



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Avaliação da qualidade do ar na cidade de Lisboa - Utilização de dados da Rede de Estações de Referência e da Rede de Estações Indicativas**

Rafaela Alexandra Rodrigues Ferreira

## **Dissertação**

Mestrado em Tecnologias Ambientais

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor Paulo Gabriel Fernandes de Pinho

Janeiro de 2024



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Avaliação da qualidade do ar na cidade de Lisboa - Utilização de dados da Rede de Estações de Referência e da Rede de Estações Indicativas**

Rafaela Alexandra Rodrigues Ferreira

## **Dissertação**

Mestrado em Tecnologias Ambientais

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Paulo Gabriel Fernandes de Pinho

Janeiro de 2024

## **AGRADECIMENTOS**

A concretização deste trabalho não teria sido possível sem o auxílio e apoio de diversas pessoas, a quem gostaria de agradecer.

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Pinho, pela paciência, incentivo e ajuda, sem a qual a elaboração deste trabalho não teria sido possível.

À minha mãe, Ana, por ter acreditado sempre em mim e por me incentivar a ir sempre mais além. Sem o seu apoio, nada disto teria sido possível.

À minha amiga, Rita Fernandes, por todos os conselhos, orientação e apoio que me deu ao longo desta jornada.

## RESUMO

Foi realizada uma análise dos dados relativos à qualidade do ar disponibilizados pela Câmara Municipal de Lisboa relativos à Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, bem como os dados disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente relativos à Rede de Referência, com o intuito de caracterizar a qualidade do ar na cidade de Lisboa, no ano de 2022, identificando hotspots de poluição e relacionando a concentração dos poluentes com possíveis fontes.

Previamente à análise da qualidade do ar da cidade de Lisboa foi avaliado o desempenho, no ano de 2022, das estações portáteis utilizadas na Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML por comparação direta dos valores medidos pelas estações da Rede de Referência da Avenida da Liberdade, de Entrecampos, de Santa Cruz de Benfica e de Olivais situadas nos mesmos locais. Para esta análise foram utilizados os dados em bruto (sem qualquer tratamento de eliminação ou validação dos mesmos).

Para as PM<sub>10</sub> foi analisada a regressão linear dos valores diários tendo sido obtidos os seguintes resultados de coeficiente de determinação: R<sup>2</sup> de 0,75 para a estação da Avenida da Liberdade; R<sup>2</sup> de 0,59 para a estação de Entrecampos; R<sup>2</sup> de 0,61 para a estação de Benfica e R<sup>2</sup> de 0,62 para a estação dos Olivais. Foi também realizada a análise de incerteza máxima, tendo-se verificado que, para as estações da Avenida da Liberdade/Entrecampos/Benfica/Olivais: 97/93/93/98% dos valores diários medidos pela estação da rede indicativa se encontram dentro do intervalo de referência, ao considerar simultaneamente o valor de incerteza máxima permitido para medições fixas e o valor de incerteza máxima para medições indicativas.

Para o NO<sub>2</sub> foi analisada a regressão linear dos valores horários tendo sido obtidos os seguintes resultados de coeficiente de determinação: R<sup>2</sup> de 0,88 para a estação da Avenida da Liberdade; R<sup>2</sup> de 0,70 para a estação de Entrecampos; R<sup>2</sup> de 0,53 para a estação de Benfica e R<sup>2</sup> de 0,84 para a estação dos Olivais. Foi também realizada a análise de incerteza máxima, tendo-se verificado que, para as estações da Avenida da Liberdade/Entrecampos/Benfica/Olivais: 61/34/56/61% dos valores diários medidos pela estação da rede indicativa se encontram dentro do intervalo de referência, ao considerar simultaneamente o valor de incerteza máxima permitido para medições fixas e o valor de incerteza máxima para medições indicativas.

A análise da qualidade do ar, no ano de 2022, nas estações de referência da cidade de Lisboa, permitiu verificar que apenas foi ultrapassado o valor limite de proteção da saúde

humana para o NO<sub>2</sub> na estação da Avenida da Liberdade. A análise dos dados recolhidos por 36 estações estudadas, pertencentes à Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML permitiu identificar a ultrapassagem do valor limite de proteção da saúde humana para o NO<sub>2</sub> em 6 locais na zona da Baixa de Lisboa.

Para as PM<sub>10</sub> nas 36 estações estudadas, pertencentes à Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, à semelhança do que se verificou nas estações de referência, para o ano de 2022, não foi verificada a ultrapassagem ao valor limites de proteção da saúde humana. A análise dos dados recolhidos pelas 36 estações permitiu identificar zonas da cidade, sobretudo na Baixa e Moscavide, em que a concentração de PM<sub>10</sub> foi mais elevada designadamente na Avenida de Ceuta, Rua da Atalaia, Rua dos Lusíadas, Rua Sá Nogueira, Rua Ilha dos Amores e Rua Chen He e Rua Vasco da Gama Fernandes.

Relativamente à Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML verifica-se que, mesmo com as limitações apontadas, esta é uma mais valia como complemento à Rede de Estações de Referência, na medida em que permite mapear a qualidade do ar na cidade a uma escala de maior pormenor em alternativa aos estudos pontuais realizados com recurso a difusores passivos ou campanhas de curta duração realizadas com estações móveis dotadas de equipamentos de referência. No entanto, para a melhoria do desempenho da Rede recomenda-se um aumento da frequência de manutenção realizada nas estações da Rede. Recomenda-se, também, de modo a garantir o bom funcionamento de todas as estações da Rede, que a localização das estações portáteis deve ser rotativa, sendo que todas devem ser periodicamente colocadas junto a estações de referência, para que o seu desempenho possa ser avaliado e se proceda às ações de manutenção e calibração necessárias. Identificou-se também a necessidade de os dados disponibilizados no Portal da CM de Lisboa serem validados e disponibilizados após essa mesma validação de forma a serem eliminados os dados espúrios ou em períodos de mau funcionamento de uma dada estação.

