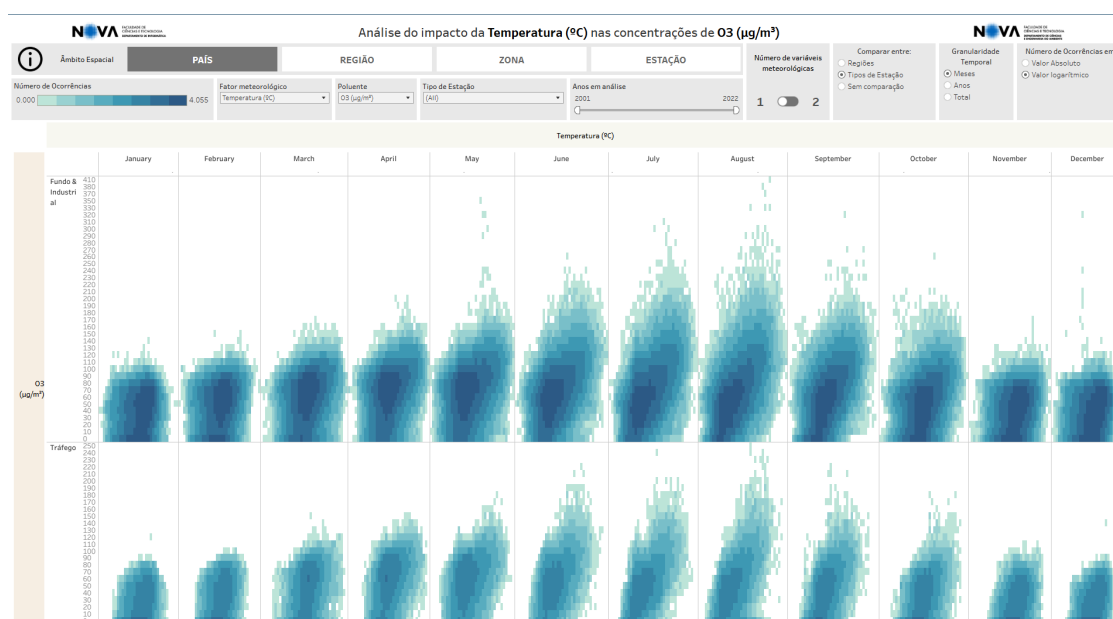


Figura 7.24: *Dashboard* do impacto da intensidade do vento nas concentrações de NO_2 para o país, por mês, comparando os tipos de estação

meteorológico. A leitura que se faz desta visualização é o valor médio do poluente de todas as horas nas quais ocorreu uma determinada condição meteorológica, o que permite perceber se há alguma tendência ou padrão na relação entre o fator e o poluente escolhido para analisar.

Ao visualizar apenas um fator e seu impacto sobre o poluente, a cor é utilizada para indicar a frequência com que as diferentes condições meteorológicas ocorrem dentro de cada intervalo. Dessa forma, é possível perceber quais condições são mais frequentes e quais os valores médios dos poluentes nessas condições. Dado que o número de horas em que cada valor do fator meteorológico ocorre varia consideravelmente, entre 1 e milhares de horas, foi acrescentada a opção de visualizar a cor de acordo com o número absoluto de horas ou utilizando a escala logarítmica para o número de horas, a fim de melhorar a distribuição da escala de cores e facilitar a leitura.

Quando são analisadas duas variáveis meteorológicas, o eixo vertical, que anteriormente exibia a concentração do poluente, passa a mostrar a segunda variável meteorológica. Assim, o valor médio da concentração do poluente passa a ser representado pela cor, sendo que optou-se pelo vermelho para indicar a gravidade dessa concentração. O uso do vermelho permite comunicar facilmente ao utilizador que os valores mais escuros estão associados a piores condições de qualidade do ar.

Foi essencial garantir que a cor utilizada na análise de duas variáveis meteorológicas fosse suficientemente distinta da cor usada quando apenas uma variável é analisada, de modo a que o utilizador se aperceba claramente que houve uma mudança e que a cor não representa o mesmo nas duas perspetivas. Como ilustrado na Figura 7.26, a interpretação desta visualização permite identificar quais as combinações dos dois

7.6. DASHBOARD DO IMPACTO DA METEOROLOGIA

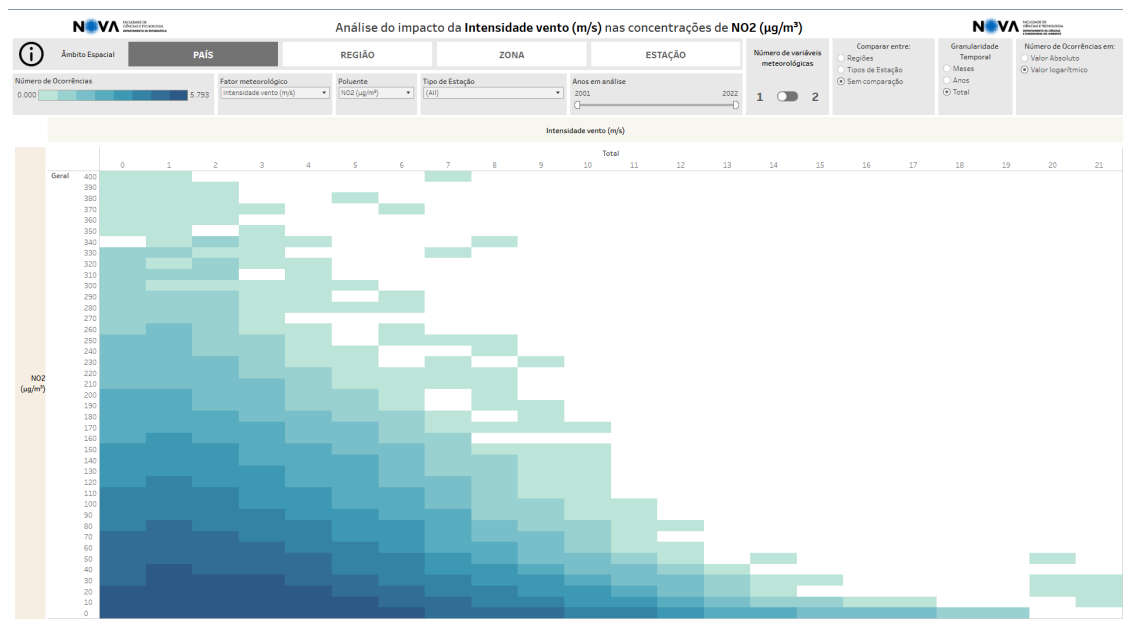


Figura 7.25: *Dashboard* do impacto da meteorologia na perspetiva de ver uma variável meteorológica para o país

fatores meteorológicos que ocorrem e qual o valor médio do poluente quando essas duas condições se interseitam.

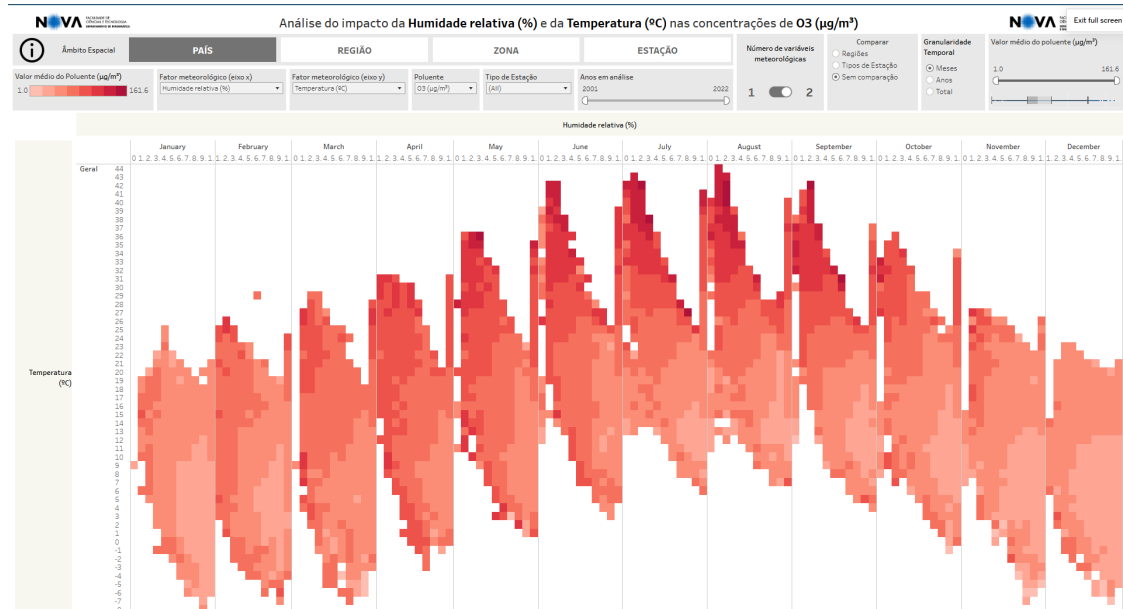


Figura 7.26: *Dashboard* do impacto da meteorologia na perspetiva de ver duas variáveis meteorológicas no país

7.6.3 Navegação

Neste dashboard, tal como no anterior, a navegação entre as perspetivas é feita apenas através do cabeçalho.

7.7 Aspectos técnicos de implementação dos *dashboards* e limitações do Tableau

Como anteriormente mencionado, foi utilizado o Tableau [75] para a implementação dos *dashboards*. Nesta seção serão detalhados os principais aspectos técnicos, assim como algumas escolhas feitas durante o desenvolvimento e condicionamentos impostos pela ferramenta.

Para assegurar a versatilidade nos contextos apresentados nos *dashboards*, foi essencial tirar partido de funcionalidades específicas, como a **navegação**. Esta funcionalidade permite interligar *dashboards* através de botões que redirecionam o utilizador para um *dashboard* ou visualização específicos.

De forma a oferecer ao utilizador uma experiência intuitiva e integrada, foi necessário garantir que diferentes perspetivas e contextos pudessem ser explorados sem que fosse preciso selecionar um de entre múltiplos *dashboards* relacionados. Para tal, todos os *dashboards* relacionados com a mesma temática foram interligados, criando a perceção de um único *dashboard* integrado.

Na prática, esta abordagem foi implementada com recurso a múltiplos *dashboards* **físicos** separados, mas interconectados através da funcionalidade de navegação. Desta forma, cada *dashboard* pode ser configurado de forma independente, utilizando visualizações, escopos, variáveis e dados adaptados ao contexto específico. No entanto, do ponto de vista do utilizador, a experiência é percecionada como se se tratasse de um único *dashboard* coeso, um *dashboard* lógico.

Por exemplo, no caso do *dashboard* do **AQI**, foram criados onze *dashboards* físicos, correspondendo a cada perspetiva de cada âmbito espacial, ou seja um *dashboard* físico por perspetiva. Estes *dashboards* estão interligados e utilizam um total de 52 visualizações, incluindo gráficos, elementos informativos necessários para apresentar instruções e tooltips. Esta abordagem garantiu uma experiência mais detalhada e adaptada às necessidades de análise, mantendo ao mesmo tempo a consistência e facilidade de uso para o utilizador.

Para manter a consistência nas opções selecionadas pelo utilizador entre os diversos *dashboards* físicos, foi utilizada a funcionalidade de parâmetros do Tableau. Estes parâmetros, sendo comuns a todos os *dashboards*, garantem que uma opção escolhida num *dashboard* físico seja automaticamente refletida nos restantes, mantendo a coerência no *dashboard* percecionado pelo utilizador.

A implementação dos *dashboards* exigiu a criação de várias visualizações muito semelhantes, diferenciando-se apenas por pequenas variações nas variáveis. Este elevado número de visualizações poderia ter sido reduzido se os botões de navegação do Tableau permitissem executar múltiplas ações simultaneamente, como redirecionar para outro *dashboard* e alterar o valor de um parâmetro.

Esta limitação imposta pela ferramenta exigiu a adoção de soluções alternativas menos eficientes, o que aumentou a complexidade do desenvolvimento. Apesar disso, a

abordagem adotada garantiu que os *dashboards* mantivessem um funcionamento fluido e consistente do ponto de vista do utilizador.

Todos os *dashboards* lógicos foram desenvolvidos considerando o tamanho máximo de ecrã utilizado pelos potenciais utilizadores. Devido à grande quantidade de dados representada nos *dashboards*, uma resolução alta é essencial para assegurar uma formatação correta e legível.

O Tableau ajusta automaticamente os elementos do *dashboard* para que se adaptem ao ecrã em uso. Contudo, este redimensionamento é um processo automático e, por isso, impossível de controlar, o que representa uma limitação significativa. Não é possível definir prioridades sobre quais elementos devem ser redimensionados primeiro ou preservados, o que, em algumas situações, resulta em cortes de elementos importantes para aumentar itens menos relevantes.

Esta limitação torna-se particularmente problemática no caso das legendas. Em alguns ecrãs, as legendas podem tornar-se difíceis ou até impossíveis de ler, mesmo quando há espaço disponível para que fossem apresentadas de forma legível. Este fator compromete a usabilidade do *dashboard* em alguns dispositivos.

Na implementação das instruções no *dashboard* do AQI, foi utilizada a funcionalidade de **objetos *floating***, posicionados sobre cada *dashboard* físico, acompanhados de botões para controlar a sua visibilidade. Visto que neste *dashboard* existem dois tipos de instruções - as do cabeçalho e as das visualizações - foi necessário a utilização de dois elementos *floating*, um para cada tipo de instrução.

Uma dificuldade encontrada foi o posicionamento do botão que controla a visibilidade das instruções. Idealmente, para que o botão fosse visualmente consistente com os restantes elementos do *dashboard*, ele deveria ser implementado como um elemento *tiled*. No entanto, no Tableau, um botão *tiled* não pode ser posicionado à frente de um elemento *floating*, como são as instruções. Isso significaria que, ao abrir as instruções, tornar-se-ia impossível fechá-las novamente.

Para superar essa limitação, optou-se por priorizar o correto funcionamento do botão em detrimento da formatação ideal do *dashboard*. Embora esta decisão tenha comprometido parcialmente o alinhamento visual do botão com os restantes elementos, garantiu a funcionalidade necessária para o utilizador interagir eficientemente com as instruções.

AVALIAÇÃO DOS *DASHBOARDS* DESENVOLVIDOS

Nesta secção, descreve-se o processo de avaliação dos *dashboards* desenvolvidos. Primeiramente, é apresentada a metodologia de avaliação, onde se detalha o processo de desenvolvimento e as características dos testes. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos, acompanhados das conclusões extraídas dessa análise.

8.1 Metodologia de avaliação

Ao longo do processo de desenvolvimento dos *dashboards*, verificaram-se momentos de avaliação regulares por parte dos orientadores da dissertação, cujos comentários e observações foram sendo incorporados com o objetivo de melhorar continuamente a sua usabilidade.

Deste processo iterativo de desenvolvimento resultou uma versão preliminar dos *dashboards*, que foram utilizados e testados por duas pessoas não especialistas na área da qualidade do ar e que não participaram no processo de desenvolvimento. Esta fase teve como objetivo não só a identificação de possíveis problemas e erros, como também a recolha de feedback essencial para melhorar a usabilidade dos *dashboards*. A perspetiva dos utilizadores sem contacto prévio com os *dashboards* revelou-se crucial para identificar problemas que não eram evidentes para quem estava já familiarizado com o contexto e com as ferramentas desenvolvidas. As questões levantadas por estes utilizadores serviram também como feedback, uma vez que indicavam dificuldades no uso dos *dashboards*. Tendo em conta estas dificuldades, foram feitas correções, nomeadamente nos nomes e nos títulos utilizados, para facilitar a navegação e a interação.

No sentido de testar os *dashboards* de forma experimental, desenvolveu-se um conjunto de questões para cada *dashboard*, cujas respostas exigem a realização de um conjunto de tarefas por parte do utilizador. Desta forma, foi possível avaliar as funcionalidades dos *dashboards* e perceber a eficácia da interação e da transmissão de informação. As questões foram criadas de modo a cobrir o maior número possível de funcionalidades disponíveis em cada *dashboard*, dada a inviabilidade de uma cobertura total, devido à extensa variedade

de opções de visualização existentes. Todas as questões foram validadas, garantindo a sua relevância no contexto das análises de cada *dashboard*.

Para a realização dos testes com as perguntas desenvolvidas, foi elaborado um questionário por *dashboard* na plataforma *Google Forms*. As perguntas para a avaliação do *dashboard* são tanto de escolha múltipla como de resposta aberta. Apesar da maior dificuldade na análise de respostas abertas, considerou-se importante incluí-las, pois as opções de escolha múltipla poderiam, em alguns casos, limitar ou condicionar indiretamente as respostas dos participantes.

Dado que os *dashboards* apresentam informações técnicas sobre a qualidade do ar, e que nem todos os participantes têm conhecimento especializado, incluiu-se em cada questionário um texto introdutório com a apresentação de conceitos essenciais para a compreensão das informações constantes no *dashboard*. Além disso, dada a complexidade dos *dashboards*, foi considerado essencial incluir uma explicação do seu funcionamento de modo a diminuir o esforço inicial por parte do participante para compreender a estrutura e as funcionalidades do *dashboard*. Com o intuito de garantir uniformidade, foi criado um vídeo explicativo para acompanhar cada questionário, detalhando o modo de interação com o *dashboard*.

Idealmente, as perguntas seriam apresentadas de forma aleatória a cada participante. No entanto, como a ferramenta utilizada para os questionários não oferece essa funcionalidade, teria sido necessário criar múltiplas versões dos formulários e alterar manualmente a ordem das perguntas, o que resultaria num número limitado de combinações possíveis. Dado que o objetivo dos testes não é a comparação de diferentes versões de *dashboards*, mas sim avaliar a usabilidade de cada um de forma independente, concluiu-se que a aleatoriedade da ordem não seria um fator significativo e optou-se por um formulário igual para todos os participantes.

Antes de iniciar os testes com utilizadores, os questionários foram testados para assegurar a ausência de erros e a clareza das perguntas. Durante esta fase, foram identificados e corrigidos alguns aspetos que provocavam problemas de interpretação e pequenos erros.

Para avaliar a qualidade dos *dashboards* através dos testes, foram definidas algumas métricas: a correção das respostas, o tempo necessário para responder a cada questão e o número e tipo de ações realizadas para chegar à resposta. A correção das respostas foi considerada a métrica mais importante, pois permite avaliar se o utilizador consegue responder corretamente a perguntas representativas do tipo de análises para as quais o *dashboard* foi desenvolvido, avaliando assim se o *dashboard* cumpre os objetivos.

O tempo despendido e o número e tipo de interações necessárias para responder a cada questão permitem avaliar a clareza da interface e a facilidade de navegação. As ações realizadas pelos utilizadores para responderem às questões foram classificadas em quatro categorias, para permitir uma análise mais rigorosa do comportamento dos participantes. Ao categorizar as ações em **Mudanças de Contexto**, **Filtragens**, **Auxílio de Visualização** e **Ver mais Detalhes**, o tipo de análises que se pode fazer é mais detalhado e mais facilmente se identificam padrões, de que se contabilizassem todas as ações numa só categoria.

Neste contexto, as ações de Mudança de Contexto representam ações que alteram o âmbito espacial, temporal ou a perspectiva no dashboard; as Filtragens representam mudanças na quantidade de informação a visualizar; o Auxílio de Visualização representa ações como consultar instruções e destacar informação; a categoria Ver mais Detalhes representa ações de passar o cursor por cima de visualizações para aceder a *tooltips* com informação adicional. Uma listagem de ações e das suas categorias específica para cada *dashboard* pode ser consultada nas subsecções correspondentes.

De modo a contextualizar o número de ações de cada tipo que um utilizador realizou para responder a uma questão, foi criada uma listagem do número mínimo de ações necessárias por questão. Esta referência será descrita em detalhe para cada *dashboard* na secção de resultados.

Cada teste foi desenhado para ser concluído em aproximadamente trinta ou quarenta minutos. Dada a extensão temporal necessária para completar os testes, nem todos os utilizadores os realizaram todos e alguns utilizadores que realizaram mais do que um teste, fizeram-no em momentos distintos. Ainda assim, foi importante garantir que alguns utilizadores participassem em mais do que um teste de forma seguida, permitindo assim avaliar se a experiência prévia com um dos *dashboards* facilitaria a interação com outros, uma vez que estão estruturados de forma semelhante.

Os testes foram realizados através da plataforma *Zoom*, sendo que cada participante acedeu ao *dashboard* no seu próprio computador. Dado que, nestas condições, cada participante dispõe de características de conexão distintas, é relevante, na análise dos tempos despendidos em cada pergunta, excluir os tempos de *loading* e de *buffering* da contagem total. Para efeitos de análise dos resultados, as sessões foram gravadas.

8.1.1 *Dashboard* do AQI

De modo a avaliar o *dashboard* do AQI foram elaboradas dez questões, apresentadas na Tabela 8.1.

Durante a fase de teste deste questionário foi identificada alguma dificuldade na interpretação das perguntas por parte dos utilizadores, dada a sua complexidade. No sentido de facilitar a leitura das perguntas e clarificar o objetivo da tarefa foram destacadas em negrito informações relevantes da frase, como se vê na anterior tabela, e foi adicionada uma listagem das variáveis descritas na questão de uma forma sintetizada a cada questão. Desta forma, cada pergunta foi formatada conforme o exemplo apresentado na Figura 8.1.

As questões foram desenvolvidas para que o utilizador contactasse com vários contextos e variáveis que alteram a informação apresentada no *dashboard*. A cobertura das variáveis das várias questões pode ser consultada na Figura 8.2. Das dez questões, seis são de resposta aberta e quatro de escolha múltipla, dependendo do universo de respostas possíveis. No caso da pergunta número cinco, apesar das opções de resposta serem limitadas, optou-se pela utilização da escolha múltipla para guiar o utilizador no sentido do tipo de resposta pretendida.

Número	Pergunta
1	Em que mês e ano se registou o maior valor médio do AQI de O3 em Portugal?
2	Qual a região do país que teve a maior percentagem de dias , por ano, com AQI categórico de NO2 Muito Bom ao longo dos anos (2001-2022)?
3	Em Portugal, entre 2010 e 2011, houve alguma semana em que o valor médio do AQI de NO2 das estações de tráfego tenha sido inferior ao das estações de fundo e industriais?
4	Na região Lisboa e Vale do Tejo, qual o número médio de estações (de todos os tipos) que medem o Poluente PM2.5 ao longo de todos os anos (2001-2022)?
5	Nas zonas da região Lisboa e Vale do Tejo, qual a tendência anual relativa ao valor médio do AQI de PM10 ao longo de todos os anos (2001-2022)?
6	Na região Norte, existem meses cujo valor médio do AQI de PM10 nas estações de fundo e industriais é superior ao das de tráfego?
7	Na zona “Porto Litoral”, em que meses do ano há, tipicamente, maiores percentagens de dias Muito Bons para o AQI de O3?
8	Qual das estações da zona AML Norte registou o maior valor médio de AQI de PM10 num ano? Em que ano se registou este valor?
9	Qual o valor do AQI de NO2 mais elevado registado na estação Avenida da Liberdade? Em que dia foi registado?
10	Quais os 2 piores dias em termos de valor de AQI de PM10 em 2022 na Avenida da Liberdade?

Tabela 8.1: Questões do teste do *dashboard* do AQI

1 - Em que **mês e ano** se registou o maior **valor médio do AQI** de O3 em Portugal?

Âmbito Espacial: País
Granularidade Temporal: Mês
Poluente: O3
Anos a visualizar: 2001-2022

Texto de resposta curta

Figura 8.1: Exemplo da formatação das perguntas no teste do *dashboard* do AQI

Para permitir uma análise detalhada dos resultados do teste, foi necessário categorizar todas as ações possíveis no *dashboard*. A listagem destas ações pode ser consultada na Figura 8.3.

A partir do mapeamento das ações para as suas categorias, determinou-se o número mínimo de ações de cada tipo estritamente necessárias para responder corretamente a cada questão, a que se chamou a chave do teste, apresentada também na Figura 8.2. Esta chave foi determinada com base no encadeamento de ações necessárias para responder às questões de uma forma sequencial. A determinação da chave é relevante já que permite a comparação entre o valor mínimo e o número de ações real que cada utilizador efetuou. Como se pode observar na Figura 8.2, o número total de ações por pergunta varia entre dois e cinco, porém é possível que o valor médio real seja bastante superior visto que o

			Perguntas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Variáveis	Poluente	NO2		✓	✓						✓	
		O3	✓						✓			
		PM10					✓	✓		✓		✓
		PM2.5				✓						
		SO2										
	Âmbito Espacial	País	✓	✓	✓							
		Região				✓	✓	✓				
		Zona							✓	✓		
		Estação									✓	✓
	Granularidade Temporal	Ano		✓		✓	✓			✓		
		Mês	✓					✓	✓			
		Semana			✓							
	Anos a visualizar	2001-2022	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		2010-2011			✓							
	Tipo de Visualização	Geral	✓			✓				✓		
		Comparar Subdivisão		✓			✓			✓		
		Comparar tipo de Estação			✓			✓				
		Categorias do AQI									✓	✓
		Valor do AQI										
	Métrica	Valor médio do AQI	✓		✓		✓	✓		✓		
Porcentagem de Dias			✓					✓				
Número de estações					✓							
Valor do AQI										✓	✓	
Chave	Tipos de ação	Mudanças de Contexto	0	1	1	1	1	1	2	1	1	0
		Filtragens	2	2	3	3	1	2	2	3	0	0
		Auxílios de visualização	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ver Detalhes	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	Total		3	3	4	4	2	3	4	5	2	2

Figura 8.2: Cobertura das questões relativas ao questionário do *dashboard* do AQI e número mínimo de ações de cada tipo necessárias para responder corretamente a cada questão do *dashboard* do AQI

valor mínimo de ações não corresponde à forma mais prática de responder às questões. Em nenhuma questão são necessários Auxílios de Visualização, porém, recorrer a este tipo de ação poderá facilitar a resposta correta à questão. Semelhantemente, o recurso a Mudanças de Contexto adicionais pode facilitar o processo de familiarização com a estrutura do *dashboard* e o recurso a ações de Ver mais Detalhes poderá auxiliar a interpretação e a leitura das visualizações. A utilização de filtragens adicionais não será tão expectável dado que, na apresentação das perguntas são especificadas as filtragens necessárias. Excepcionalmente, na pergunta 10, é possível que exista uma filtragem adicional uma vez que esta foi criada para perceber o comportamento dos participantes perante uma filtragem não necessária

		Ações
Categorias das Ações	Mudança de Contexto	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança do âmbito espacial • Mudança do âmbito temporal • Mudança do tipo de visão
	Filtragem	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção do poluente • Seleção da região • Seleção da zona • Seleção da estação • Seleção dos anos a visualizar
	Auxílio de Visualização	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar destaques • Ver instruções
	Ver mais Detalhes	<ul style="list-style-type: none"> • Consultar tooltips

Figura 8.3: Categorias das ações do *dashboard* do AQI

mas possivelmente útil.

8.1.2 *Dashboard* dos padrões horários

Para a avaliação deste *dashboard*, foram utilizadas nove questões listada na Tabela 8.2.

À semelhança do *dashboard* anterior a informação mais relevante das perguntas foi destacada a negrito e as perguntas foram formatadas de igual forma de modo a incluir uma listagem resumida das variáveis essenciais à resposta. As ações possíveis no *dashboard* foram também categorizadas para permitir uma análise detalhada dos resultados dos testes. O mapeamento destas categorias encontra-se na Figura 8.4.

Para este teste também, se procurou garantir que as perguntas cobrissem uma ampla variedade de perspetivas relacionadas com o *dashboard*. Este esforço é refletido num esquema de cobertura, apresentado na Figura 8.5.

A partir do mapeamento das categorias das ações foi contabilizado o número mínimo de ações sequenciais necessárias para responder a cada questão, a chave do teste, que pode ser consultada na Figura 8.5.

Como se pode verificar, o número de ações necessárias para responder a cada questão varia entre dois e cinco sendo que nunca é necessário recorrer a "Auxílios de Visualização". À semelhança do *dashboard* anterior, a chave do teste não representa a forma mais prática de responder às questões, sendo possível que se registem valores mais elevados de alguns tipos de ação durante os testes, nomeadamente "Auxílios de Visualização" e "Ver Detalhes".

8.1.3 *Dashboard* da análise das poeiras

O teste deste *dashboard* consistiu na resposta às nove questões listadas na Tabela 8.3.

Número	Pergunta
1	Em Portugal, qual a hora com maior número de máximos horários de O ₃ em todos os tipos de dias (fins de semana, feriados e dias úteis) e todos os tipos de estação (Tráfego e Fundo & Industrial)?
2	Todas as regiões de Portugal apresentam um padrão semelhante de máximos horários de NO ₂ para todos os tipos de dias e estações?
3	Na região “Norte”, qual a estação da qualidade do ar que regista o maior valor médio horário de PM ₁₀ em dias úteis em todos os tipos de estação? Em que hora acontece?
4	Na região Lisboa e Vale do Tejo, quais os 6 meses em que se verifica um maior impacto da hora de ponta da tarde nos máximos de NO ₂ nos dias úteis das estações de Fundo & Industrial?
5	Na zona “Norte Litoral”, a partir de que ano há uma redução acentuada dos valores máximos diários de NO ₂ em dias úteis nas estações de Fundo & Industrial?
6	Nos fins de semana e feriados da zona “AML Norte”, o padrão de horas nas quais ocorrem máximos diários de NO ₂ é semelhante entre as estações de Tráfego e as de Fundo & Industrial? E a média dos valores máximos horários é semelhante entre os dois tipos de estação?
7	Na estação “Entrecampos”, em que tipo de dias (úteis ou fins de semana e feriados) se registam as quatro horas com menor percentagem de máximos diários de O ₃ ?
8	Nas zonas da região Alentejo, qual a estação que registou o valor médio por hora mais elevado de PM ₁₀ ? A que horas se registou este valor?
9	Na estação Monte velho, qual foi o maior valor horário registado de PM ₁₀ ? Qual a data e hora em que foi registado este valor?

Tabela 8.2: Questões do teste do *dashboard* dos padrões horários

Neste teste também a informação mais relevante das questões é destacada a negrito, porém, ao contrário dos *dashboard* anteriores, não houve a necessidade de se formatar as questões com uma listagem adicional das variáveis a utilizar uma vez que neste *dashboard* das poeiras não existe um número elevado de filtragens e variáveis adicionais que afetam as visualizações. Para analisar os resultados deste teste também se procedeu à categorização das ações possíveis neste *dashboard* nas quatro categorias previamente apresentadas, como se verifica na Figura 8.6

Este teste contém também questões que procuram cobrir todas as perspetivas disponíveis no *dashboard*. Um esquema que apresenta a cobertura das questões relativamente às várias perspetivas pode ser visualizado na Figura 8.7.

Nesta figura é também visível a chave deste teste. Como o número de opções de filtragem deste *dashboard* é significativamente inferior o número de ações necessárias para responder às questões é também inferior aos restantes *dashboards*. Como se verifica neste caso, o número de ações varia entre zero e dois, o que significa que para responder a algumas questões deste teste não é necessário executar qualquer ação para além de interpretar uma outra visualização da mesma perspetiva. Apesar deste teste requerer

		Ações
Categorias das Ações	Mudança de Contexto	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança do âmbito espacial • Mudança do tipo de visão
	Filtragem	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção do poluente • Seleção da região • Seleção da zona • Seleção da estação • Seleção dos anos a visualizar • Selecionar tipo de dia • Selecionar tipo de estação
	Auxílio de Visualização	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar destaques • Ver instruções
	Ver mais Detalhes	<ul style="list-style-type: none"> • Consultar tooltips

Figura 8.4: Categorias das ações do *dashboard* dos padrões horários

Número	Pergunta
1	Em que dia e região se registou a maior intensidade média?
2	Em que ano ocorreu o maior número de eventos no Algarve?
3	Em que ano e região se registou a maior intensidade média de um mês ? Em que mês se registou?
4	Em que ano aconteceu o episódio mais longo na região Centro? Qual foi a duração desse episódio?
5	Em que ano houve um maior número de episódios no Algarve?
6	Quais os dois meses nos quais, tipicamente, se registam menos eventos de poeiras ?
7	A região onde se regista o maior número de eventos de poeiras é a mesma onde a intensidade média é a maior ?
8	Em todas as estações de qualidade do ar o valor médio das medições de PM2.5 , é superior em dias com eventos de poeiras?
9	Em que ano(s) só o ajuste proveniente da intensidade dos eventos permitiu o cumprimento das regras da UE relativas ao valor médio anual de PM10 ?

Tabela 8.3: Questões do teste do *dashboard* da análise das poeiras

menos ações para ser realizado, a especificidade do tema em análise torna as questões mais difíceis de interpretar para participantes sem conhecimentos de qualidade do ar.

8.1.4 *Dashboard* do impacto da meteorologia

Para testar este *dashboard*, foram formuladas quatro questões. O número reduzido de questões em comparação com os outros *dashboards* deve-se ao facto de que o tipo de análise que este permite realizar não requer muitos tipos de interpretações diferentes.

		Perguntas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Variáveis	Poluente	NO2		✓		✓	✓	✓			
		O3	✓						✓		
		PM10			✓					✓	✓
		PM2.5									
		SO2									
	Âmbito Espacial	País	✓	✓							
		Região			✓	✓				✓	
		Zona					✓	✓			
		Estação							✓		✓
	Tipo de Visualização	Geral	✓		✓						✓
		Evolução					✓				
		Sazonalidade				✓					
		Comparar Subdivisão		✓						✓	
		Comparar Tipos de Estação						✓			
		Comparar Tipos de Dias							✓		
	Tipo de estação	Tráfego						—	—		
		Fundo & Industrial				✓	✓	—	—	✓	
		Todos os tipos de Estação	✓	✓	✓			—	—		
	Tipo de Dias	Dias Úteis			✓	✓	✓		—		
		Fins de Semana e Feriados						✓	—		
Todos os tipos de dia		✓	✓					—	✓	✓	
Métrica	Ocorrência de Máximos horários	✓	✓		✓		✓	✓			
	Intensidade dos Máximos horários				✓	✓	✓				
	Valor Médio Horário			✓					✓		
	Valor Horário Medido									✓	
Chave	Tipos de ação	Mudanças de Contexto	0	1	1	1	2	1	1	2	1
		Filtregens	2	1	2	3	3	2	2	2	1
		Auxílios de visualização	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ver Detelhes	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	Total		3	2	4	4	5	3	3	5	3

Figura 8.5: Cobertura das questões relativas ao questionário do *dashboard* dos padrões horários e número mínimo de ações de cada tipo necessárias para responder corretamente a cada questão do teste

Embora o *dashboard* possibilite várias combinações de poluentes e fatores meteorológicos, a compreensão de uma combinação implica a compreensão de todas as outras. Assim, as necessidades de teste deste *dashboard* concentram-se principalmente em avaliar se os participantes conseguem entender facilmente as duas formas de visualização oferecidas (uma ou duas variáveis meteorológicas) e se compreendem os comandos que alteram essas visualizações. Para testar esses aspectos, foram suficientes as quatro questões desenvolvidas, que estão apresentadas na Tabela 8.4.

Uma vez que a resposta a estas questões envolve a escolha de várias variáveis, as

		Ações
Categorias das Ações	Mudança de Contexto	<ul style="list-style-type: none"> Mudança de perspetiva
	Filtragem	<ul style="list-style-type: none"> Seleção dos anos a visualizar Selecionar a intensidade média máxima a visualizar Selecionar a granularidade das regras da União Europeia
	Auxílio de Visualização	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar destaques Ver instruções
	Ver mais Detalhes	<ul style="list-style-type: none"> Consultar tooltips

Figura 8.6: Categorias das ações do *dashboard* da análise das poeiras

Número	Pergunta
1	Analise os efeitos da temperatura (eixo y) e da humidade (eixo x) na concentração de O3 . Em que meses e em que condições meteorológicas acontecem os valores mais elevados do poluente?
2	Analise o impacto apenas da intensidade do vento nas concentrações de NO2 na região Centro . Ao longo dos anos, em que condições ocorrerem concentrações mais elevadas do poluente?
3	Na estação Ílhavo , para a Granularidade Temporal Total , as maiores concentrações de PM10 , acontecem quando se registam temperaturas baixas. Verdadeiro ou falso?
4	Na estação Ílhavo analise a temperatura (eixo y) juntamente com a humidade relativa (eixo x) para a Granularidade Temporal Total . Em que condições tipicamente (não considere os dois valores mais elevados) se registam as concentrações de PM10 mais elevadas?

Tabela 8.4: Questões do teste do *dashboard* do impacto da meteorologia

questões foram formatadas à semelhanças das questões do teste do *dashboard* do AQI, previamente apresentado na secção 8.1.1, ou seja, incluindo a listagem de variáveis a utilizar em cada pergunta.

Também neste *dashboard* se procedeu à categorização das ações segundo a informação apresentada na Figura 8.8.