**Palavras-chave:** Qualidade do Ar em Lisboa; Medições Indicativas, Sistemas de Sensores de Baixo Custo; Poluição Atmosférica.

## ABSTRACT

An analysis was carried out of the air quality data provided by the Lisbon City Council for the CML Environmental Parameters Monitoring Network, as well as the data provided by the Portuguese Environment Agency for the Reference Network, in order to characterize the air quality in the city of Lisbon in 2022, identifying pollution hotspots and relating the concentration of pollutants to possible sources.

Before analyzing the air quality of the city of Lisbon, the performance of the portable stations used in CML's Environmental Parameters Monitoring Network was evaluated in 2022 by directly comparing the values measured by the Avenida da Liberdade, Entrecampos, Santa Cruz de Benfica and Olivais Reference Network stations located in the same places. The raw data (without any elimination or validation treatment) was used for this analysis.

For PM<sub>10</sub>, the linear regression of daily values was analyzed and the following coefficient of determination results were obtained: R<sup>2</sup> of 0.75 for the Avenida da Liberdade station; R<sup>2</sup> of 0.59 for the Entrecampos station; R<sup>2</sup> of 0.61 for the Benfica station and R<sup>2</sup> of 0.62 for the Olivais station. The maximum uncertainty analysis was also carried out and found that, for the Avenida da Liberdade/Entrecampos/Benfica/Olivais stations: 97/93/93/98% of the daily values measured by the indicative network station are within the reference range, when considering both the maximum uncertainty value allowed for fixed measurements and the maximum uncertainty value for indicative measurements.

For NO<sub>2</sub>, the linear regression of hourly values was analyzed and the following coefficient of determination results were obtained: R<sup>2</sup> of 0.88 for the Avenida da Liberdade station; R<sup>2</sup> of 0.70 for the Entrecampos station; R<sup>2</sup> of 0.53 for the Benfica station and R<sup>2</sup> of 0.84 for the Olivais station. The maximum uncertainty analysis was also carried out and found that, for the Avenida da Liberdade/Entrecampos/Benfica/Olivais stations: 61/34/56/61% of the daily values measured by the indicative network station are within the reference range, when considering both the maximum uncertainty value allowed for fixed measurements and the maximum uncertainty value for indicative measurements.

The analysis of air quality in 2022 at the reference stations in the city of Lisbon showed that the limit value for protecting human health for NO<sub>2</sub> was only exceeded at the Avenida da Liberdade station. Analysis of the data collected by 36 stations belonging to

CML's Environmental Parameters Monitoring Network revealed that the limit value for protecting human health for NO<sub>2</sub> was exceeded at 6 locations in the downtown area of Lisbon.

For PM<sub>10</sub> at the 36 stations studied, which belong to CML's Environmental Parameters Monitoring Network, as was the case with the reference stations, for the year 2022, there were no exceedances of the limit values for protecting human health. The analysis of the data collected by the 36 stations made it possible to identify areas of the city, especially in Baixa and Moscavide, where the concentration of PM<sub>10</sub> was highest, namely Avenida de Ceuta, Rua da Atalaia, Rua dos Lusíadas, Rua Sá Nogueira, Rua Ilha dos Amores and Rua Chen He and Rua Vasco da Gama Fernandes.

Considering the performance of the stations in the indicative network determined in this study, it is clear that there is a need to improve the performance of the stations, specifically through more maintenance and calibration actions. On the other hand, it is also concluded that these stations are close to the expected performance for this type of station.

With regard to CML's Environmental Parameters Monitoring Network, even with the limitations pointed out, it is an asset as a complement to the Reference Stations Network, in that it makes it possible to map the city's air quality on a more detailed scale, as an alternative to one-off studies carried out using passive diffusers or short-term campaigns carried out with mobile stations equipped with reference equipment. However, in order to improve the Network's performance, it is recommended to increase the frequency of maintenance carried out on the Network's stations. It is also recommended that, in order to ensure the proper functioning of all the Network's stations, the location of the portable stations should be rotated, and all of them should be periodically placed next to reference stations so that their performance can be assessed and the necessary maintenance and calibration actions carried out. It was also identified that the data made available on the CM de Lisboa Portal should be validated and made available after validation in order to eliminate spurious data or data from periods when a given station is malfunctioning.

**Keywords:** Air Quality in Lisbon; Indicative Measurements, Low-Cost Sensor Systems; Air Pollution.

## ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	QUALIDADE DO AR AMBIENTE .....	2
3	METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR.....	9
3.1	Medições Fixas .....	10
3.1.1	Metodologia de Medição .....	10
3.1.2	Objetivo de Qualidade dos Dados .....	11
3.2	Medições Indicativas .....	12
3.2.1	Metodologia de Medição .....	12
3.2.2	Objetivo de Qualidade dos dados .....	17
4	Caracterização da cidade de Lisboa .....	18
4.1	Caracterização Geral .....	18
4.2	Fontes de Poluentes atmosféricos .....	18
4.3	Caracterização climática .....	19
4.4	Redes de Monitorização da Qualidade do Ar .....	20
4.4.1	Rede de Referência.....	21
4.4.2	Rede Indicativa .....	23
5	Avaliação da Qualidade do Ar em Lisboa .....	25
5.1	Análise da Qualidade do Ar com dados da Rede de Referência.....	25
5.1.1	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> .....	25
5.1.2	NO <sub>2</sub> .....	27
5.1.3	CO.....	30
5.1.4	O <sub>3</sub> .....	32
5.2	Estudos Prévios acerca da Qualidade do Ar em Lisboa .....	34
5.3	Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML.....	36
5.3.1	Avaliação do desempenho .....	36