8.2 Resultados do Dashboard do AQI

O teste deste *dashboard* foi realizado por 15 participantes, dos quais 5 mulheres e 10 homens, com idades compreendidas entre os 18 e os 64 anos. Dois participantes tinham conhecimentos especializados na qualidade do ar e treze não tinham; seis tinham experiência com visualização de dados e nove não tinham. Todos estes dados podem ser visualizados na Figura 8.9.

			Perguntas										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Variáveis	Perspetivas	Visão Geral	✓										
		Evolução Anual - Visão Geral		✓									
		Evolução Anual - Número e intensidade dos eventos por mês			✓								
		Evolução Anual - Duração e Frequência dos episódios				✓	✓						
		Sazonalidade Mensal						✓					
		Comparar Regiões							✓				
		Impacto nas estações de medição									✓	✓	
	Duração e frequência dos episódios	Ver total	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-
		Ver por região	-	-	-			-	-	-	-	-	-
	Granularidade das regras da UE	Anual	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓		
		Diário	-	-	-	-	-	-	-				
	Chave	Tipos de ação	Mudanças de Contexto	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
			Filtragens	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Auxílios de visualização			0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ver Detelhes			1	0	1	1	0	0	1	0	0		
Total		1	1	2	2	0	1	2	1	0			

Figura 8.7: Cobertura das questões relativas ao questionário do *dashboard* da análise das poeiras e número mínimo de ações de cada tipo necessárias para responder corretamente a cada questão do teste

Da análise dos resultados observou-se que a maioria dos participantes responde corretamente às questões, como se pode verificar na Figura 8.10. Contudo, há alguns aspetos a salientar.

Ao analisar as respostas incorretas, conclui-se que estas se devem, na sua maioria, a distrações ou lapsos de atenção, e não a falhas no design do *dashboard*.

Na **Questão 1**, registou-se uma resposta errada em que o participante utilizou a granularidade temporal “Ano” em vez de “Mês”. Uma vez que a pergunta indica explicitamente a granularidade correta a utilizar e solicitar um mês e um ano, este erro aparenta ser fruto de uma falta de atenção.

Na **Questão 4**, foram identificadas duas respostas incorretas. Um dos participantes respondeu com o número máximo de estações em vez do valor médio solicitado. Como ambos os valores estão claramente identificados no *dashboard*, conclui-se que o erro foi causado por distração. O outro participante não ajustou o filtro anual utilizado na questão

Categorias das Ações		Ações
		Mudança de Contexto
	Filtragem	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção do poluente • Seleção do tipo de estação • Seleção do fator meteorológico • Seleção da região • Seleção da zona • Seleção da estação • Seleção dos anos a visualizar
	Auxílio de Visualização	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar destaques • Ver instruções
	Ver mais Detalhes	<ul style="list-style-type: none"> • Consultar tooltips

Figura 8.8: Categorias das ações do *dashboard* do impacto da meteorologia

anterior, embora tenha interpretado corretamente como obter a resposta. Este erro também não decorre de falta de informação, já que os anos visualizados estão sempre indicados no *dashboard*.

Na **Questão 7**, dá-se uma resposta errada porque o participante baseou a sua resposta no gráfico do valor médio do **AQI** em vez da métrica pedida (percentagem de dias em cada categoria). Ambas as visualizações estão devidamente identificadas com títulos, e as métricas são especificadas em cada *tooltip*. Assim, este erro também é atribuído a uma distração.

Na **Questão 8**, registaram-se duas respostas incorretas. Um participante interpreta incorretamente a questão já que confunde Tipos de estação com uma Estação de medição. O participante em causa não tem conhecimentos especializados em qualidade do ar, o que pode ter contribuído para a confusão. O outro participante interpretou incorretamente a pergunta, respondendo com um ano em vez de identificar uma estação. Estes erros, novamente, não indicam falhas no design do *dashboard*.

Finalmente, na **Questão 10**, um participante não considerou um detalhe importante da questão, respondendo com os piores dias em termos de valor do **AQI** ao longo de todos os anos, em vez de apenas os de 2022.

Relativamente às respostas classificadas como sim*, estas indicam que os participantes responderam corretamente às questões, embora não tenham utilizado o contexto originalmente pretendido. Ainda assim, as respostas continuam a ser consideradas corretas.

Na **Questão 5**, onde esta situação é mais proeminente, os onze participantes identificaram a tendência com base no contexto em que se encontravam, sendo que alguns

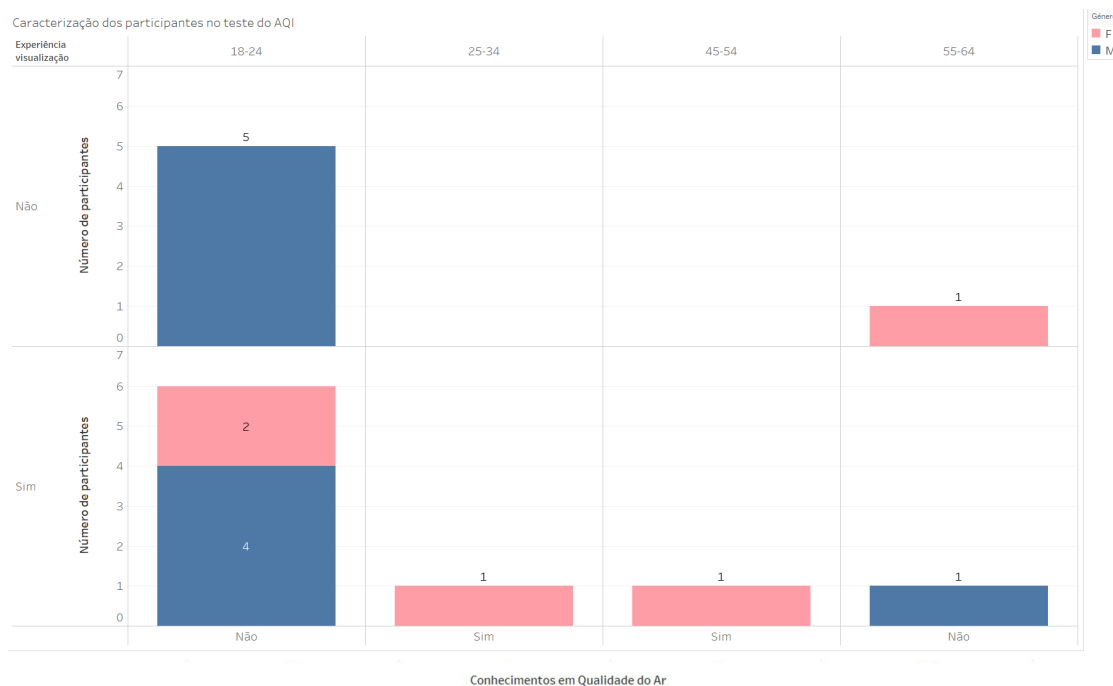


Figura 8.9: Caracterização dos participantes no teste do *dashboard* do AQI de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar

analisaram o contexto geral e outros o de "comparar tipos de estação". Apesar de todos terem respondido corretamente, a intenção inicial era que a análise fosse realizada no contexto de "comparar zonas". O facto de apenas quatro participantes terem utilizado o contexto correto sugere que a formulação da pergunta não é ideal e que pode ser melhorada, para que a sua interpretação se torne mais clara.

Na **Questão 6**, um participante respondeu corretamente, mas utilizando a granularidade temporal "Ano" em vez de "Mês", conforme especificado na questão. Apesar de não ter ajustado a granularidade, a resposta permanece válida e correta.

É relevante destacar que todas as respostas erradas foram dadas por apenas quatro participantes, conforme ilustrado na Figura 8.11. Destes, um participante errou em três questões, outro em duas e os restantes em uma cada. Isto indica que a grande maioria dos participantes respondeu corretamente a todas as questões, o que sugere que os erros possam estar associados a distrações momentâneas ou a um contexto específico que afetou a atenção de alguns indivíduos. É também importante salientar que as respostas erradas são todas distintas, não havendo um padrão de erro consistente ou a repetição da mesma resposta incorreta. Este facto indica que não foram identificadas falhas graves que comprometam a correta utilização do *dashboard* por parte dos utilizadores.

Feita a análise da correção das respostas, segue-se a análise do modo como os participantes responderam às questões, que inclui o tempo dispendido em cada questão e o número e tipo de ações realizadas. A análise é feita tendo por base fatores como

8.2. RESULTADOS DO DASHBOARD DO AQI

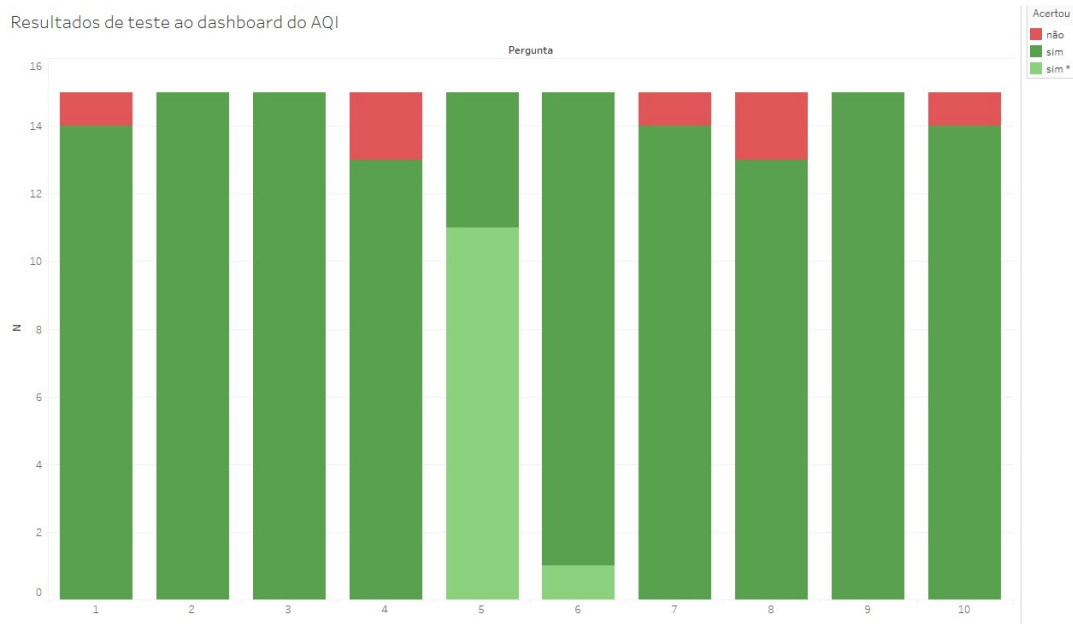


Figura 8.10: Resultados da correção das respostas ao teste do AQI

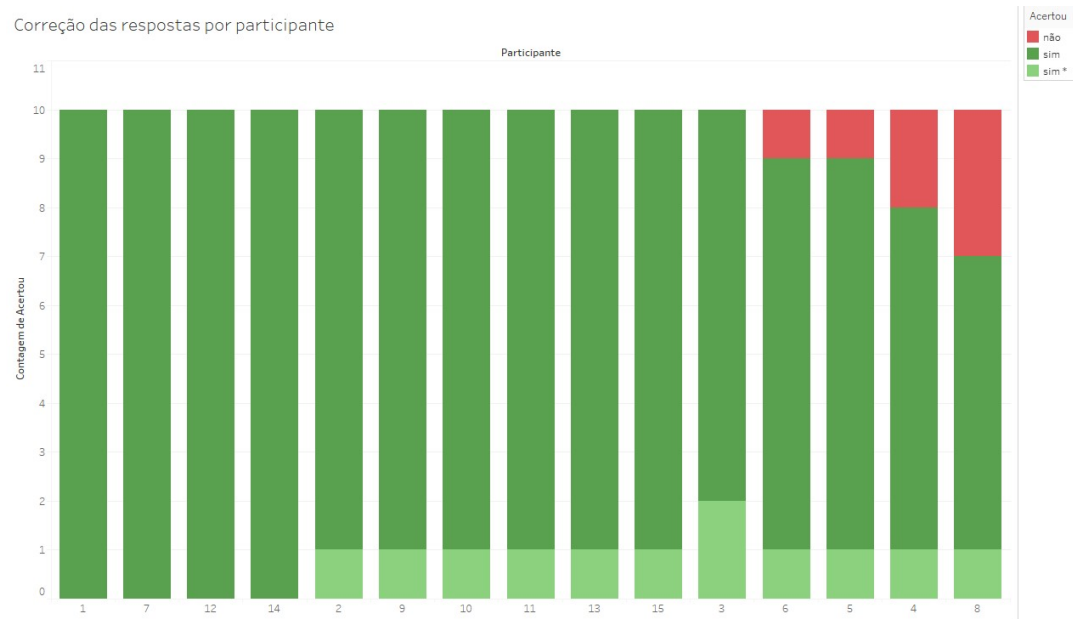


Figura 8.11: Resultados da correção das respostas de cada participante ao teste do AQI

experiência de visualização, conhecimentos sobre qualidade do ar, género e idade.

Começando pela análise temporal, foram consideradas apenas as respostas corretas, de forma a evitar que tempos anómalos, associados a respostas erradas, influenciassem os resultados.

Ao observar os resultados dos participantes com e sem experiência em visualização de dados, conclui-se que não é possível afirmar que a experiência torna mais eficiente a utilização do *dashboard*. Os resultados são bastante inconsistentes, como mostrado na Figura 8.12. Tanto o grupo com experiência como o grupo sem experiência apresentam

tempos médios de resposta superiores e inferiores em diferentes perguntas, sem uma tendência clara. Assim, conclui-se que a experiência em visualização de dados não é um fator decisivo ou necessário para a facilidade de interação com o *dashboard*.

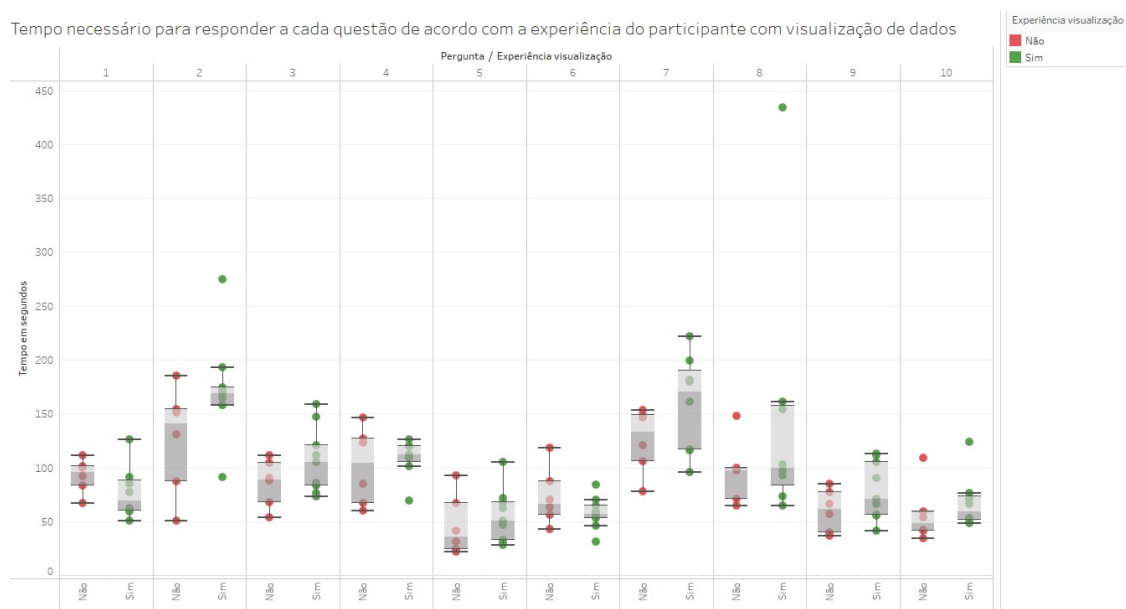


Figura 8.12: Resultados do tempo necessário para responder a cada questão de acordo com a experiência de cada participante em visualização de dados

A comparação entre os resultados de participantes com e sem conhecimentos sobre qualidade do ar não leva a conclusões fiáveis, uma vez que apenas dois participantes possuem conhecimentos nesta área. Tendo este aspeto em conta e prosseguindo a análise, verifica-se que os tempos de resposta dos participantes com conhecimentos de qualidade do ar se encontram dentro do intervalo de valores dos participantes sem estes conhecimentos. Assim, os resultados sugerem que conhecimentos prévios sobre qualidade do ar não são também condição obrigatória para a fácil utilização do *dashboard*.

Analisando as diferenças no tempo necessário para responder às questões entre mulheres e homens, verifica-se que não há uma diferença consistente. Ambos os grupos apresentam intervalos de tempo semelhantes, sem que um deles demonstre resultados consistentemente melhores ou piores. Este resultado indica um grau semelhante de facilidade na interação com o *dashboard* entre os géneros.

Na Figura 8.13, apresentam-se os valores médios do desvio no número de ações realizadas pelos participantes, em relação ao número esperado indicado na chave de cada pergunta. Este desvio representa o número de ações realizadas a mais ou a menos do valor definido como referência. Os valores estão organizados por pergunta e por tipo de ação.

Como esperado, as ações que mais se desviaram do valor original foram as de "ver mais detalhes". Este tipo de ação, que corresponde à visualização de *tooltips* ao passar o cursor sobre as visualizações, auxilia na interpretação dos dados apresentados. Na análise

das interações verificou-se que os participantes utilizaram estas ações para interpretar mais facilmente as visualizações e explorar o *dashboard*. Durante os testes, observou-se que, muitas vezes, as ações adicionais de "ver mais detalhes" foram feitas para confirmar a resposta, ou seja, embora o número mínimo de ações definido na chave fosse suficiente para obter a resposta, os participantes optaram por verificar a sua interpretação vendo mais detalhes.

O número médio de ações de "mudança de contexto" realizadas também divergiu em relação à chave, como previsto. No entanto, em algumas perguntas, a divergência foi inferior ao valor da chave, algo inesperado. Os comportamentos que resultaram nestas divergências serão analisados em detalhe de seguida.

Por outro lado, as ações de filtragem foram as que menos se desviaram da chave, com desvios identificados em apenas duas perguntas. Estas situações específicas também serão exploradas em detalhe posteriormente.

Por fim, as ações de "auxílio de visualização" consistiram somente no uso de *highlights* para destacar elementos e facilitar a interpretação das visualizações. Embora a consulta das instruções também esteja incluída nesta categoria, nenhum participante optou por as utilizar. As ações de destacar elementos das visualizações ocorreram, sobretudo, em perguntas que envolviam a interpretação de uma das categorias de cores do AQI ou a comparação entre tipos de estação, onde as cores também desempenhavam um papel importante para distinguir as duas categorias.

Valores médios do número de ações extra realizadas pelos participantes por pergunta e tipo de ação

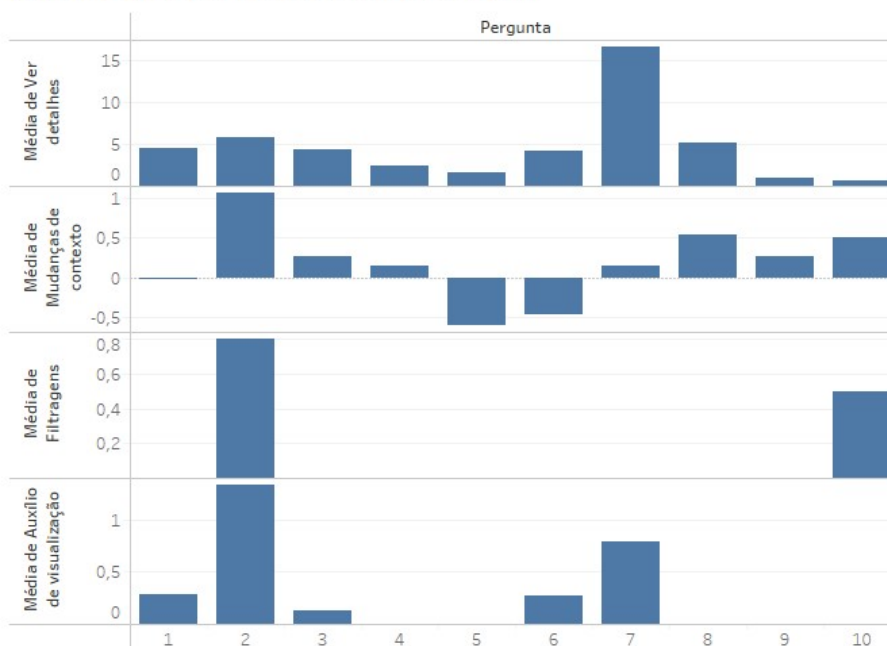


Figura 8.13: Valores médios do número de ações extra realizadas pelos participantes por pergunta e tipo de ação

Segue-se a análise detalhada de algumas questões, destacando comportamentos interessantes e explorando as situações descritas acima..

Na **Questão 2**, que exige a comparação entre as várias regiões do país para obter a resposta correta, seis participantes tiveram o instinto inicial de selecionar o âmbito "Região" em vez de permanecerem no âmbito "País" e simplesmente escolherem a opção de visualização "Comparar Regiões". Embora todos tenham chegado à resposta correta, aqueles que alteraram o âmbito para "Região" demoraram, em média, mais tempo a concluir a tarefa.

O facto de um número significativo de participantes ter adotado este comportamento pode indicar a necessidade de melhorias no design do cabeçalho, de forma a orientar melhor os utilizadores e a evitar decisões impulsivas que possam prolongar o tempo de resposta. No entanto, este resultado também evidencia que diferentes utilizadores abordam a tarefa de maneiras distintas: alguns exploram ativamente as opções disponíveis, testando diferentes contextos até encontrarem a resposta desejada, enquanto outros analisam primeiro a informação apresentada antes de agir. O facto de todos os participantes terem chegado à resposta correta demonstra que o *dashboard* é eficaz para ambos os perfis de utilizadores, acomodando tanto aqueles que preferem uma abordagem mais exploratória como os que adotam uma estratégia mais reflexiva.

Nesta questão, observou-se também que alguns dos participantes que inicialmente optaram por consultar o âmbito "Região" realizaram filtragens adicionais, selecionando diferentes regiões para visualizar. A análise deste comportamento indica que os participantes rapidamente compreenderam que estavam a visualizar apenas uma região e que, para obter a resposta correta, necessitariam de compará-las.

Inicialmente, estes participantes tentaram visualizar cada região separadamente, o que, em última instância, também poderia levá-los à resposta correta. No entanto, todos sentiram a necessidade de uma abordagem mais eficiente, o que os levou a selecionar o âmbito esperado. Este comportamento evidencia que o *feedback* do *dashboard* às ações realizadas é adequado e que mesmo escolhendo o contexto errado inicialmente, a estrutura do *dashboard* responde às necessidades sentidas pelos utilizadores para responderem às questões.

A **Questão 4** apresenta a particularidade de 4 das respostas corretas (e 2 incorretas) terem respondido à pergunta fazendo uma ação de mudança de contexto a menos do que o definido na chave. O comportamento acontece porque na pergunta anterior os participantes estão no contexto "comparar tipos de estação" e ao alterarem o âmbito espacial para o da pergunta 4, o da região, mantêm-se a comparar tipos de estação da região. A chave da pergunta considera a ação de mudança de contexto para "Geral" para daí retirar o valor pedido na questão, no entanto, alguns participantes optam por somar os valores de ambos os tipos de estação para obter o valor pedido. Este cenário não foi pensado como uma opção durante a contagem da chave, mas não deixa de ser uma opção válida e mais eficiente de responder à questão. Os restantes participantes, como esperado obtiveram a resposta a partir do contexto geral.

Na **Questão 5**, como mencionado anteriormente, vários participantes responderam com base num contexto diferente do previsto. A maioria dos participantes respondeu à questão com base no contexto onde se encontrava, que depende de como responderam à questão anterior. Por isso, o valor negativo na Figura 8.13 justifica-se pela ação em falta de mudar para o contexto "comparar zonas" de nove participantes.

Semelhantemente, na **Questão 6**, dado que os participantes acabaram a questão anterior em diferentes contextos, dependendo de como optaram por responder à questão anterior, muitos tiveram que fazer uma ação de mudança de contexto a menos para atingir o contexto pedido. Os utilizadores que já estavam no contexto de comparar tipos de estação, pedido na pergunta 6, realizaram uma ação a menos, o que, mais uma vez, justifica o valor negativo presente na Figura 8.13.

A **Questão 7** apresenta o valor mais elevado de ações extra de "Ver mais detalhes". Esta situação era esperada uma vez que, responder à questão exige identificar quando acontecem os "picos" de maior área da categoria Muito Bom do AQI e a forma mais conveniente de o fazer é através da consulta de tooltips. A chave da pergunta, como já mencionado, não tenciona representar a forma mais cómoda de responder à questão mais sim a com menos ações. Nesta pergunta era possível ter apenas olhado para a legenda e identificados os momentos de ocorrência dos "picos" mas, como se verifica na prática, a forma que todos os participantes usaram para identificar a altura dos picos foi através dos tooltips. Este comportamento reforça a importância da existência de *tooltips* no *dashboard*. Alguns participantes realizaram mais ações que o necessário para confirmar a sua intuição inicial de resposta. Nesta questão verificou-se também um uso mais elevado de ações de "auxílio de visualização" para o destaque da cor da categoria em análise.

Na **Questão 10** dá-se um valor mais elevado de filtros adicionais porque apesar de a questão limitar o intervalo de tempo da resposta a um ano só, essa filtragem é desnecessária uma vez que a informação está apresentada para todos os anos. Alguns participantes optam por filtrar imediatamente a visualização antes de a analisar, o que leva a uma ação desnecessária. Este comportamento, mais uma vez, evidencia as diferentes abordagens de resposta dos participantes.

Por fim, na **Questão 10**, observou-se um número elevado de filtros adicionais. Apesar de a questão restringir o intervalo temporal da resposta a apenas um ano, esta filtragem era desnecessária, uma vez que a informação já estava apresentada por ano. Este comportamento, mais uma vez, evidencia as diferentes abordagens de resposta dos participantes que optam por agir rapidamente ou por analisar a informação cuidadosamente. A flexibilidade do *dashboard* é comprovada uma vez que ambos os perfis de participantes conseguem obter a resposta correta.

8.2.1 Discussão dos resultados

Com base nos resultados e na análise da interação dos participantes com o *dashboard*, pode-se concluir que, de forma geral, este cumpre os seus objetivos. No entanto, há algumas

observações e aspetos que requerem discussão.

Ao longo do teste, verificou-se que os participantes, inicialmente, tiveram dificuldade em interpretar as opções das diferentes perspetivas como “subopções” do âmbito espacial selecionado, ou seja, não reconheceram de imediato a hierarquia dos botões. Essa dificuldade tornou-se evidente tanto pelas dúvidas expressas pelos participantes, como pelos comentários que fizeram durante a interação com o *dashboard*.

Este comportamento indica a necessidade de discutir o design do cabeçalho, de forma a determinar a forma mais clara de evidenciar a relação de dependência entre as opções de visualização e o âmbito espacial selecionado.

A pesquisa sobre as práticas mais comuns para comunicar a hierarquia de botões revelou que uma das abordagens mais utilizadas é o uso de preenchimento para o botão principal e apenas contorno para os botões subordinados. No entanto, esta solução não é a mais adequada neste contexto, pois, ao implementá-la para a testar, verificou-se que dificultava a leitura. Para além disso, esta proposta não resolve o principal problema identificado: a falta de perceção, por parte do utilizador, de que a seleção de diferentes âmbitos espaciais altera as opções das perspetivas disponíveis. Assim, o aspeto mais crítico é garantir *feedback* claro sobre os efeitos das ações do utilizador no *dashboard*.

Outra opção comumente utilizada, que poderia fazer sentido neste caso, seria a atribuição de uma cor distinta a cada âmbito espacial e utilização de um tom menos saturado dessa cor para os seus sub-botões. No entanto, esta opção apresenta desvantagens, dado que o *dashboard* já faz uso de uma ampla variedade de cores nas visualizações. Adicionando um novo conjunto de cores – que teria de ser distinto das já utilizadas para evitar confusão entre conceitos – poderia comprometer a clareza visual, tornando o design visualmente sobrecarregado. Além disso, esta solução levanta questões sobre a perceção da opção selecionada. No design atual, todos os botões não selecionados são cinzento-claro, enquanto os selecionados são cinzento-escuro, permitindo uma fácil identificação, por contraste, da seleção. Caso cada botão tivesse uma cor própria, seria necessário um método alternativo para indicar a seleção ativa.

Tendo em conta estas considerações, a versão atualmente implementada parece ser a mais apropriada. Embora nem todos os utilizadores compreendam imediatamente a hierarquia dos botões, a consistência da estrutura permite que esta se torne evidente após algum tempo de interação. No entanto, esta conclusão baseia-se nos dados obtidos durante os testes realizados. Idealmente, as diferentes opções deveriam ser implementadas e comparadas em testes de usabilidade para determinar qual delas oferece a melhor experiência ao utilizador.

Outro aspeto observado durante os testes foi a expectativa, por parte de alguns participantes, de que a seleção de um novo âmbito espacial os redirecionasse automaticamente para a perspetiva geral. Por exemplo, ao escolher a opção "Região", esperavam ser direcionados para a visão "Geral" correspondente a esse âmbito. No entanto, o comportamento do *dashboard* segue uma lógica diferente: ao alterar o âmbito espacial, a perspetiva previamente selecionada mantém-se. Assim, se um utilizador estiver a visualizar a comparação

de tipos de estação a nível nacional e mudar para o âmbito "Região", continuará a visualizar a comparação de tipos de estação, mas agora no novo âmbito selecionado.

Tendo em conta a expectativa demonstrada pelos participantes, considerou-se a possibilidade de redirecionar automaticamente o utilizador para a perspetiva geral sempre que ocorresse uma mudança no âmbito espacial. No entanto, ao analisar o perfil de utilizador-alvo, especialistas que pretendem explorar os dados de forma aprofundada, concluiu-se que esta abordagem poderia comprometer a continuidade da análise. Um especialista que estivesse a comparar os tipos de estação a nível nacional e decidisse mudar para um âmbito mais restrito, como a região, estaria provavelmente interessado em continuar a mesma análise, mas num nível de granularidade diferente. Assim, a manutenção da perspetiva selecionado ao longo da navegação revela-se mais alinhada com a necessidade de exploração analítica dos utilizadores avançados.

8.3 Resultados do *Dashboard* dos Padrões Horários

Os testes deste *dashboard* foram conduzidos com um total de 15 participantes, dos quais 5 eram mulheres e 10 homens, com idades compreendidas entre os intervalos de 18 a 24 anos e de 55 a 64 anos. Entre os participantes, dois possuíam conhecimentos especializados em qualidade do ar, enquanto que os restantes treze não tinham experiência na área. Além disso, sete participantes tinham experiência com visualização de dados, ao passo que os outros oito não tinham. A distribuição detalhada destas características pode ser visualizada na Figura 8.14.

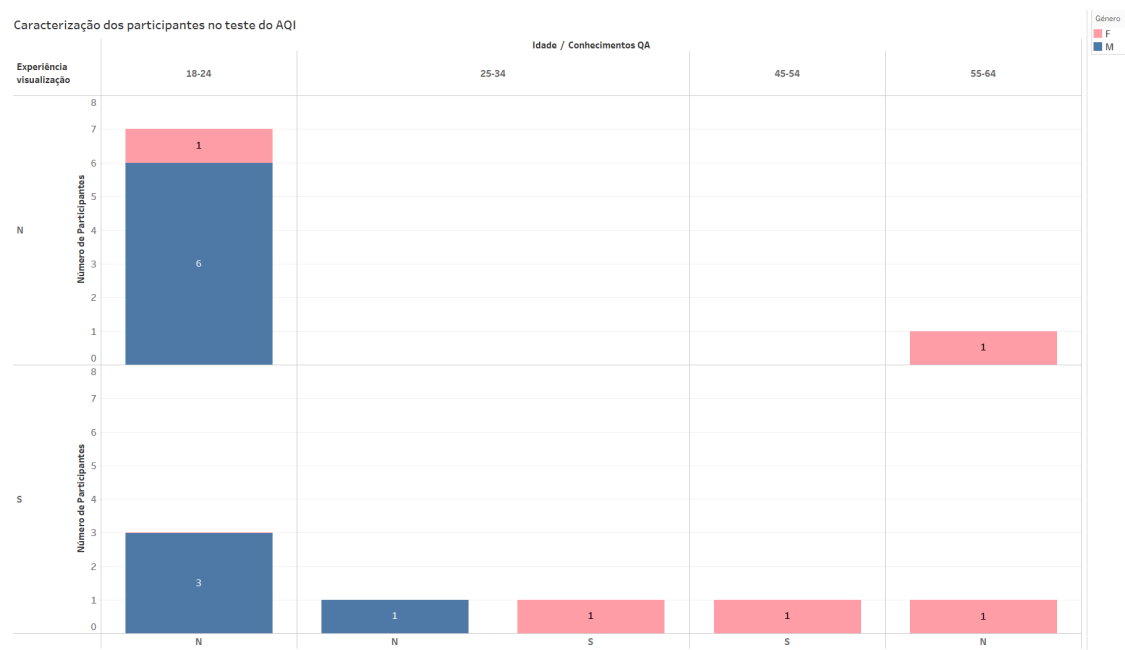


Figura 8.14: Caracterização dos participantes no teste do *Dashboard* dos Padrões Horários de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar

Analisando os dados dos resultados por pergunta nota-se que a maioria dos participantes, tal como no teste anterior, respondem corretamente às questões, como é evidente na Figura 8.15. A análise dos resultados obtidos para cada pergunta revela que a maioria dos participantes responde corretamente às questões, um padrão semelhante ao observado no teste do *dashboard* anterior. Estes resultados são ilustrados na Figura 8.15.

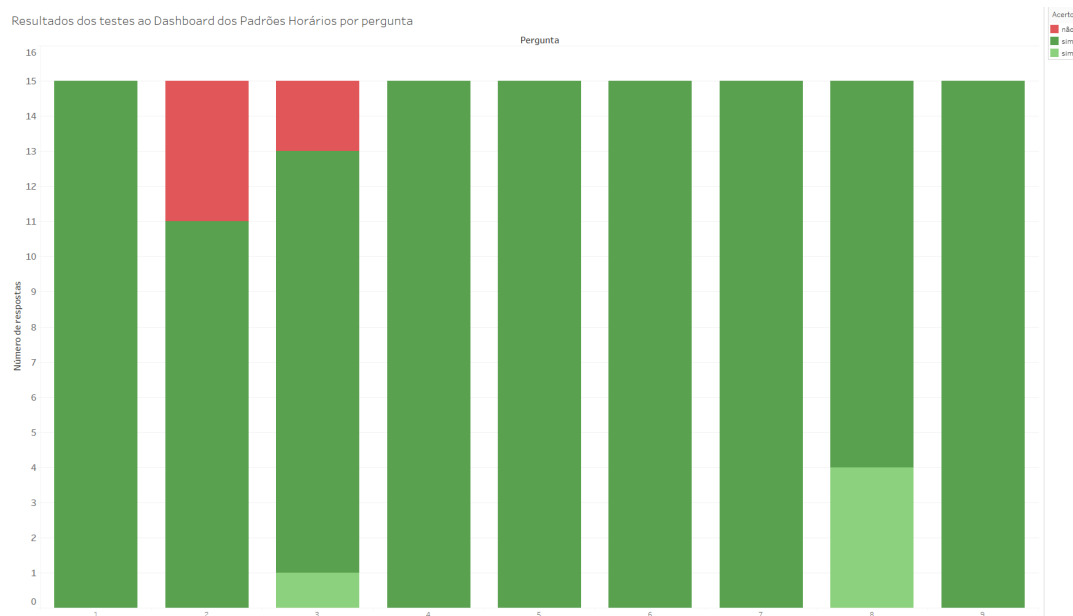


Figura 8.15: Resultados da correção das respostas ao teste do *Dashboard* dos Padrões Horários

Para aprofundar a análise, serão examinadas as respostas incorretas e outras situações anómalas, com o objetivo de compreender as razões subjacentes aos erros e determinar se estes resultam de falhas no *dashboard*.

A **Questão 2** registou o maior número de respostas incorretas, com quatro erros em quinze respostas. Dado este número, torna-se essencial analisar a questão em detalhe, pois pode indicar um problema sistémico do *dashboard*.

Ao examinar individualmente cada resposta incorreta, verificam-se diferentes motivos subjacentes aos erros. Dois dos participantes interpretaram corretamente a questão e identificaram a abordagem correta para a resposta. No entanto, a formulação da pergunta revelou-se ambígua, conduzindo ao erro. A questão solicitava que os participantes indicassem se um determinado conjunto de visualizações era semelhante. No entanto, ao ser formulada dessa forma, a resposta dependia da perceção subjetiva do utilizador. Como resultado, dois participantes consideraram que os dados eram semelhantes, quando a intenção da questão era indicar que as visualizações não o eram. Esta análise demonstra que o problema que conduziu ao erro estava na formulação da questão e não no *dashboard* e na sua organização.

Os outros dois participantes que responderam incorretamente cometeram erros por motivos distintos, mas ambos relacionados com uma interpretação inadequada da questão.