5.4	Análise da qualidade do ar com dados da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML.....	62
5.4.1	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> .....	65
5.4.2	NO <sub>2</sub> .....	80
5.4.3	CO.....	86
5.4.4	O <sub>3</sub> .....	89
6	CONCLUSÃO .....	93
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
	Anexos.....	102
	Anexo A.....	103

## ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS

Tabela 1 - Valor limite fixado no RJAGQAR para PM <sub>10</sub> .....	4
Tabela 2 - <i>Guideline</i> da OMS para a concentração de PM <sub>10</sub> na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).....	4
Tabela 3 - Valor limite fixado no RJAGQAR para PM <sub>2,5</sub> .....	4
Tabela 4 - <i>Guideline</i> da OMS para a concentração de PM <sub>2,5</sub> na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).....	4
Tabela 5 - Valor limite estabelecido no RJAGQAR para o NO <sub>2</sub> . ....	5
Tabela 6 - Limiar de alerta estabelecido no RJAGQAR para o NO <sub>2</sub> . ....	5
Tabela 7 - <i>Guideline</i> da OMS para a concentração de NO <sub>2</sub> na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).....	5
Tabela 8 - Valor limite fixado no RJAGQAR para o CO. ....	5
Tabela 9 - <i>Guideline</i> da OMS para a concentração de CO na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).....	6
Tabela 10 - Limiares de informação e alerta para o ozono estabelecidos no RJAGQAR.6	
Tabela 11 - Objetivo a longo prazo estabelecido no RJAGQAR para a concentração de ozono. ....	7
Tabela 12 - Valor-alvo estabelecido no RJAGQAR para o ozono.....	7
Tabela 13 - <i>Guideline</i> da OMS para a concentração de ozono na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).....	7
Tabela 14 - Índice de Qualidade do Ar (APA, 2022a). ....	8
Tabela 15 - Métodos de referência para a avaliação das concentrações no ar ambiente de PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> . ....	10
Tabela 16 - Objetivos de qualidade dos dados, estabelecidos no RJAGQAR, para o NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> e PM <sub>10</sub> , para medições fixas.....	12
Tabela 17 - Critérios para validação dos dados.....	12
Tabela 18 - Vantagens e desvantagens dos sensores do tipo MOS, EC e NDIR (Concas et al., 2021).....	16
Tabela 19 - Objetivos de qualidade dos dados para os óxidos de azoto, CO, O <sub>3</sub> e partículas em suspensão, para medições indicativas.....	17
Tabela 20 - Normais Climatológicas 1981-2010 referentes à temperatura do ar, para o Município de Lisboa.....	19

Tabela 21 - Normais Climatológicas 1981-2010 referentes à precipitação, para o Município de Lisboa.....	20
Tabela 22 - Poluentes medidos nas estações de referência de Lisboa.....	23
Tabela 23 - Resumo da conformidade legal da concentração de PM <sub>10</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).....	27
Tabela 24 - Resumo da conformidade legal da concentração de PM <sub>2,5</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).....	27
Tabela 25 - Resumo da conformidade legal da concentração de NO <sub>2</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).....	29
Tabela 26 - Resumo da conformidade legal da concentração de CO no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).....	31
Tabela 27 - Resumo da conformidade legal da concentração de O <sub>3</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a). .....	33
Tabela 28 - Coeficiente de determinação e reta de regressão que melhor descreve a relação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente PM <sub>10</sub> , considerando médias diárias. ....	37
Tabela 29 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente PM <sub>10</sub> , considerando médias diárias..	38
Tabela 30 - Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores de PM <sub>10</sub> (base diária) medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.....	40
Tabela 31 - Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente PM <sub>2,5</sub> , considerando médias diárias. ....	42
Tabela 32 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente PM <sub>2,5</sub> , considerando médias diárias.	43
Tabela 33 – Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores de PM <sub>2,5</sub> (base diária) medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.....	44
Tabela 34 – Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente NO <sub>2</sub> , considerando valores horários. ....	47

Tabela 35 - Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente NO <sub>2</sub> , considerando valores diários.....	48
Tabela 36 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente NO <sub>2</sub> , considerando médias horárias e diárias. ....	50
Tabela 37 – Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos de NO <sub>2</sub> (base horária) pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise. ....	51
Tabela 38 - Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos de NO <sub>2</sub> (base diária) pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise. ....	52
Tabela 39 – Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente CO considerando médias octo-horárias. ....	54
Tabela 40 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente CO, considerando médias octo-horárias. ....	54
Tabela 41 – Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos de CO (base octo-horária) pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.....	56
Tabela 42 – Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente O <sub>3</sub> , considerando médias horárias. ....	58
Tabela 43 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente O <sub>3</sub> , considerando médias diárias. ....	58
Tabela 44 - Percentagem de horas de cada mês de 2022 em que os valores de O <sub>3</sub> (base horária) medidos pela estação Entrecampos – EMQA estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise. ....	61
Tabela 45 - Classificação das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML de acordo com as características da sua envolvente. ....	64
Tabela 46 - Número de excedências registadas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML e estações da rede de referência em avaliação ao Valor	