Um dos participantes analisou corretamente o contexto da pergunta, mas baseou a sua resposta na métrica errada. Como a métrica correta estava explicitamente referida na questão e devidamente identificada no *dashboard*, o erro não pode ser atribuído a falhas do *dashboard*. O outro participante, por sua vez, não considerou o contexto correto, limitando-se a visualizar apenas uma região antes de responder, indicando que a questão não foi devidamente compreendida.

Deste modo, conclui-se que nenhuma das respostas incorretas pode ser atribuída a uma falha do *dashboard*, mas sim a ambiguidades na formulação da questão e a dificuldades de interpretação por parte dos participantes.

Na **Questão 3**, registaram-se duas respostas incorretas por dois motivos distintos.

Um dos participantes analisou corretamente o contexto da questão, mas baseou a sua resposta numa visualização que apresentava a métrica errada. Além disso, interpretou incorretamente o gráfico dessa métrica, apesar de já o ter compreendido corretamente numa questão anterior. Este facto sugere que o erro se deveu a uma distração momentânea, e não a uma dificuldade inerente à visualização ou à estrutura do *dashboard*.

O outro participante que respondeu incorretamente analisou um contexto diferente do esperado para a questão ao selecionar a perspetiva Comparar Tipos de Estação da região. Este erro, semelhante ao observado em alguns casos no teste do *Dashboard* do AQI, resulta da confusão entre os conceitos de Estação e Tipo de Estação, provavelmente devido à falta de conhecimentos especializados em qualidade do ar. Essa confusão levou o participante a selecionar a perspetiva Comparar Tipos de Estação, que, embora permita obter a resposta correta, não era a perspetiva esperada na chave da questão. Apesar disso, o participante interpretou corretamente a visualização utilizada, identificou a estação correta, mas, no momento de responder, indicou o tipo de estação em vez do nome da estação. O *tooltip* que apresenta o nome da estação bem como o seu tipo identifica ambas as variáveis com os seus títulos. Desta forma, este erro não pode ser atribuído a uma falha do *dashboard*.

Além das respostas incorretas, verificou-se também uma resposta de sim*, que corresponde ao mesmo significado identificado anteriormente nos testes do *dashboard* do AQI. Tal como no caso anterior, esta resposta resulta da confusão entre Estação e Tipo de Estação, levando o participante a selecionar a mesma perspetiva errada. No entanto, a partir dessa perspetiva, foi possível obter a resposta correta, o que demonstra a versatilidade do *dashboard* e a sua facilidade de interpretação, mesmo quando os utilizadores seguem um caminho diferente do esperado.

Desta forma, os erros registados nesta questão não apontam para problemas estruturais do *dashboard*, mas sim para dificuldades de interpretação da terminologia utilizada por parte dos participantes sem formação na área da qualidade do ar.

Na **Questão 8**, registaram-se quatro respostas do tipo Sim*, que representam respostas corretas obtidas através de um contexto que não o esperado durante a definição da chave do teste. A intenção desta questão era que os participantes analisassem a perspetiva "Região - Comparar Zonas" e, a partir daí, identificassem uma estação e uma hora. No entanto,

a informação necessária para responder à questão também está disponível noutras perspetivas, nomeadamente na perspetiva "Região - Geral". Assim, estes quatro participantes responderam corretamente, baseando-se nessa alternativa de resposta.

Após a análise das respostas incorretas e das abordagens utilizadas pelos participantes, conclui-se que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios e que não revelam problemas relacionados com o desenho e organização do *dashboard*. No entanto, para completar a análise dos resultados, é essencial verificar se determinados grupos de participantes sentem dificuldades adicionais na interpretação do *dashboard*, de forma a avaliar a sua adequação a diferentes perfis de utilizadores.

Para esse efeito, analisaram-se o tempo despendido e o número de ações realizadas por cada grupo de participantes.

A comparação do tempo de resposta entre utilizadores com e sem experiência em visualização de dados revela que, à semelhança do observado no teste do *Dashboard* do AQI, não há um enviesamento claro para nenhum dos grupos. Como se pode observar na Figura 8.16, a duração do teste não segue um padrão fixo em relação à experiência dos participantes. Ao longo das várias questões, a média do tempo despendido varia, alternando entre os grupos em termos de qual tende a responder em menos tempo. Isto indica que a experiência prévia em visualização de dados não é um fator determinante na rapidez da resposta.

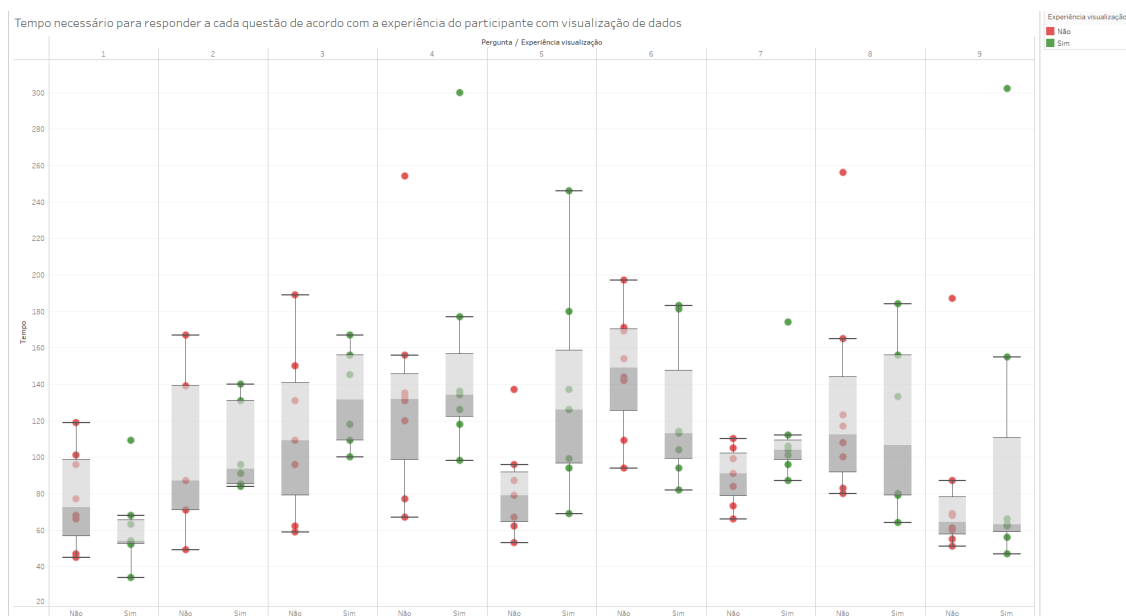


Figura 8.16: Resultados do tempo necessário para responder a cada questão de acordo com a experiência de cada participante em visualização de dados

Tal como no teste do *dashboard* anterior, apenas dois participantes possuíam conhecimentos especializados em qualidade do ar. Consequentemente, a comparação entre estes e os participantes sem conhecimentos na área não apresenta resultados estatisticamente expressivos.

Ainda assim, observa-se que, com exceção de uma questão, ambos os participantes com conhecimentos especializados realizaram as tarefas em tempos bastante semelhantes. Além disso, apenas em quatro questões a média de tempo destes participantes foi inferior à média dos restantes.

A análise detalhada das gravações dos testes revelou que este tempo adicional não se deve a dificuldades na utilização do *dashboard*, mas sim a um maior interesse em explorar as suas funcionalidades. Os participantes com conhecimentos em qualidade do ar tendem a dedicar mais tempo à análise detalhada de cada visualização, motivados pelo seu interesse pessoal na temática. Por outro lado, os participantes sem este interesse específico seguem um fluxo de interação mais direto, sem explorar tanto as funcionalidades disponíveis.

A análise dos tempos de resposta entre participantes femininos e masculinos revelou que não há diferenças significativas entre os dois grupos. Na maioria das questões, a média do tempo despendido foi bastante semelhante, o que sugere que o *dashboard* responde às necessidades de ambos os grupos.

De seguida apresenta-se uma análise do número e tipo de ações extra realizadas pelos participantes. na Figura 8.17 apresenta-se um resumo da média de ações a mais realizadas pelos participantes por cada tipo de ação.

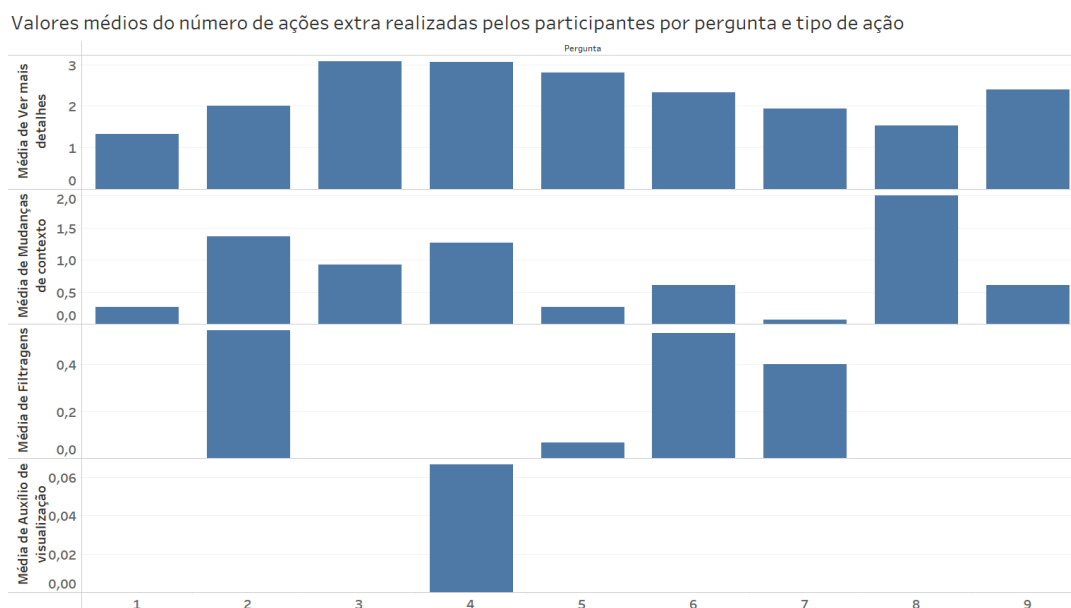


Figura 8.17: Valores médios do número de ações extra realizadas pelos participantes por pergunta e tipo de ação para o *Dashboard* dos Padrões Horários

Como se pode observar, embora o número de ações definido na chave do teste deste *dashboard* seja bastante semelhante ao do *Dashboard* do AQI, os valores relativos às ações extra realizadas apresentam diferenças significativas. No caso do *Dashboard* dos Padrões Horários, os participantes, em média, sentiram menos necessidade de executar ações adicionais. Em várias questões, alguns utilizadores conseguiram responder sem recorrer a nenhuma ação extra além das definidas na chave.

Tal como no *dashboard* anterior, verifica-se novamente que o tipo de ação "Ver mais detalhes" é aquele que regista o maior número de interações adicionais. Isto deve-se também à consulta dos tooltips que auxiliam o utilizador a interpretar as visualizações apresentadas.

Apesar de não se verificarem discrepâncias relevantes entre a média do número de ações realizadas e o número de ações definidas na chave, existem alguns aspetos a salientar que serão analisados com maior detalhe.

Na **Questão 6** e na questão **Questão 7**, observam-se comportamentos semelhantes por parte dos participantes no que diz respeito à utilização da filtragem. Em ambas as questões, o objetivo é realizar comparações — entre tipos de estação na questão 6 e entre tipos de dia na questão 7.

Uma tendência comum entre os participantes foi iniciar a resposta analisando individualmente cada uma das variantes da comparação, alternando entre elas através de filtragens adicionais. Após algumas iterações desse processo, os utilizadores sentem a necessidade de uma forma mais eficiente de realizar a comparação, levando-os a selecionar a perspetiva correta, seja "Comparar Tipos de Estação" ou "Comparar Tipos de Dias". A existência destas opções revela que o *dashboard* está alinhado com as necessidades dos utilizadores para eficientemente retirar conclusões dos dados apresentados.

Outro comportamento relevante observado nestas questões envolve a aplicação de filtragens adicionais antes da seleção das perspetivas de comparação. Em ambos os casos, dois participantes optaram por modificar os filtros previamente definidos para garantir que todas as variantes a comparar estivessem selecionadas. Por exemplo, se inicialmente apenas um tipo de estação ou um tipo de dia estivesse ativo devido a respostas anteriores, esses participantes ajustavam manualmente a filtragem para incluir todas as variantes possíveis.

No entanto, essa ação não é necessária, uma vez que as visualizações de comparação apresentam automaticamente todos os tipos a comparar, independentemente do filtro aplicado. O facto de apenas dois participantes em cada questão terem demonstrado essa preocupação reforça a importância de manter as visualizações de comparação independentes das filtragens das variáveis que analisam, abordagem que contribui para o princípio de redução de possíveis erros.

Na **Questão 8**, observa-se um número mais elevado de mudanças de contexto, refletindo a maior dificuldade dos participantes em encontrar a resposta, em parte devido à formulação da questão.

Conforme discutido na análise da correção das respostas, vários participantes baseiam-se em diferentes perspetivas para responder à pergunta. Para chegar à resposta final, muitos utilizadores realizam múltiplas mudanças de contexto, explorando diferentes visualizações até identificarem aquela que lhes permite obter a informação necessária.

Apesar desse elevado número de mudanças de contexto, todos os participantes conseguiram responder corretamente à questão. Isto indica que, ainda que a abordagem para encontrar a resposta não tenha sido imediatamente óbvia para alguns utilizadores, a

exploração do *dashboard* possibilitou que chegassem sempre à solução correta. Este comportamento demonstra que a interface do *dashboard* é suficientemente intuitiva e flexível para permitir que os utilizadores encontrem a informação de forma autónoma, mesmo quando inicialmente enfrentam dificuldades na interpretação da questão.

8.3.1 Discussão dos resultados

A análise dos resultados não revelou problemas sistémicos na construção e organização do *dashboard*. No entanto, identificou-se uma fonte recorrente de erros, de tempo adicional despendido e de ações extra realizadas pelos participantes: a confusão entre **estações de monitorização da qualidade do ar** e o conceito de **tipo de estação**. Esta dificuldade foi observada exclusivamente entre participantes sem conhecimentos especializados na área, uma vez que um especialista em qualidade do ar não cometeria este erro.

Dado que o objetivo principal da utilização destes *dashboards* é a análise e exploração da qualidade do ar, considera-se que esta confusão não constitui um problema crítico. Utilizadores interessados em retirar informação relevante do *dashboard* terão, à partida, questões analíticas bem definidas, sendo menos suscetíveis a este tipo de equívoco. Assim, a necessidade de procurar uma solução específica para esta situação é reduzida, uma vez que se trata de um problema que afeta sobretudo utilizadores inexperientes num contexto de teste, e não no uso real da ferramenta.

Outro ponto relevante refere-se à forma como os **nomes das estações** foram apresentados na granularidade espacial "Estação". Durante os testes, foram avaliadas duas abordagens distintas:

- No *Dashboard do AQI*, as estações foram agrupadas pela sua zona e, dentro de cada grupo, ordenadas alfabeticamente. Por exemplo, a estação "Avenida da Liberdade" era apresentada como "AML Norte - Avenida da Liberdade".
- No *Dashboard dos Padrões Horários*, as estações foram apresentadas em **ordem alfabética**, independentemente da zona a que pertenciam.

A justificação para testar estas duas opções foi que a inclusão da **zona** no nome da estação poderia facilitar a análise, permitindo ao utilizador identificar rapidamente todas as estações disponíveis numa determinada zona. No entanto, havia também a possibilidade de que esse formato dificultasse a pesquisa das estações dentro do menu *dropdown*.

Após analisar o comportamento dos participantes em ambos os *dashboards*, ficou claro que a opção de agrupamento por zona dificultava significativamente a localização de estações específicas. Isto porque, para encontrar rapidamente uma estação, o utilizador precisava de saber previamente a zona em que esta se localizava. Quando essa informação não era conhecida, o utilizador era forçado a procurar a estação atentamente dentro do menu *dropdown*, tornando o processo mais demorado e menos eficiente.

Por outro lado, no *dashboard* onde as estações foram listadas **apenas por ordem alfabética**, nenhum participante demonstrou dificuldades em encontrar as estações desejadas.

Diante desses resultados, concluiu-se que a ordenação **puramente alfabética** seria a opção mais adequada. Essa decisão foi discutida com o Professor Francisco Ferreira, um dos stakeholders do projeto, que concordou com a escolha. Para garantir que os utilizadores ainda conseguissem identificar facilmente a zona a que cada estação pertence, foi decidido inverter a nomenclatura no menu *dropdown*. Assim, por exemplo, a estação "Avenida da Liberdade" passaria a ser exibida como "Avenida da Liberdade - AML Norte", permitindo uma pesquisa eficiente sem perder a informação sobre a zona correspondente.

8.4 Resultados do *Dashboard* das Poeiras

O teste deste *dashboard* foi realizado por 15 participantes, dos quais sete mulheres e oito homens, com idades compreendidas entre os intervalos 18 a 24 e 55 a 64. Dos participantes, apenas um possuía conhecimento especializado em qualidade do ar, enquanto os restantes 14 não tinham essa experiência; dez tinham familiaridade com visualização de dados e cinco não. Um resumo desta caracterização pode ser consultado na Figura 8.18.

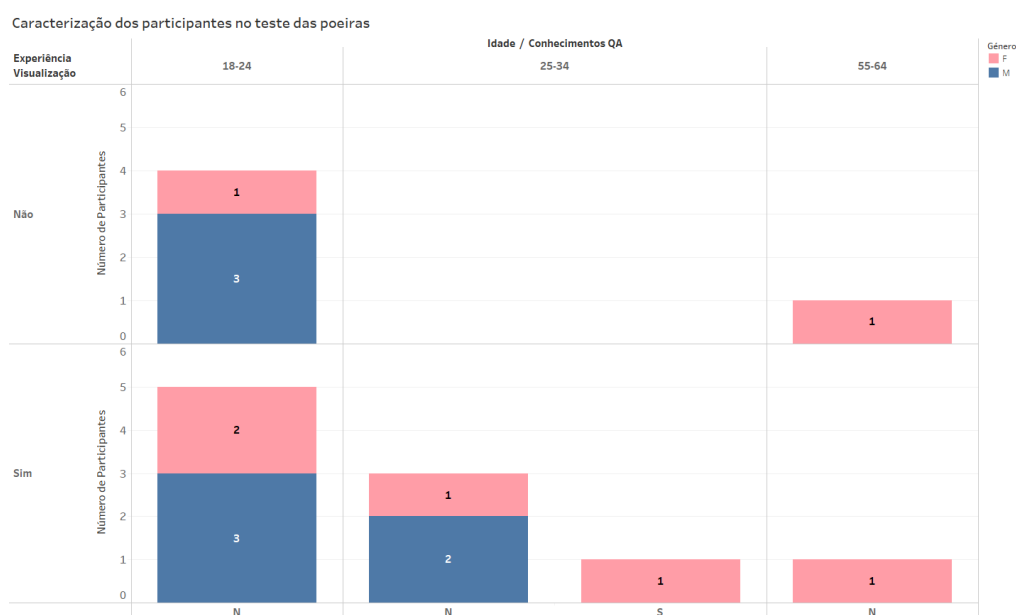


Figura 8.18: Caracterização dos participantes no teste do *dashboard* das poeiras de acordo com o seu gênero, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar

A análise dos resultados obtidos na correção das respostas às perguntas do teste, apresentados na Figura 8.19, revela que, embora a maioria das respostas esteja correta, existem algumas incorreções ao longo do teste, e outras respostas anómalas que requerem uma análise mais detalhada. Importa reforçar que as respostas assinaladas como "sim*" correspondem a respostas corretas que foram respondidas de uma forma diferente da prevista na chave do teste.

Na **Questão 2**, foram identificadas duas respostas incorretas, ambas resultantes de lapsos de atenção por parte dos participantes. Em ambos os casos, os participantes

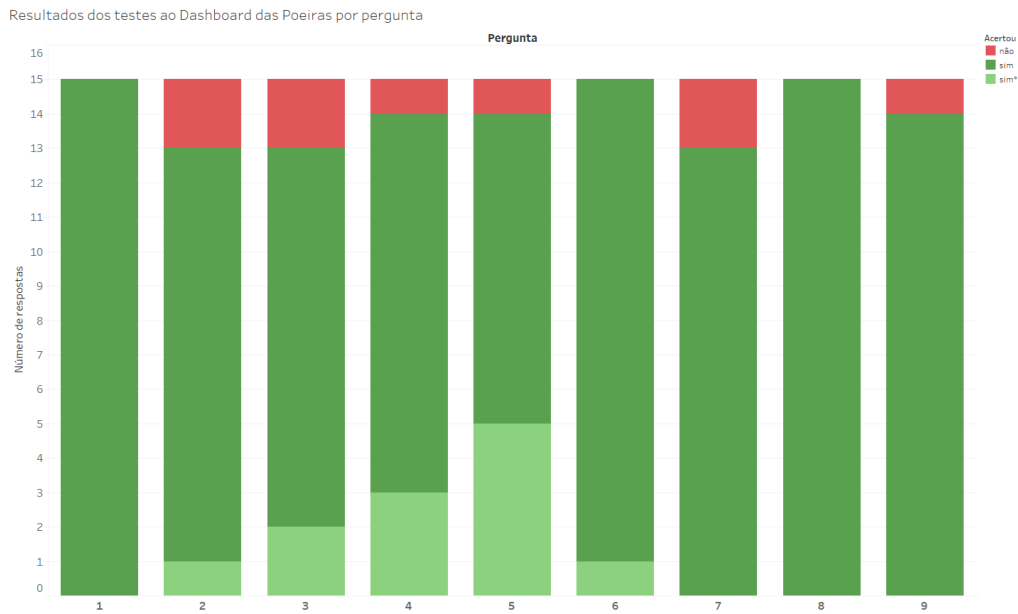


Figura 8.19: Resultados da correção das respostas ao teste do *Dashboard* das Poeiras

identificaram corretamente a visualização adequada para responder à pergunta. No entanto, um deles não identificou a barra mais alta correspondente ao valor solicitado, mas sim a segunda mais alta, evidenciando um erro de distração. O outro participante, apesar de reconhecer corretamente o elemento que fornece a resposta certa, acabou por consultar o *tooltip* de um elemento incorreto, demonstrando, novamente, uma falha por falta de atenção.

Na **Questão 3**, registaram-se novamente duas respostas incorretas. Um dos participantes escolheu a perspetiva "Sazonalidade Mensal", possivelmente devido à necessidade de responder com um mês específico. Embora não esteja prevista na chave do teste, esta perspetiva permite também obter a resposta correta. No entanto, o participante interpretou incorretamente a visualização e baseou a sua resposta na intensidade da cor, variável inadequada para a questão.

Outro participante selecionou igualmente a perspetiva "Sazonalidade Mensal", mas, ao interpretar corretamente a visualização correspondente à sazonalidade da intensidade dos eventos de poeiras, conseguiu obter a resposta correta, correspondendo assim à resposta de sim* identificada nesta questão.

O facto de dois participantes terem escolhido a mesma perspetiva — que não estava inicialmente prevista, mas que permite obter a resposta certa — e um ter respondido corretamente enquanto o outro não, indica que a dificuldade sentida por um deles não decorre de limitações do *dashboard*, mas sim de dificuldades individuais na interpretação da visualização.

O outro participante que respondeu incorretamente utilizou uma perspetiva que não possibilitava uma resposta correta e, além disso, indicou apenas um ano em vez de um mês, sugerindo uma falta de atenção na leitura da questão.

Na **Questão 4**, registou-se apenas uma resposta incorreta. O erro cometido pelo participante ocorreu num contexto específico de teste e dificilmente se repetiria numa utilização real do *dashboard*.

A questão solicitava a identificação da duração do episódio mais longo de poeiras, ao que o participante respondeu "1". Neste ambiente de teste, onde os utilizadores estavam focados em completar um questionário e não em responder a questões próprias sobre a ocorrência de poeiras, o participante não questionou a plausibilidade da resposta. Num cenário real, ao analisar a informação para satisfazer uma necessidade específica, o utilizador aperceber-se-ia mais facilmente do equívoco.

Dado que este erro ocorreu isoladamente e decorreu do contexto do teste, não representa um problema relevante na usabilidade do *dashboard*.

Na **Questão 5**, o erro identificado resultou da confusão entre os termos "episódio" e "evento" utilizados no *dashboard*. Esta confusão é compreensível, especialmente no caso do participante que errou, uma vez que não possuía conhecimentos sobre qualidade do ar.

Dado que o *dashboard* foi desenvolvido para ser acessível a qualquer utilizador, independentemente do seu nível de conhecimento na área, as definições desses dois termos estão incluídas nas instruções disponibilizadas na interface. Assim, embora este erro possa ocorrer, o *dashboard* incorpora mecanismos para minimizá-lo, garantindo que os utilizadores possam compreender corretamente os conceitos apresentados.

Na **Questão 7**, o mesmo participante voltou a confundir os termos "episódio" e "evento", resultando numa resposta incorreta.

Já na **Questão 9**, a natureza específica da pergunta, que envolve conceitos técnicos sobre qualidade do ar e ocorrência de poeiras, pode ter dificultado a sua compreensão para participantes sem experiência prévia na área. A única resposta errada registada nesta questão deveu-se precisamente à falta de familiaridade com estes termos especializados.

Este erro, no entanto, não reflete uma limitação do *dashboard* em si, mas apenas um falha decorrente do contexto do teste.

Com exceção da resposta classificada como sim* na Questão 3, anteriormente referida, todas as restantes respostas identificadas como sim* resultaram do mesmo fenómeno. A chave do teste foi estruturada para garantir que os participantes explorassem todas as perspetivas do *dashboard*. No entanto, cinco utilizadores desviaram-se desse percurso e responderam a mais do que uma questão utilizando a perspetiva "Comparar Regiões".

Embora o principal objetivo desta perspetiva seja permitir a comparação direta das métricas entre as diferentes regiões de Portugal, existe também a possibilidade secundária de visualizar a evolução de uma métrica específica ao longo dos anos para uma determinada região. Este fator permitiu que os participantes utilizassem esta perspetiva para responder corretamente a um conjunto variado de questões, mesmo que não tivesse sido originalmente pensada para esse propósito. Assim, apesar de esta abordagem tornar a resposta potencialmente mais trabalhosa, mostrou-se funcional para os participantes.

Mais uma vez, este teste não revelou qualquer enviesamento relativamente ao tempo despendido na resposta às questões, independentemente dos grupos de participantes,

seja em termos de género, experiência com visualização de dados ou conhecimento em qualidade do ar.

Embora a comparação entre participantes com e sem conhecimentos especializados em qualidade do ar não seja muito significativa uma vez que apenas um participante tem estes conhecimentos, é relevante observar que o participante com tais conhecimentos registou tempos de resposta que se mantiveram dentro dos intervalos de tempo observados para os participantes sem conhecimento especializado. De notar que os tempos desse participante tenderam a ser mais próximos dos valores mínimos registados pelos outros participantes do que dos valores máximos.

Ao analisar o número médio de ações adicionais realizadas pelos participantes para responder às questões, como ilustrado na Figura 8.20, sobressaem alguns aspectos relevantes.

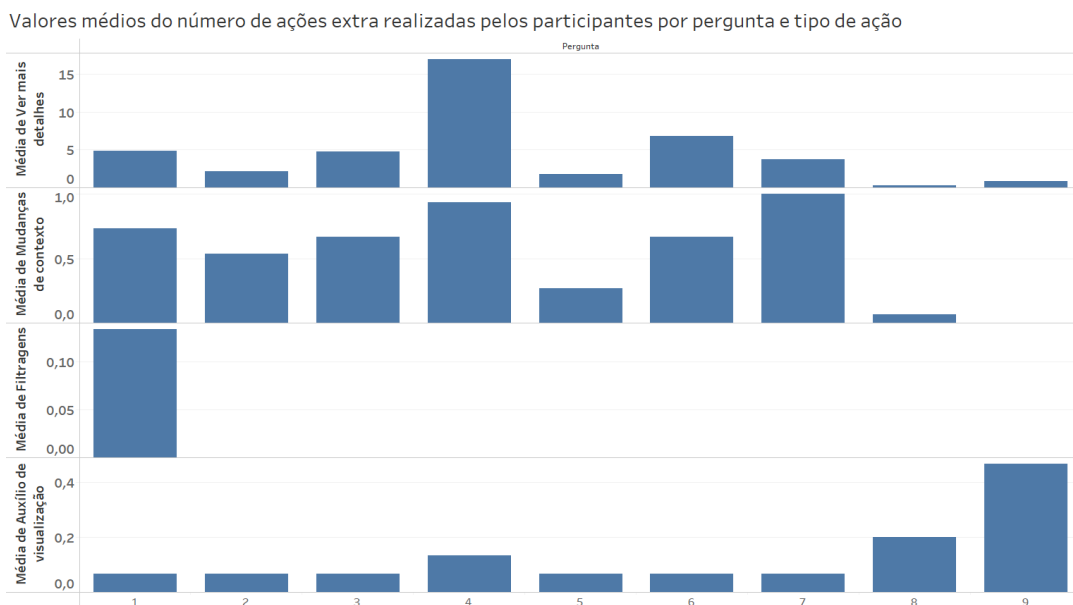


Figura 8.20: Resultados da correção das respostas ao teste do *Dashboard* das Poeiras

Tal como nos testes anteriores, o tipo de ação extra mais utilizado foi a de "Ver mais detalhes", decorrente da utilização dos tooltips. No entanto, a pergunta 4 destaca-se pelo uso elevado deste tipo de ação. Ao analisar mais detalhadamente esta situação, verifica-se que vários participantes não interpretaram imediatamente a visualização em questão, necessitando de consultar vários tooltips para poderem compreendê-la corretamente. Apesar desta dificuldade adicional na interpretação, todos os utilizadores que registaram elevados valores deste tipo de ação extra acertaram a questão, o que indica que a informação existente, tanto nos tooltips quanto na visualização em si, é adequada para a compreensão da mesma. Nesta pergunta, a única resposta errada foi dada por um utilizador que realizou apenas uma ação extra deste tipo para confirmar a sua resposta. Ou seja, os participantes que exploraram cuidadosamente a visualização conseguiram compreender como funcionava.

Outro aspeto a ser destacado é o reduzido número de utilizações das filtragens e dos auxílios de visualização. Embora o uso dessas ações não tenha sido muito frequente, alguns utilizadores sentiram a necessidade de as usar, o que indica que o *dashboard* está preparado para acomodar diferentes tipos de utilizadores, com preferências distintas na exploração dos dados e nas visualizações. Isto demonstra que é importante disponibilizar essas opções de ações, pois facilitam a interpretação para aqueles que as utilizam.

8.4.1 Discussão dos resultados

Através das diversas análises dos resultados deste teste, conclui-se que o *dashboard* é adequado para cumprir os seus objetivos, transmitindo a informação de forma clara e organizada. Mesmo os participantes que manifestaram mais dificuldade na interpretação de uma visualização conseguiram chegar à resposta correta utilizando as informações disponíveis no *dashboard*. As respostas incorretas, como foi observado anteriormente, não são indicativas de problemas no próprio *dashboard*.

Nesta análise, verificou-se que os participantes manifestaram alguma dificuldade com alguns termos específicos relacionados a esta temática. Por se tratar de um tema altamente especializado dentro da área da qualidade do ar, é esperado que os utilizadores mais interessados neste *dashboard* possuam algum conhecimento prévio na área. Sendo que o participante mais representativo do tipo de utilizador esperado deste *dashboard* não apresentou essas dificuldades, estas não refletem problemas sistémicos do *dashboard*, mas sim um desafio relacionado com a especificidade do tema abordado.

8.5 Resultados do *Dashboard* do Impacto da Meteorologia

Neste teste participaram 15 pessoas, das quais cinco mulheres e dez homens, com idades compreendidas entre os intervalos 18 a 24 e 55 a 64. Destes participantes oito não tinham experiência com visualização de dados e seis tinham. Neste teste nenhum participante tinha conhecimentos especializados da qualidade do ar. Um resumo destes dados pode ser consultado na Figura 8.21.

Da análise da correção das respostas às perguntas deste teste, apresentadas na Figura 8.22, observa-se mais uma vez que a maioria das respostas são corretas. Em princípio isto significa que não existem problemas sistémicos que impeçam a utilização de uma boa forma do *dashboard* mas para confirmar isto é necessário analisar as respostas incorretas e anómalas em detalhe.

Na **Questão 2** o participante que erra na resposta fá-lo porque não interpreta corretamente o significado da cor. Esta dificuldade foi sentida por alguns participantes nas duas perguntas que envolviam a visualização de apenas uma variável meteorológica, esta questão 2 e a questão 3. Estes participantes inicialmente exploraram as zonas mais escuras das visualizações, uma situação natural uma vez que na primeira pergunta a cor correspondia à intensidade do poluente. De todos os participantes que inicialmente

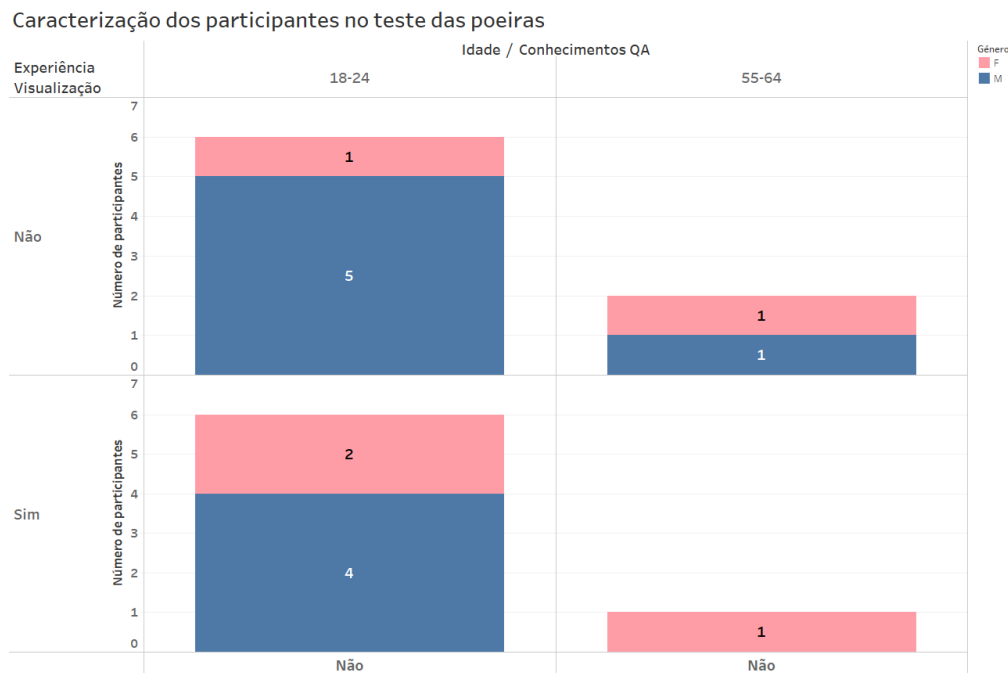


Figura 8.21: Caracterização dos participantes no teste do *dashboard* do impacto da meteorologia de acordo com o seu género, idade, experiência com visualização de dados e conhecimentos de qualidade do ar

interpretaram a visualização de forma errónea apenas um acabou por responder incorretamente, indicando que o *dashboard* possui informação suficiente para que um utilizador se aperceba deste erro e que obtenha uma conclusão correta dos dados.

Na **Questão 4** existem duas respostas erradas que decorrem da mesma causa. Ambos os participantes respondem com base nos dois outliers que a pergunta refere para não considerar. Uma vez que a questão explicita que estes valores não devem ser considerados, estes erros podem ser atribuídos a faltas de atenção e não a problemas de interpretação do *dashboard* em si

Como parte da análise das respostas erradas e anómalas foi visto como foi a distribuição destas respostas pelos participantes e verificou-se, como representado na Figura 8.23, que todas estas respostas foram dadas por apenas 2 participantes sendo que um deles tem duas respostas erradas e uma sim* o que pode indicar que estes erros possam ter sido influenciados por fatores externos ao teste como por exemplo o participante estar com falta de atenção.