Limite Diário e ao Valor alvo estabelecido pela OMS, para o poluente PM10, no decorrer do ano 2022. ....	66
Tabela 47 - Conformidade das concentrações de PM10 medidas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML em avaliação com o Valor Limite Anual e com o Valor alvo estabelecido pela OMS, no decorrer do ano 2022. ....	68
Tabela 48 - Número de excedências registadas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML em avaliação ao Valor Limite Anual e ao Valor alvo estabelecido pela OMS, para o poluente PM2,5, no decorrer do ano 2022 .....	70
Tabela 49 - Número de excedências registadas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML ao Valor alvo diário estabelecido pela OMS, para o poluente PM <sub>2,5</sub> , no decorrer do ano 2022. ....	72
Tabela 50 - Número de incêndios ocorridos no distrito de Lisboa em 2022.....	74
Tabela 51 - Número de excedências ao Valor Limite Horário de 200µg/m <sup>3</sup> e a conformidade com o Valor Limite Anual de 40µg/m <sup>3</sup> observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML. ....	81
Tabela 52 - Número de excedências ao Valor Alvo Diário e a conformidade com o Valor Alvo Anual, recomendados pela OMS, observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML. ....	82
Tabela 53 - Número de excedências aos limiares e valores alvo estabelecidos para o O <sub>3</sub> observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML. ....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação Esquemática de um sensor do tipo ES.....	16
Figura 2 - Estações de Referência que integram a Rede de Monitorização da Qualidade do AR da Região de Lisboa e Vale do Tejo. Adaptado de CCDR LVT (2022b).....	21
Figura 3 - Distribuição das estações que constituem a Rede de Referência. A seta vermelha indica a área correspondente ao Município de Lisboa. Adaptado de CCDR LVT (2022b). .....	22
Figura 4 - Localização das estações de monitorização de parâmetros ambientais da rede de sensores da Câmara Municipal de Lisboa (Portal Lisboa Aberta). .....	24
Figura 5 – Localização das 40 estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML e classificação de acordo com o tipo. ....	62
Figura 6 - Distribuição espacial das excedências ao valor limite diário de PM <sub>10</sub> observadas durante o ano de 2022 nas estações analisadas.....	67
Figura 7 - Variação diária da concentração do poluente PM <sub>10</sub> nas estações CML ID10 (Tipo 1), CML ID63 (Tipo 3), CML ID77 (Tipo 1) e CML ID78 (Tipo 2), ao longo do ano 2022. ....	73
Figura 8 - Distribuição espacial das concentrações de PM <sub>10</sub> observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.....	75
Figura 9 - Distribuição espacial das concentrações de PM <sub>2,5</sub> observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.....	75
Figura 10 - Distribuição espacial das concentrações de NO <sub>2</sub> observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.....	83
Figura 11 - Distribuição espacial das concentrações de CO observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação média horária da concentração de PM <sub>10</sub> nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão. ....	26
Gráfico 2 - Variação média mensal dos poluentes (a) PM <sub>10</sub> e (b) PM <sub>2,5</sub> ao longo do ano 2022. ....	26
Gráfico 3 - Variação média horária da concentração de NO <sub>2</sub> nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão. ....	28
Gráfico 4 - Variação média mensal do poluente NO <sub>2</sub> ao longo do ano 2022.....	29
Gráfico 5 - Variação média horária da concentração de CO nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão. ....	30
Gráfico 6 - Variação média mensal do poluente CO ao longo do ano 2022. ....	31
Gráfico 7 - Variação média horária da concentração de O <sub>3</sub> nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão. ....	32
Gráfico 8 - Variação média mensal do poluente O <sub>3</sub> ao longo do ano 2022. ....	33
Gráfico 9 – O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de setembro na estação da Avenida da Liberdade. O gráfico da direita apresenta dados do mês de julho na estação de Santa Cruz de Benfica.....	39
Gráfico 10 - Variação média diária do poluente PM <sub>10</sub> nas estações indicativa e de referência localizadas em Santa Cruz de Benfica, durante o mês de julho. ....	41
Gráfico 11 – O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de fevereiro na estação de Entrecampos. O gráfico da direita apresenta dados do mês de dezembro na estação dos Olivais.....	44
Gráfico 12 – Variação média diária do poluente PM <sub>2,5</sub> nas estações indicativa e de referência localizadas nos Olivais, durante o mês de dezembro. ....	46
Gráfico 13 – O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de fevereiro na estação de Olivais. O gráfico da direita apresenta dados do mês de agosto na estação de Santa Cruz de Benfica. ....	48

Gráfico 14 - O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de outubro na estação de Olivais. O gráfico da direita apresenta dados do mês de agosto na estação de Santa Cruz de Benfica. ....	49
Gráfico 15 - O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de novembro na estação da Avenida da Liberdade. O gráfico da direita apresenta dados do mês de abril na estação de Santa Cruz de Benfica. ....	55
Gráfico 16 – Variação média diária do poluente CO nas estações indicativa e de referência localizadas em Santa Cruz de Benfica, durante o mês de abril. ....	57
Gráfico 17 – O gráfico da esquerda apresenta dados no mês de fevereiro na estação dos Olivais. O gráfico da direita apresenta dados do mês de setembro na estação dos Olivais. ....	59
Gráfico 18 - Variação média horária de O <sub>3</sub> nas estações indicativa e de referência situadas em Olivais, durante o mês de fevereiro. ....	60
Gráfico 19 - Diferença entre a concentração média de (a) PM <sub>10</sub> e (b) PM <sub>2,5</sub> observada nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão. ....	77
Gráfico 20 - Variação horária do poluente PM <sub>10</sub> ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos. ....	78
Gráfico 21 - Variação horária do poluente PM <sub>2,5</sub> ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos. ....	79
Gráfico 22 - Média do poluente NO <sub>2</sub> nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão. ....	85
Gráfico 23 - Variação horária do poluente NO <sub>2</sub> ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos. ....	86
Gráfico 24 - Média da concentração do poluente CO nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão. ....	88
Gráfico 25 - Variação horária do poluente CO ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos. ....	89
Gráfico 26 - Média da concentração do poluente O <sub>3</sub> nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão. ....	91
Gráfico 27 - Variação horária do poluente O <sub>3</sub> ao longo do ano 2022. ....	92

## **LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS**

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CCDR LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CML – Câmara Municipal de Lisboa

ES – Sensor eletroquímico

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

MOS - Sensores baseados em óxidos metálicos

NDIR - Sensores baseados na radiação infravermelha não dispersiva

OMS – Organização Mundial de Saúde

RJAGQAR – Regime Jurídico de Avaliação e Gestão da Qualidade do Ar Ambiente

RMQA LVT – Rede de Monitorização da Qualidade do Ar de Lisboa e Vale do Tejo

VLA – Valor Limite Anual

VLD - Valor Limite Diário

VLH - Valor Limite Horário

VLO - Valor Limite das Médias Octo-horárias

# 1 INTRODUÇÃO

A cidade de Lisboa, capital de Portugal, é uma metrópole de grande relevância, a nível nacional e europeu, e atraindo cada vez mais habitantes e visitantes, cresce a necessidade de monitorizar a qualidade do ar na cidade, de modo a garantir a segurança ambiental e de saúde humana.

A Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR LVT) possui seis Estações de Monitorização da Qualidade do Ar, recorrendo pontualmente a campanhas de medição periódicas e a modelos estatísticos e determinísticos, para avaliação das concentrações de determinados poluentes em zonas onde não são efetuadas medições e para uma avaliação da distribuição espacial das concentrações (CCDR LVT, 2023b).

De modo a complementar a informação recolhida pelas estações da CCDR LVT, a autarquia de Lisboa implementou uma rede de 80 estações portáteis de monitorização da qualidade do ar que integram sensores de baixo custo. Desta forma, é possível caracterizar de forma mais pormenorizada a qualidade do ar na cidade de Lisboa, identificar *hotspots* de poluição, identificar as fontes de poluição mais proeminentes e tomar as decisões mais adequadas destinadas à melhoria e manutenção da qualidade do ar.

A presente dissertação consiste na análise dos dados relativos à qualidade do ar disponibilizados pela Câmara Municipal de Lisboa relativos à Rede Indicativa, bem como os dados disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente relativos à Rede de Referência, com o intuito de caracterizar a qualidade do ar na cidade de Lisboa, identificando *hotspots* de poluição e relacionando a concentração dos poluentes com possíveis fontes.

A presente dissertação tem ainda como objetivo avaliar o desempenho e a qualidade dos dados recolhidos pelas estações de monitorização da qualidade do ar implementada pela Câmara Municipal de Lisboa.

## 2 QUALIDADE DO AR AMBIENTE

Um poluente atmosférico é qualquer substância presente no ar ambiente passível de causar efeitos nefastos na saúde e/ou no meio ambiente. Pode estar presente em qualquer estado de matéria, isto é, sob a forma sólida, líquida ou gasosa (*e.g.* OMS, 2022).

A severidade da poluição atmosférica tem crescido devido à crescente urbanização, sendo que se estima que cerca de 2,4 mil milhões de pessoas estejam diariamente expostas a níveis perigosos de poluição do ar (OMS, 2022).

A Organização Mundial de Saúde aponta para sete milhões de mortes anuais devido aos efeitos nefastos da exposição contínua a poluentes atmosféricos. Além disso, a poluição atmosférica acarreta custos económicos elevados em todo o mundo, estimando-se um gasto de 2% a 5% do Produto Interno Bruto no tratamento de doenças relacionadas com a poluição do ar (APA, 2022c; OMS, 2022).

Dado tratar-se de um risco de saúde pública, a Agência Europeia do Ambiente (EEA) estabeleceu o Plano de Ação Poluição Zero. Este plano define várias metas de redução, a cumprir até ao ano 2030. A EEA pretende reduzir em 55% a exposição a matéria particulada fina, face a 2005, e reduzir em 25% o número de ecossistemas impactados pela poluição atmosférica (AEA, 2023).

A aplicação de medidas de redução da poluição resultou, em 2020, numa redução de 45% das mortes prematuras associadas à exposição a matéria particulada e 12% dos níveis prejudiciais de deposição de azoto nos ecossistemas, face a 2005. A emissão de poluentes atmosféricos em todos os países da União Europeia (UE) mantém a tendência decrescente observada desde 2005. Ainda assim, a EEA considera que muito ainda deve ser feito e, em outubro de 2022, a Comissão Europeia publicou uma proposta de revisão da Diretiva da Qualidade do Ar Ambiente (AEA, 2023).

Na revisão da Diretiva, a Comissão Europeia propõe valores-limite mais restritos, em concordância com os valores guia da OMS, promover as vias legais para atribuição de compensações por danos provocados pela poluição atmosférica e penas por desrespeito das normas de qualidade do ar. A Comissão pretende também fortalecer as normas de monitorização da qualidade do ar, por forma a melhorar a ação preventiva e corresponder às metas estabelecidas. Os sistemas de modelação de qualidade do ar devem ser melhorados, especialmente para situações em que a qualidade do ar é má (OMS, 2021).