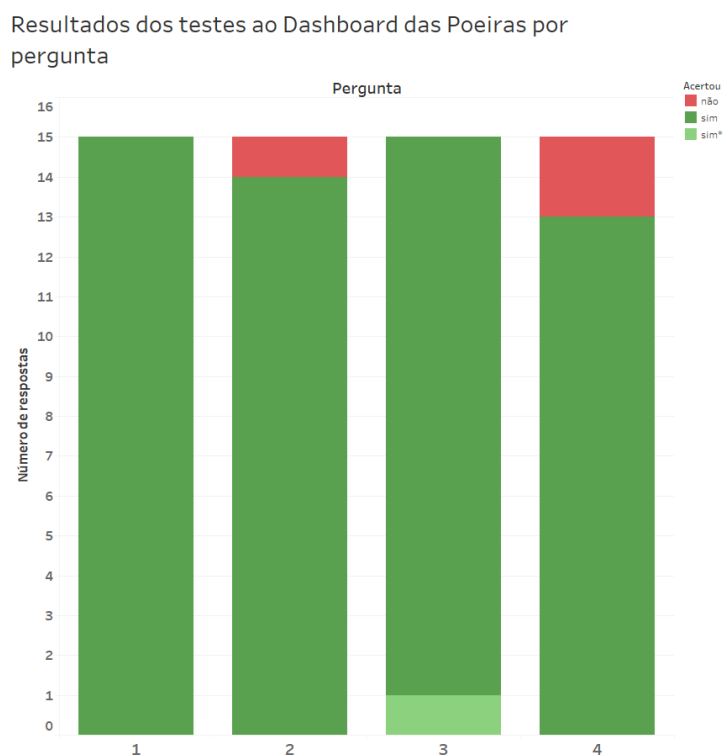


Figura 8.22: Resultados da correção das respostas ao teste do *Dashboard* do Impacto da Meteorologia

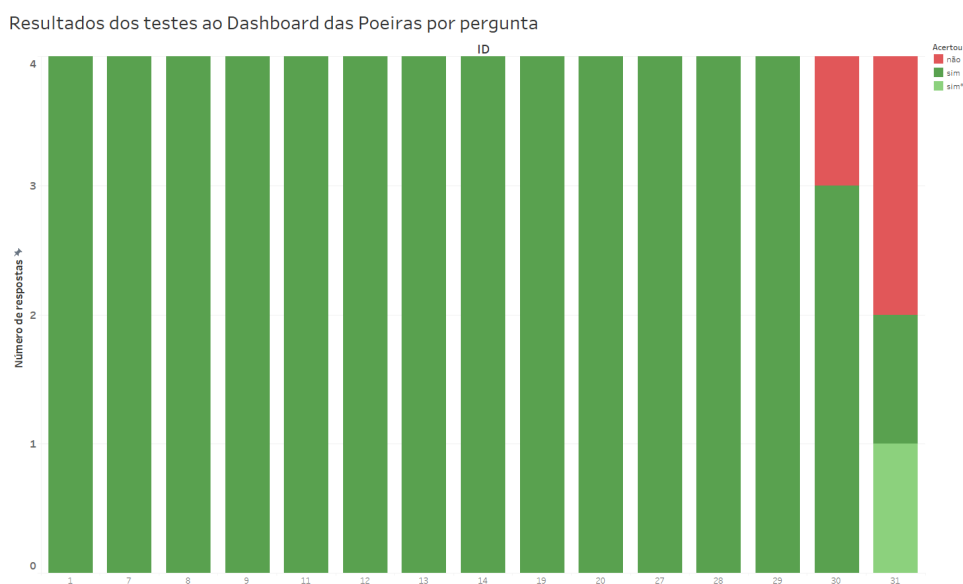


Figura 8.23: Resultados da correção das respostas ao teste do *Dashboard* do Impacto da Meteorologia por participante

8.6 Conclusão

A realização dos testes aos *dashboards* e a análise dos respetivos resultados permitem concluir que todos são adequados e cumprem eficazmente o seu objetivo de transmitir

informação de forma clara, possibilitando a resposta às questões analíticas. Na maioria dos casos, as respostas incorretas resultaram de distrações ou falhas na interpretação das próprias questões do teste, e não de limitações dos *dashboards*. Não foram identificados problemas sistémicos que comprometessem a usabilidade ou a eficácia das visualizações.

É relevante notar que alguns participantes revelaram sentir-se nervosos durante os testes, o que poderá ter influenciado também a precisão das respostas.

No total, participaram 31 pessoas nos testes aos *dashboards*. Dada a complexidade dos *dashboards*, os testes apresentaram também um certo grau de complexidade, o que tornou o processo da realização de todos os testes demorado. Foram conduzidos 60 testes, com uma duração média de aproximadamente 20 minutos cada, o que perfaz um total estimado de 20 horas de testagem. Para a análise dos resultados, que incluiu a visualização das gravações dos testes e a anotação dos tempos e das ações realizadas pelos participantes, estima-se que esta fase tenha exigido entre o dobro e o triplo desse tempo.

CONCLUSÃO

9.1 Discussão

Os objetivos deste trabalho foram cumpridos com sucesso. O principal objetivo era desenvolver ferramentas que permitissem analisar a evolução das tendências e dos padrões da qualidade do ar em Portugal, e determinar como esta é influenciada por fatores como a meteorologia, poeiras provenientes de África e comportamentos humanos. Para esse fim, foram concebidos quatro *dashboards* que, através de diferentes temas, perspetivas, métricas e agregações, proporcionam uma visão abrangente sobre a qualidade do ar dos últimos vinte anos em Portugal. A partir de dados históricos das medições dos poluentes, das medições meteorológicas e da ocorrência de poeiras - que foram devidamente tratados e processados utilizando um processo de fácil replicação e adaptação - foi possível construir *dashboards* que respondessem às necessidades.

Os *dashboards* foram concebidos para responder a uma ampla variedade de questões analíticas. O *dashboard* do AQI permite visualizar facilmente a evolução dos principais poluentes em estudo — NO_2 , O_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$ e SO_2 — bem como a sua sazonalidade em diferentes níveis de granularidade, desde análises ao nível de uma estação até análises ao nível do país. O *dashboard* dos padrões horários, para além de permitir análises semelhantes ao anterior, reflete também a influência de determinados comportamentos humanos na poluição atmosférica, ao focar-se no ciclo diário de 24 horas e nas diferenças entre dias úteis, fins de semana e feriados. O *dashboard* das poeiras evidencia o impacto das partículas provenientes dos desertos africanos na qualidade do ar em Portugal, em particular nas concentrações de PM_{10} e $PM_{2.5}$. Por fim, o *dashboard* do impacto da meteorologia demonstra de que forma alguns fatores meteorológicos afetam as medições dos poluentes analisados.

Com base nestes *dashboards*, é possível realizar uma vasta gama de análises, que facilitam quer a identificação de padrões e tendências, quer a resposta a questões analíticas; tarefas que, sem o auxílio destas ferramentas dificilmente seriam concretizadas.

Para o desenvolvimento destas ferramentas, foi também aplicada uma metodologia que, embora não constituísse o objetivo inicial do trabalho, se revelou relevante. Através da abstração do processo de desenvolvimento, foi possível estabelecer uma metodologia

replicável que ajudou a guiar o trabalho.

Durante o desenvolvimento destes *dashboards*, foram sempre consideradas as melhores práticas de usabilidade, garantindo que, além de úteis, fossem fáceis de utilizar e eficazes na transmissão de informação. Para assegurar que os *dashboards* cumpriam os objetivos propostos e não apresentavam erros, foram submetidos a testes com participantes de diferentes géneros e idades, com variados níveis de experiência em visualização de dados e conhecimento sobre qualidade do ar. Os resultados desses testes confirmaram que os *dashboards* são adequados, tanto em termos de organização como de design, para responder às necessidades analíticas.

9.2 Contribuições

Este trabalho resultou num conjunto de contributos relevantes. Em primeiro lugar, o processo de limpeza e processamento dos dados foi desenvolvido de forma a ser facilmente reproduzido e adaptado a outros projetos. A existência de um procedimento bem documentado para o tratamento destes dados representa uma mais-valia para trabalhos que exijam um processamento semelhante. Além disso, a separação do processamento em várias etapas permite a execução seletiva de apenas alguns passos, tornando o processo mais flexível e adaptável a diferentes necessidades. O conjunto de *scripts* desenvolvidos assim como os dados utilizados neste trabalho podem ser consultados [nesta pasta](#).

O conjunto de dados utilizado neste trabalho constitui, por si só, um contributo relevante, pois permite que outros tipos de análises sejam realizados de forma mais rápida e eficiente, partindo já de uma base sólida de trabalho.

Outro contributo relevante deste trabalho é a proposta preliminar de uma metodologia especificamente desenvolvida para o processo de criação de *dashboards* apresentada na Secção 5.2. Dado que atualmente não existe um processo bem definido para o desenvolvimento destas ferramentas, esta proposta de abstração fornece uma base estruturada que poderá, no futuro, contribuir para a sistematização e formalização do desenvolvimento de *dashboards*.

O principal contributo deste trabalho é a criação de quatro *dashboards* com diferentes funcionalidades, que permitem explorar a qualidade do ar em Portugal com base em dados históricos. Estas ferramentas interativas abrangem uma ampla gama de análises, possibilitando que especialistas na área possam responder de forma eficiente a diversas questões relacionadas com a qualidade do ar. Para além de permitirem uma investigação orientada às necessidades dos especialistas, estas ferramentas facilitam também a comunicação das conclusões a um público menos especializado, uma vez que tornam a informação mais acessível através da visualização de dados. Os *dashboards* desenvolvidos podem ser consultados no [Tableau Public](#) e vídeos da sua apresentação em detalhe podem ser consultados [nesta pasta](#).

Importa ainda destacar que os *dashboards* desenvolvidos já foram aplicados em contextos práticos, nomeadamente em aulas, onde foram utilizados como suporte na comunicação com os alunos e como base para trabalhos avaliativos. Além disso, estas ferramentas foram também utilizadas nas provas de agregação do Professor Francisco Ferreira. A sua aplicação em cenários reais reforça a relevância e o impacto deste trabalho como um contributo significativo para a análise e comunicação da qualidade do ar.

Com base no trabalho desenvolvido e nas ferramentas criadas, está atualmente em preparação um artigo científico que analisa a evolução da qualidade do ar nas últimas duas décadas através da visualização de dados. Este artigo, coautorado por especialistas na área da qualidade do ar, pretende explorar as principais tendências e padrões identificados, reforçando a utilidade das ferramentas desenvolvidas para a investigação e comunicação neste domínio.

9.3 Trabalho Futuro

Em termos de trabalho futuro, destacam-se três principais direções que podem ser exploradas a partir deste estudo. A primeira envolve a realização de análises adicionais com base nos dados já processados, sem necessidade de integrar novas fontes de informação. A segunda diz respeito à incorporação de dados adicionais para aprofundar e expandir as análises realizadas. Por fim, a terceira vertente foca-se na metodologia proposta para o desenvolvimento de *dashboards*, permitindo a sua aplicação e refinamento em diferentes contextos.

Um conjunto de análises adicionais pode ser realizado com base nos dados já tratados e processados. Existem várias abordagens que não foram concretizadas neste trabalho, mas que têm relevância para futuros estudos. Uma dessas análises envolve a avaliação simultânea de vários poluentes. Neste trabalho, foi sempre analisado um poluente de cada vez, sendo necessário selecionar um poluente diferente para fazer a sua análise. A análise em paralelo de poluentes poderá ser útil para compreender a interação entre eles e identificar a sua evolução conjunta ao longo do tempo.

Outra possível linha de investigação seria a análise simultânea de várias estações de qualidade do ar situadas em diferentes zonas geográficas. Esta análise pode ser relevante para identificar semelhanças ou diferenças no comportamento de estações em diversas regiões do país. Além disso, seria relevante explorar a análise de correlações entre poluentes ou entre estações, o que poderia revelar padrões comportamentais comuns ou específicos. Uma outra área de interesse é a exploração de novas abordagens para avaliar o impacto das condições meteorológicas nas concentrações de poluentes.

Existe um vasto conjunto de análises que pode ser realizado com a inclusão de outros conjuntos de dados, nomeadamente a integração de dados sobre as emissões de poluentes. Estes dados podem abranger diversas áreas, como o tráfego, as vendas de combustíveis, a caracterização do parque automóvel em Portugal, as emissões provenientes das indústrias, entre outros. A combinação destes conjuntos de dados com o conjunto de

dados já preparado neste trabalho tem o potencial de gerar análises de grande relevância, proporcionando uma compreensão mais aprofundada dos fatores que influenciam a qualidade do ar.

Finalmente, poderá existir também trabalho futuro relevante relacionado com a metodologia proposta neste trabalho. A partir desta abordagem metodológica abstrata, que pode ser expandida e aprimorada, será possível desenvolver uma ferramenta que apoie o processo de criação de *dashboards*. Esta ferramenta teria como objetivo facilitar a comunicação com os *stakeholders*, promovendo uma prototipagem mais eficiente e eficaz, além da otimização do desenvolvimento e implementação de soluções visuais para análise de dados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] URL: <https://www.co2.earth/> (ver pp. 21, 27, 28).
- [2] URL: <https://www.airnow.gov/> (ver pp. 28–30).
- [3] URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-quality-statistics> (ver pp. 33–35).
- [4] C. 2030. *Atualização da Nuts II em Portugal: Implicações para o compete 2030*. 2024-11. URL: <https://www.compete2030.gov.pt/regulamentacao/atualizacao-da-nuts-ii-em-portugal-implicacoes-para-o-compet-2030/> (ver p. 57).
- [5] E. P. Agency. *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution*. URL: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO> (ver pp. 12, 13).
- [6] E. P. Agency. *Basic Information about NO2*. URL: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2> (ver pp. 9, 12).
- [7] E. P. Agency. *Health Effects of Ozone in the General Population*. 2023. URL: <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/health-effects-ozone-general-population> (ver pp. 8, 12).
- [8] E. P. Agency. *How is the NowCast algorithm used to report current air quality?* URL: https://usepa.servicenow.com/airnow/en/how-is-the-nowcast-algorithm-used-to-report-current-air-quality?id=kb_article_view&sysparm_article=KB0011856 (ver p. 28).
- [9] E. P. Agency. *Particulate Matter (PM) Basic*. 2023. URL: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM> (ver pp. 9, 11).
- [10] E. P. Agency. *Sulfur Dioxide Basics*. URL: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2> (ver pp. 7, 9, 12).
- [11] E. P. Agency. *What is Acid Rain?* 2023. URL: <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain> (ver p. 9).
- [12] E. E. Agency. 2023-11. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution> (ver pp. 1, 11, 12).

- [13] U. S. E. P. Agency, O. of Air Quality Planning e N. Standards Air Quality Assessment Division Research Triangle Park. 2018 (ver p. 15).
- [14] W. Aigner et al. *Visualization of time-oriented data*. Vol. 4. Springer, 2011 (ver pp. 20, 22–24).
- [15] W. Aigner et al. «Visualizing time-oriented data—a systematic view». Em: *Computers & Graphics* 31.3 (2007), pp. 401–409 (ver pp. 17, 18, 22, 24).
- [16] *Air Quality e-Reporting (AQ e-Reporting)*. 2022-08. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/3b390c9c-f321-490a-b25a-ae93b2ed80c1> (ver p. 32).
- [17] A. P. do Ambiente. *Delimitação Zonas E aglomerações*. URL: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/delimitacao-zonas-e-aglomeracoes> (ver p. 59).
- [18] A. P. do Ambiente. *Informação sobre a qualidade do ar*. URL: <https://qualar.apambiente.pt/> (ver pp. 26, 27, 44).
- [19] A. P. do Ambiente. *Método de cálculo do índice QualAr*. URL: <https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calculo-indices> (ver p. 46).
- [20] A. P. do Ambiente. *Redes de Medição*. URL: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/redes-de-medicao> (ver p. 13).
- [21] G. L. Andrienko e N. V. Andrienko. «Interactive maps for visual data exploration». Em: *International Journal of Geographical Information Science* 13.4 (1999), pp. 355–374 (ver p. 18).
- [22] N. Andrienko, G. Andrienko e P. Gatalsky. «Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review». Em: *Journal of Visual Languages & Computing* 14.6 (2003), pp. 503–541 (ver pp. 19, 24).
- [23] *Annual average concentrations of air pollutants*. URL: <https://discomap.eea.europa.eu/atlas/?page=Air-pollution&views=PM%E2%82%82.%E2%82%85-fine-particles--%28%C2%B5g%2Fm%E1%B5%8C%29> (ver pp. 32, 33).
- [24] APA. *Dados estações*. URL: <https://qualar.apambiente.pt/downloads> (ver pp. 2, 3, 40).
- [25] L. Bui. «Breathing smarter: A critical look at representations of air quality sensing data across platforms and publics». Em: *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)*. IEEE. 2015, pp. 1–5 (ver pp. 27, 30).
- [26] Canva. *Canva*. Ferramenta de design gráfico usada para criar elementos visuais. 2023. URL: <https://www.canva.com/> (ver p. 61).
- [27] CCDR-LVT. 2022-09. URL: https://www.ccdr-lvt.pt/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Avaliacao_QualidadeAr-2021.pdf (ver pp. 7–9, 12, 13).
- [28] CCDRLVT. *Concelhos RLVT*. 2024-11. URL: https://www.ccdr-lvt.pt/wp-content/uploads/2022/02/ListaConcelhos_RLVT.pdf (ver p. 57).

- [29] C.-h. Chen et al. «A brief history of data visualization». Em: *Handbook of data visualization* (2008), pp. 15–56 (ver p. 17).
- [30] J. Chen e G. Hoek. «Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis». Em: *Environment international* 143 (2020), p. 105974 (ver p. 11).
- [31] P. Chen. «Visualization of real-time monitoring datagraphic of urban environmental quality». Em: *Eurasip Journal on Image and Video Processing* 2019.1 (2019), pp. 1–9 (ver p. 2).
- [32] E. Comission. *EU Air Quality Standards*. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en (ver p. 16).
- [33] «Commission Delegated Regulation (EU) 2023/674 of 26 December 2022 amending the Annexes to Regulation (EC) No 1059/2003 of the European Parliament and of the Council on the establishment of a common classification of territorial units for statistics (NUTS)». Em: *Official Journal of the European Union* (2023-03). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/674/oj (ver p. 56).
- [34] L. Conrow et al. «A conceptual framework for developing dashboards for big mobility data». Em: *Cartography and geographic information science* 50.5 (2023), pp. 495–514 (ver p. 41).
- [35] C. de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. *Apresentação da RLVT*. 2024-11. URL: <https://www.ccdr-lvt.pt/regiao/apresentacao-da-rlvt-2/> (ver p. 56).
- [36] Council of European Union. *Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj>. 2016 (ver p. 15).
- [37] M. Dahnert et al. *Looking beyond the horizon: Evaluation of four compact visualization techniques for time series in a spatial context*. 2019. arXiv: 1906.07377 [cs.HC]. URL: <https://arxiv.org/abs/1906.07377> (ver p. 21).
- [38] DGArtes. *NUTs II*. 2017-10. URL: https://www.dgartes.gov.pt/sites/default/files/files/NUTs%20II_lista_final.pdf (ver p. 57).
- [39] diagrams.net. *Flowchart Maker Online Diagram Software*. Ferramenta usada para criar diagramas. 2023. URL: <https://www.diagrams.net/> (ver p. 61).
- [40] EEA. 2022-11. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/impacts-of-air-pollution-on-ecosystems> (ver pp. 1, 9).
- [41] European Environment Agency. *Air pollution in Europe:2023 reporting status under the National Emission reduction Commitments Directive*. <https://www.eea.europa.eu/publications/national-emission-reduction-commitments-directive-2023>. 2023 (ver pp. 2, 7–9, 15).