Estas medidas estão em concordância com outras propostas legislativas, nomeadamente com a revisão da Diretiva de Emissões Industriais e com os Padrões de Emissão Euro 7, aplicáveis a veículos rodoviários, procurando atingir as metas que garantem padrões de qualidade do ar mais rígidos (AEA, 2023).

Em Portugal, o Regime de Avaliação e Gestão da Qualidade do Ar Ambiente (RJAGQAR) é estabelecido pelo Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei nº43/2015 e, posteriormente, alterado e republicado pelo Decreto-Lei nº47/2017, de 10 de maio.

Este Regime tem por objetivo definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente, como forma de evitar ou mitigar os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente. Além disso, estabelece os métodos e critérios para a avaliação da qualidade do ar ambiente no território nacional, e procura contribuir para a redução da poluição atmosférica e dos seus efeitos, acompanhando simultaneamente as tendências a longo prazo, bem como as eventuais melhorias que resultem da aplicação de medidas.

A aplicação deste regime visa ainda a preservação da qualidade do ar ambiente quando esta for boa, e melhorá-la sempre que necessário. Para garantir o cumprimento destes objetivos, o RJAGQAR garante a cooperação com outros Estados Membros, com o objetivo final de reduzir a poluição atmosférica.

A APA é a autoridade nacional para a aplicação do RJAGQAR, sendo da sua competência garantir, coordenar e harmonizar os procedimentos para a aplicação do mesmo. A APA e as Comissões para a Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), elaboram e implementam medidas e planos que permitam atingir os objetivos nacionais de redução de emissões e de melhoria da qualidade do ar. A APA tem assim, entre outras, a responsabilidade de analisar as metodologias de avaliação da qualidade do ar e aprovar as redes de medição estabelecidas em território nacional.

O RJAGQAR define os critérios para o estabelecimento da Rede Nacional de Monitorização da Qualidade do Ar. Os dados recolhidos pelas estações da Rede Nacional de Monitorização da Qualidade do Ar estão disponíveis no sistema de informação QualAr (<https://qualar.apambiente.pt>). Através do Portal, é possível obter informações relativas à concentração de determinados poluentes medida pelas estações integrantes da rede de monitorização da qualidade do ar num dado local e num dado momento. O Portal possui ainda informação sobre o processo de monitorização, a delimitação de zonas e aglomerações, as estações de medição, os métodos de previsão, o Índice QualAr e conselhos de saúde.

Os valores limite, os níveis críticos e os limiares de alerta estabelecidos para cada poluente constam do RJAGQAR.

Nos pontos seguintes são apresentados os valores limite e limiares de informação e alerta para os poluentes: Partículas em Suspensão (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), Dióxido de Azoto (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Ozono (O<sub>3</sub>).

Na Tabela 1 são apresentados os valores limite para as PM<sub>10</sub> fixados na Parte B do Anexo XII do RJAGQAR.

Tabela 1 - Valor limite fixado no RJAGQAR para PM<sub>10</sub>.

Período de referência	Valor limite (µg/m <sup>3</sup> )
Um dia	50, a não exceder mais de 35 vezes por ano civil
Ano Civil	40

Na Tabela 2 são apresentados os valores – alvo estabelecidos pela OMS para as PM<sub>10</sub>.

Tabela 2 - *Guideline* da OMS para a concentração de PM<sub>10</sub> na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).

Período de referência	Valor Alvo (µg/m <sup>3</sup> )
Um dia <sup>1</sup>	45
Ano Civil	15

<sup>1</sup> Percentil 99

Na Tabela 3 é apresentado o valor limite para as PM<sub>2,5</sub>, fixado na Parte E do Anexo XV do RJAGQAR.

Tabela 3 - Valor limite fixado no RJAGQAR para PM<sub>2,5</sub>.

Período de referência	Valor limite (µg/m <sup>3</sup> )
Ano Civil	20

Na Tabela 4 são apresentados os valores – alvo estabelecido pela OMS para as PM<sub>2,5</sub>.

Tabela 4 - *Guideline* da OMS para a concentração de PM<sub>2,5</sub> na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).

Período de referência	Valor Alvo (µg/m <sup>3</sup> )
Um dia <sup>1</sup>	15
Ano Civil	5

Período de referência	Valor Alvo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<sup>1</sup> Percentil 99	

Na Tabela 5 são apresentados os valores limite para o  $\text{NO}_2$ , fixados na Parte B do Anexo XII do RJAGQAR. Na Tabela 6 é apresentado o limiar de alerta para este poluente, fixado na Parte A do Anexo XIII do RJAGQAR.

Tabela 5 - Valor limite estabelecido no RJAGQAR para o  $\text{NO}_2$ .

Período de Referência	Valor Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Uma hora	200, a não exceder mais de 18 vezes por ano civil
Ano Civil	40

Tabela 6 - Limiar de alerta estabelecido no RJAGQAR para o  $\text{NO}_2$ .

Poluente	Limiar de Alerta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Dióxido de Azoto	400

Na Tabela 7 são apresentados os valores – alvo estabelecido pela OMS para o  $\text{NO}_2$ .

Tabela 7 - *Guideline* da OMS para a concentração de  $\text{NO}_2$  na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).

Período de referência	Valor Alvo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Um dia <sup>1</sup>	25
Ano Civil	10
<sup>1</sup> Percentil 99	

Na Tabela 8 é apresentado o valor limite para o  $\text{CO}$ , fixado na Parte B do Anexo XII do RJAGQAR.

Tabela 8 - Valor limite fixado no RJAGQAR para o  $\text{CO}$ .

Período de referência	Valor limite ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Máximo diário das octo-horárias <sup>1</sup>	10

Período de referência	Valor limite (mg/m <sup>3</sup> )
<sup>(1)</sup> O valor máximo diário das médias octo-horárias é selecionado com base nas médias obtidas por períodos de oito horas consecutivas, calculadas a partir dos dados horários e atualizadas de hora a hora. Cada média por período de oito horas calculada desta forma é atribuída ao dia em que termina; desta forma, o primeiro período de cálculo de um dia tem início às 17 horas do dia anterior e termina à 1 hora do dia em causa; o último período de cálculo de um dia tem início às 16 horas e termina às 24 horas do mesmo dia.	

A Tabela 9 apresenta os valores – alvo estabelecido pela OMS para o CO.

Tabela 9 - *Guideline* da OMS para a concentração de CO na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).

Período de referência	Valor Alvo (mg/m <sup>3</sup> )
Uma hora <sup>1</sup>	30
Um dia <sup>1</sup>	4
<b>Valor máximo das médias octo-horárias</b>	10

<sup>1</sup> Percentil 99

Na Tabela 10 são apresentados os limiares de informação e alerta para o ozono estabelecidos na Parte B do Anexo XIII do RJAGQAR.

Tabela 10 - Limiares de informação e alerta para o ozono estabelecidos no RJAGQAR.

Objetivo	Período de referência	Limiar (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Informação</b>	Uma hora	180
<b>Alerta</b>	Uma hora <sup>1</sup>	240

<sup>(1)</sup> Para aplicação do artigo 29º, a excedência do limiar deve ser medida ou estimada durante três horas consecutivas.

O ozono é avaliado por meio de medições fixas em zonas e aglomerações onde tenham sido excedidos os objetivos a longo prazo constantes na parte C do Anexo VIII do RJAGQAR, num dos cinco anos de medição transatos, conforme consta da Tabela 11.

Tabela 11 - Objetivo a longo prazo estabelecido no RJAGQAR para a concentração de ozono.

Objetivo	Período de referência	Média anual
<b>Proteção da Saúde Humana</b>	Valor máximo diário das médias octo-horárias, calculadas por períodos consecutivos de oito horas, num ano civil <sup>1</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> O valor máximo diário das médias octo-horárias é selecionado com base nas médias obtidas por períodos consecutivos de oito horas, calculadas a partir dos dados horários e atualizados de hora a hora. Cada média por período de oito horas calculada desta forma é atribuída ao dia em que termina;

Na Tabela 12 é apresentado o valor alvo está definido no mesmo anexo do RJAGQAR.

Tabela 12 - Valor-alvo estabelecido no RJAGQAR para o ozono.

Objetivo	Período de referência	Valor Alvo
<b>Proteção da Saúde Humana</b>	Valor máximo diário das médias octo-horárias, calculadas por períodos consecutivos de oito horas, num ano civil <sup>1</sup>	120 µg/m <sup>3</sup> , a não exceder mais de 25 dias, em média, por um ano civil, num período de três anos <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> O valor máximo diário das médias octo-horárias é selecionado com base nas médias obtidas por períodos consecutivos de oito horas, calculadas a partir dos dados horários e atualizados de hora a hora. Cada média por período de oito horas calculada desta forma é atribuída ao dia em que termina;

<sup>(2)</sup> Se não for possível determinar as médias de períodos de três ou cinco anos com base num conjunto completo e consecutivo de dados anuais, os dados anuais mínimos necessários à verificação da observância são de um ano (proteção da saúde humana) e três anos (proteção da vegetação).

Na Tabela 13 é apresentado o valor – alvo estabelecido pela OMS para o ozono.

Tabela 13 - *Guideline* da OMS para a concentração de ozono na qualidade do ar ambiente (OMS, 2021).

Período de referência	Valor Alvo (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Máximo diário das médias octo-horárias<sup>1</sup></b>	100
<b>Season Peak<sup>2</sup></b>	60

<sup>1</sup> Percentil 99

<sup>2</sup> Máximo das médias octo-horárias nos 6 meses consecutivos com a maior concentração média de ozono (média móvel de 6 meses).

A comunicação da qualidade do ar ao público em geral é efetuada através da comunicação do Índice de Qualidade do Ar (IQAr) que consiste numa ferramenta de classificação baseada nas concentrações de poluentes e representa a pior classificação obtida. A classificação traduz-se em cinco classes, representadas por uma escala de cores, de Muito Bom a Mau, que traduzem os intervalos de classificação constantes da Tabela 14 (expressos em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabela 14 - Índice de Qualidade do Ar (APA, 2022a).

Classificação	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	Ozono	SO <sub>2</sub>
<b>Muito Bom</b>	0-20	0-10	0-40	0-80	0-100
<b>Bom</b>	21-35	11-20	41-100	81-100	101-200
<b>Médio</b>	36-50	21-25	101-200	101-180	201-350
<b>Fraco</b>	51-100	26-50	201-400	181-240	351-500
<b>Mau</b>	101-1200	51-800	401-1000	241-600	501-1250

O cálculo do IQAr difere consoante se trate de uma zona ou de uma aglomeração. Para as zonas, consideram-se as médias aritméticas dos valores medidos para o ozono, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>. Para aglomerações, consideram-se as médias aritméticas dos valores medidos para o NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>. Caso exista informação relativa ao dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), esta também pode ser incluída na avaliação.

### **3 METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR**

A avaliação a que se refere o Artigo 4º do RJAGQAR prevê a utilização de uma ou mais técnicas de avaliação, enumeradas no Artigo 6º do mesmo documento.

De acordo com o RJAGQAR, as medições fixas consistem em medições efetuadas num local fixo, de forma contínua ou por amostragem aleatória. Estas medições têm de respeitar o conjunto de critérios de qualidade dos dados mais rigoroso estabelecido na legislação. As medições indicativas respeitam objetivos de qualidade menos rigorosos do que os estabelecidos para as medições fixas. A modelação é uma técnica de simulação de fenómenos naturais que permite estimar a concentração dos poluentes num conjunto de pontos com base num conjunto de variáveis que a influenciam. As estimativas objetivas consistem num método de avaliação que permite estimar concentrações respeitando objetivos de qualidade menos rigorosos do que a modelação.

As medições indicativas, os modelos e as estimativas objetivas podem ser usados como suporte na delimitação das zonas, definidas no âmbito da avaliação da qualidade do ar ambiente e como avaliação complementar da qualidade do ar ambiente nas zonas e aglomerações.

As estações para medições fixas são normalmente constituídas por um compartimento de dimensões significativas e com controlo de temperatura interno. O grande entrave destas estações reside no seu custo elevado e espaço que necessitam para a sua implementação, o que impede a sua dispersão pelas zonas urbanas e, portanto, diminui a resolução espacial da monitorização da poluição atmosférica (APA, 2022a).

As medições indicativas podem ser utilizadas como complemento às medições fixas em locais em que a concentração de um dado poluente exceda o respetivo limiar superior de avaliação. Podem ainda ser utilizadas em combinação com as medições fixas em locais onde é expectável que a concentração de um poluente se encontre entre o limiar superior de avaliação e o limiar inferior de avaliação.

### 3.1 Medições Fixas

Como anteriormente referido os estados-membros da EU tem de possuir uma rede de monitorização da qualidade do ar que tem de ser dimensionada de acordo com os critérios definidos na Diretiva (UE) 2015/1480.

As estações que constituem a rede de monitorização da qualidade do ar devem aplicar os métodos de referência definidos na Diretiva. A possibilidade de utilização de métodos equivalentes está também prevista.

#### 3.1.1 Metodologia de Medição

De modo a garantir a fiabilidade, exatidão e precisão dos resultados, os equipamentos de medição utilizados nas estações e redes de monitorização, nos estados-membros da União Europeia, devem corresponder a determinados critérios de operação e de qualidade, em conformidade com a Diretiva (UE) 2015/1480 da Comissão Europeia, de 28 de agosto de 2015. A Diretiva foi transposta para direito interno pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, atualizado pelo Decreto-Lei n.º 47/2017.

A Diretiva define os métodos de referência para a avaliação das concentrações no ar ambiente e das taxas de deposição. Na Tabela 15 são apresentados os Métodos de referência para a avaliação das concentrações no ar ambiente de PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> e na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** são apresentados os princípios dos métodos.

Tabela 15 - Métodos de referência para a avaliação das concentrações no ar ambiente de PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>.

Método de referência	
PM <sub>10</sub> /PM <sub>2</sub>	EN 12341:2014 - Ambient air — Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM <sub>10</sub> or PM <sub>2,5</sub> mass concentration of suspended particulate matter.
NO <sub>2</sub>	EN 14211:2012 - Ambient air — Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence.
O <sub>3</sub>	EN 14625:2012 - Ambient air — Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry.

Devido à dificuldade de aplicação da metodologia de determinação da massa das partículas em suspensão por gravimetria definido, conforme definido na norma EN 12341, e ao facto não permitir obter dados em tempo real nem para curtos períodos de medição, esta não é frequentemente utilizada para operação em redes de monitorização. Geralmente, estas redes utilizam sistemas automatizados de medição contínua (*e.g.* microbalanças oscilantes, atenuação de raios  $\beta$  ou métodos óticos) para aplicação da norma EN 16450:2017 - Ambient air - Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>).

Os equipamentos utilizados na aplicação dos Métodos de Referência ou Métodos Equivalentes têm de ser sujeitos a testes *type-approval* prévios à sua colocação no mercado, de modo que possam demonstrar cumprir com as exigências dos métodos de referência definidas na referida Diretiva. Os testes *type-approval* consistem numa bateria de testes laboratoriais e de campo utilizados para avaliar as características da performance dos equipamentos destinados à medição de poluentes atmosféricos, pelos métodos de referência. De acordo com as Normas Europeias, estes testes visam a determinação dos valores reais da performance de pelo menos dois equipamentos, por um laboratório acreditado para o efeito. Os equipamentos testados em laboratório devem ser posteriormente testados em campo. Os testes *type-approval* permitem a determinação da incerteza expandida da medição e assim comparar o desempenho do equipamento com a incerteza máxima estabelecida na Diretiva (UE) 2015/1480.

### **3.1.2 Objetivo de Qualidade dos Dados**

Os objetivos de qualidade dos dados para a avaliação, no ar ambiente estão dispostos no Anexo II do RJAGQAR. Na Tabela 16, encontram-se descritos os objetivos de qualidade dos dados para o NO, para o NO<sub>2</sub>, para o O<sub>3</sub> e para as PM<sub>10</sub>, para medições fixas efetuadas por equipamentos de referência.

Tabela 16 - Objetivos de qualidade dos dados, estabelecidos no RJAGQAR, para o NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub>, para medições fixas.

	NO/NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub> e NO e NO <sub>2</sub> relacionados
<b>Incerteza</b>	15%	25%	15%
<b>Taxa mínima de recolha de dados</b>	90%	90%	90% no Verão; 75% no Inverno

Na Tabela 17 são apresentados os critérios estabelecidos na Parte A do Anexo XII do RJAGQAR, utilizados para