- [42] European Environment Agency. *Health impacts of air pollution in Europe, 2022*. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>. 2022 (ver pp. 11, 12).
- [43] U. Europeia. «DIRETIVA (UE) 2024/2881 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 23 de outubro de 2024». Em: *Jornal Oficial da União Europeia* (2024-11). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32024L2881> (ver p. 14).
- [44] J. Fenger. «Urban air quality». Em: *Atmospheric environment* 33.29 (1999), pp. 4877–4900 (ver pp. 1, 6).
- [45] M. Ferreira et al. *IVML - Interactive Visualization Modeling Language*. Caparica, Portugal: NOVA School of Science e Technology (ver p. 61).
- [46] S. Havre, B. Hetzler e L. Nowell. «ThemeRiver: visualizing theme changes over time». Em: *IEEE Symposium on Information Visualization 2000. INFOVIS 2000. Proceedings*. 2000, pp. 115–123. DOI: [10.1109/INFVIS.2000.885098](https://doi.org/10.1109/INFVIS.2000.885098) (ver p. 20).
- [47] J. Heer, N. Kong e M. Agrawala. «Sizing the horizon: the effects of chart size and layering on the graphical perception of time series visualizations». Em: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. 2009, pp. 1303–1312 (ver pp. 20–22).
- [48] D. Helminski et al. «Dashboards in health care settings: protocol for a scoping review». Em: *JMIR Research Protocols* 11.3 (2022), e34894 (ver p. 41).
- [49] C. C. Holt. «Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages». Em: *International Journal of Forecasting* 20.1 (2004), pp. 5–10. ISSN: 0169-2070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207003001134> (ver p. 19).
- [50] J. Horálek et al. 2022-02. URL: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-1-2021-european-air-quality-maps-for-2019-pm10-pm2-5-ozone-no2-and-nox-spatial-estimates-and-their-uncertainties> (ver p. 32).
- [51] D. Keim et al. «Geo-Spatial Data Viewer: From Familiar Land-covering to Arbitrary Distorted Geo-Spatial Quadtree Maps». Em: *First publ. as paper presented to: WSCG 2004, The 12-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, February 2 - 6, University of West Bohemia, Campus Bory, Plzen, Czech Republic, May/Jun, 2004* (2004-01) (ver p. 24).
- [52] D. Keim et al. *Mastering the information age solving problems with visual analytics*. Eurographics Association, 2010 (ver pp. 23, 24).
- [53] R. Kosara e J. Mackinlay. «Storytelling: The next step for visualization». Em: *Computer* 46.5 (2013), pp. 44–50 (ver p. 41).

- [54] H. Li, H. Fan e F. Mao. «A visualization approach to air pollution data exploration—a case study of air quality index (PM_{2.5}) in Beijing, China». Em: *Atmosphere* 7.3 (2016), p. 35 (ver pp. 34–36).
- [55] J. M. Lourenço. *The NOVAthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. 2021. URL: <https://github.com/joaomlourenco/novathesis/raw/main/template.pdf> (ver p. i).
- [56] W. Lu et al. «An interactive web mapping visualization of urban air quality monitoring data of China». Em: *Atmosphere* 8.8 (2017), p. 148 (ver p. 17).
- [57] A. M. MacEachren, C. A. Brewer e L. W. Pickle. «Visualizing georeferenced data: representing reliability of health statistics». Em: *Environment and planning A* 30.9 (1998), pp. 1547–1561 (ver p. 22).
- [58] I. P. do Mar e da Atmosfera. *Lista de Estações Meteorológicas Automáticas*. URL: <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/redes.observacao/meteo/index.jsp> (ver p. 50).
- [59] F. Martínez-Plumed et al. «CRISP-DM twenty years later: From data mining processes to data science trajectories». Em: *IEEE transactions on knowledge and data engineering* 33.8 (2019), pp. 3048–3061 (ver pp. 39, 40).
- [60] A. para a Modernização Administrativa. *Concelhos de Portugal - dados.gov.pt - Portal de Dados Abertos da administração pública*. 2018-12. URL: <https://dados.gov.pt/pt/datasets/concelhos-de-portugal/> (ver p. 56).
- [61] Muller e Schumann. «Visualization methods for time-dependent data-an overview». Em: *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003*. Vol. 1. IEEE. 2003, pp. 737–745 (ver pp. 21, 25).
- [62] T. Munzner. *Visualization analysis and design*. CRC press, 2014 (ver pp. 17–19).
- [63] J. Nielsen. *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994 (ver pp. 62, 63).
- [64] D. Norman. *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic books, 2013 (ver p. 62).
- [65] G. H. Orcutt, H. W. Watts e J. B. Edwards. «Data aggregation and information loss». Em: *The American Economic Review* 58.4 (1968), pp. 773–787 (ver p. 19).
- [66] W. H. Organization. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization, 2021, xxi, 273 p. (Ver pp. 11, 12, 14).
- [67] A. Pal e P. Prakash. *Practical time series analysis: master time series data processing, visualization, and modeling using python*. Packt Publishing Ltd, 2017 (ver p. 19).
- [68] D. J. Peuquet. «It's about time: A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems». Em: *Annals of the Association of American Geographers* 84.3 (1994), pp. 441–461 (ver p. 24).

- [69] K. Potter et al. «Visualizing summary statistics and uncertainty». Em: *Computer Graphics Forum*. Vol. 29. 3. Wiley Online Library. 2010, pp. 823–832 (ver p. 19).
- [70] T. W. A. Q. I. project. *Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map*. URL: <https://aqicn.org/> (ver p. 30).
- [71] T. W. A. Q. I. project. *Beijing Air Pollution: Real-time Air Quality index*. URL: <https://aqicn.org/city/beijing/> (ver p. 31).
- [72] Qualar. *Estações - Rede Qualar*. URL: <https://qualar.apambiente.pt/qualar/estacoes/> (ver p. 53).
- [73] C. Schröer, F. Kruse e J. M. Gómez. «A systematic literature review on applying CRISP-DM process model». Em: *Procedia Computer Science* 181 (2021), pp. 526–534 (ver p. 39).
- [74] C. Shi et al. «Rankexplorer: Visualization of ranking changes in large time series data». Em: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18.12 (2012), pp. 2669–2678 (ver p. 19).
- [75] Tableau Software. *Tableau Desktop*. Versão usada: 2023.x. 2023. URL: <https://www.tableau.com/> (ver pp. 41, 92).
- [76] R. Tabora et al. «Exploring air quality using a multiple spatial resolution dashboard—a case study in lisbon». Em: *2020 24th International Conference Information Visualisation (IV)*. IEEE. 2020, pp. 140–145 (ver p. 2).
- [77] *The European environment — state and outlook 2020 Knowledge for transition to a sustainable Europe*₂₀₁₉. 2019-04. URL: <https://www.eea.europa.eu/soer/publications/soer-2020> (ver p. 9).
- [78] C. Tominski e W. Aigner. *The TimeViz Browser – A Visual Survey of Visualization Techniques for Time-Oriented Data*. <https://browser.timeviz.net>. Version 2.0. 2023 (ver p. 20).
- [79] C. Tominski e W. Aigner. *The TimeViz Browser – A Visual Survey of Visualization Techniques for Time-Oriented Data - Horizon Graphs*. <https://browser.timeviz.net/?3d=hidesearch=horizondeta> Version 2.0. 2023 (ver p. 21).
- [80] C. Tominski e W. Aigner. *Timeviz Browser 2.0 Bar Graphs*. URL: <https://browser.timeviz.net/?detail=Bar%2BGraph%2C%2BSpikes%2BGraph> (ver p. 20).
- [81] P. Torres et al. «Air pollution: A public health approach for Portugal». Em: *Science of the total environment* 643 (2018), pp. 1041–1053 (ver p. 2).
- [82] E. Union. *Directive 2024/2881*. 2024. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng> (ver p. 16).
- [83] N. US Department of Commerce. *Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases*. 2005-10. URL: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/weekly.html> (ver p. 28).

- [84] E. Vignati, R. Berkowicz e O. Hertel. «Comparison of air quality in streets of Copenhagen and Milan, in view of the climatological conditions». Em: *Science of the Total Environment* 189 (1996), pp. 467–473 (ver p. 7).
- [85] S. Vilarinho, I. Lopes e S. Sousa. «Developing dashboards for SMEs to improve performance of productive equipment and processes». Em: *Journal of Industrial Information Integration* 12 (2018), pp. 13–22. ISSN: 2452-414X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.02.003>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X17300675> (ver p. 41).
- [86] M. Weber, M. Alexa e W. Müller. «Visualizing time-series on spirals.» Em: *Infovis*. Vol. 1. 2001, pp. 7–14 (ver p. 22).
- [87] X.-y. Zheng et al. «Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis». Em: *Environment international* 150 (2021), p. 106435 (ver p. 12).

QUESTÕES ANALÍTICAS

A.1 Conjunto de questões analíticas guia

A.1.1 Monóxido de carbono

Nota: (emissões do CO são inversamente proporcionais à velocidade de circulação)

- Nas horas de maior trânsito, que aumentos se verificam na concentração de CO?
- Nas zonas de trânsito lento (povoações), verifica-se uma maior concentração de CO quando comparado com vias rápidas?
- Em que condições meteorológicas se verificam maiores concentrações de CO?
- Em que estações do ano se verificam maiores concentrações de CO?
- Em que meses se verificam maiores concentrações de CO?
- As horas de maior concentração de CO variam ao longo do ano?
- CO e incêndios

A.1.2 Óxidos de azoto

Nota: (maior fonte é o transporte rodoviário)

- Como varia a concentração de NO_x ao longo do ano?
- A concentração de NO_x é proporcional ao tráfego?
- A maior concentração de NO_x verifica-se sempre nas estações de tráfego?
- A maior concentração de NO_x verifica-se em todas as alturas do ano nas estações de tráfego?
- As condições meteorológicas influenciam onde se manifesta a maior concentração de NO_x?

- De que forma a chuva afeta as concentrações de NO_x?
- De que forma o vento afeta as concentrações de NO_x?
- As horas de maior concentração de NO_x correspondem com as “horas de ponta” nos centros urbanos?

A.1.3 Partículas em suspensão (*PM*₁₀ e *PM*_{2.5})

Nota: (Fontes mais comuns e significativas: o tráfego rodoviário, a queima de combustíveis fósseis para aquecimento doméstico, atividades agrícolas e determinados processos e atividades industriais)

- As horas de maior concentração de PMs nas estações industriais correspondem com as horas de funcionamento das fábricas?
- Qual a influência dos incêndios na concentração de PMs?
- Nas zonas de atividade agrícola, a concentração de PMs corresponde com o horário de funcionamento?
- A variação na quantidade de veículos a gásóleo influencia a concentração de PMs?
- A concentração de PMs é proporcional ao tráfego?
- A maior concentração de PMs verifica-se sempre nas estações de tráfego?
- A maior concentração de PMs verifica-se em todas as alturas do ano nas estações de tráfego?

A.1.4 Ozono

- Confirma-se a tendência de haver maior concentração de Ozono em zonas rurais?
- Confirma-se a tendência de haver maior concentração de Ozono em dias de sol e/ou de calor?

A.1.5 Questões aplicáveis a todos os poluentes

- De que forma as situações de altas pressões (anticiclone) modificam os padrões habituais das concentrações de poluentes?
- De que forma as diferentes velocidades do vento afetam as concentrações de poluentes?
- De que forma a precipitação afeta as concentrações de poluentes?

A.1.6 Questões de acordo com o Decreto-Lei nº 102/2010:

NO₂

- Quais os dias em que uma medição horária excedeu o limite de NO_2 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$)? Existe algum padrão? São os mesmos dias do ano? São no mesmo mês/estação? São dias com condições meteorológicas semelhantes?
- Há dias com mais do que uma excedência horária? Quais? Existe algum padrão? São os mesmos dias do ano? São no mesmo mês/estação? São dias com condições meteorológicas semelhantes?
- Quantos anos ultrapassam o limite de 18 excedências horárias? Tem tendência a diminuir? Se sim, em que tipo de estações e/ou em que tipo de área?
- Quais as estações que mais ultrapassam este limite anual?
- Existe algum padrão relativamente às horas do dia com mais excedências? Como varia de acordo com o tipo de estação e/ou tipo de área?
- Quantos anos (por estação) ultrapassam o limite de média anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$? Como varia o número de acordo com tipo de estação e/ou tipo de área? Tem tido tendência a diminuir?

CO

- Em quantos dias (por estação) a média diária máxima de 8 horas ultrapassou o valor limite de $10 \text{mg}/\text{m}^3$?
- Qual o padrão dos dias que ultrapassam o valor limite? Têm condições meteorológicas semelhantes? São no mesmo mês/estação?
- Quais as estações que mais ultrapassam?
- Quais as estações em que a ultrapassagem é maior?

PM₁₀

- Quais os anos que excederam o limite de 35 dias com média diária superior a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$? Tem tendência a diminuir?
- Qual o padrão dos dias que ultrapassam o valor limite? Têm condições meteorológicas semelhantes? São no mesmo mês/estação?
- Quais os meses com mais excedências?
- Quais os dias com maiores registos de concentração de PM_{10} ?
- Quais as estações apresentam maiores concentrações?
- Quais as estações que apresentam maior número de excedências?

$PM_{2.5}$

- Quantos dias por ano excedem o valor de média diária de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$?
- Quantos anos excedem a média anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$?
- Qual o padrão dos dias que ultrapassam o valor limite? Têm condições meteorológicas semelhantes? São no mesmo mês/estação?
- Quais as estações apresentam maiores concentrações?
- Quais as estações que apresentam maior número de excedências?

O_3

- Quantos anos a média diária máxima de 8 horas ultrapassou o limite de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 25 vezes?
- Qual o padrão dos dias que ultrapassam o valor limite? Têm condições meteorológicas semelhantes? São no mesmo mês/estação?
- Quais as estações apresentam maiores concentrações?
- Quais as estações que apresentam maior número de excedências?
- Quantos dias passam o limiar de informação horário de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$?
- Qual o padrão dos dias que ultrapassam o valor limite? Têm condições meteorológicas semelhantes? São no mesmo mês/estação?
- Quais as estações apresentam maiores concentrações?
- Quais as estações que apresentam maior número de excedências?
- Quantos dias passam o limiar de alerta horário de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$?
- Qual o padrão dos dias que ultrapassam o valor limite? Têm condições meteorológicas semelhantes? São no mesmo mês/estação?
- Quais as estações apresentam maiores concentrações?
- Quais as estações que apresentam maior número de excedências?

A.2 Conjunto de questões analíticas refinado

QG01. Como evoluíram as concentrações dos poluentes ao longo do tempo?

- Q01.01. O padrão sazonal dos poluentes tem-se mantido estável ao longo dos anos?
- Q01.02. Houve alguma alteração nas concentrações de PM10 com a introdução de legislação que obriga os automóveis a possuírem filtro de partículas?
- Q01.03. Existem diferenças significativas nas concentrações de NO2 ao longo dos diferentes meses do ano?

QG02. As concentrações dos poluentes variam de acordo com o tipo de estação (Tráfego ou Fundo & Industrial)?

- Q02.01. As concentrações de O3 são consistentemente mais elevadas em estações de fundo do que em estações de tráfego?
- Q02.02. Há diferenças significativas entre as estações de tráfego e as de fundo & industriais no que diz respeito às concentrações de NO2 e PM10?
- Q02.03. As tendências dos poluentes são semelhantes nos diferentes tipos de estação?

QG03. Existem variações nas concentrações dos poluentes entre diferentes regiões, zonas ou estações?

- Q03.01. Os padrões mensais dos poluentes refletem-se em todas as regiões do país?
- Q03.02. Os padrões mensais dos poluentes refletem-se em todas as zonas de uma região?
- Q03.03. Os padrões mensais dos poluentes refletem-se em todas as estações de uma zona?
- Q03.04. A tendência de cada poluente é igual em todas as regiões do país?
- Q03.05. A tendência de cada poluente é igual em todas as zonas de uma região?
- Q03.06. A tendência de cada poluente é igual em todas as estações de uma zona?

QG04. Como afetam as poeiras vindas de África os níveis de poluição?

- Q04.01. As poeiras vindas de África afetam de forma mais intensa as regiões a sul de Portugal?
- Q04.02. Há mais registos de dias com poeiras a sul de Portugal?
- Q04.03. As poeiras afetam também as concentrações de PM2.5?

- Q04.04. De que forma a intensidade do evento afeta o cumprimento das leis da União Europeia?

QG05. Qual a evolução das poeiras ao longo do tempo?

- Q05.01. O número de episódios de poeiras tem vindo a aumentar ao longo dos anos?
- Q05.02. A duração média dos episódios de poeiras tem vindo a aumentar ao longo dos anos?
- Q05.03. Há uma concentração maior de poeiras nos meses de verão em comparação com o inverno?
- Q05.04. Há, tendencialmente, menos dias com poeiras nos meses de inverno?

QG06. Quais os padrões horários dos poluentes e como variam?

- Q06.01. Existe maior concentração de NO₂ e PM₁₀ nas horas de ponta?
- Q06.02. Quando acontecem os máximos horários dos poluentes?
- Q06.03. Os padrões horários de NO₂ e O₃ são simétricos entre si?
- Q06.04. O padrão horário dos poluentes é diferente ao longo dos meses?
- Q06.05. O padrão horário dos poluentes tem vindo a sofrer alterações ao longo dos anos?
- Q06.06. Há diferenças nos padrões dos poluentes em dias de fim de semana e feriado em comparação com dias úteis?
- Q06.07. Há diferenças nos padrões dos poluentes em estações de tráfego em comparação com as de fundo & industriais?
- Q06.08. Há diferenças nos padrões dos poluentes entre as regiões, zonas e estações?

QG07. Como afeta a meteorologia os níveis de poluição?

- Q07.01. A velocidade do vento tem alguma relação inversa com as concentrações de poluentes?
- Q07.02. Em dias de alta humidade, as concentrações de O₃ são menos elevadas?
- Q07.03. A precipitação influencia a redução das concentrações de PM₁₀?

QG08. Em que condições meteorológicas ocorrem os valores mais elevados e mais baixos de cada poluente?

- Q08.01. Quais são as condições meteorológicas associadas aos picos de O₃?

A.2. CONJUNTO DE QUESTÕES ANALÍTICAS REFINADO

- Q08.02. A baixa velocidade do vento contribui para o aumento das concentrações de NO₂?
- Q08.03. Em que condições meteorológicas ocorrem as menores concentrações de poluentes?



2025 Tendências e padrões de longo prazo na qualidade do ar em Portugal Ana Carolina Milroy

NOVA

NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY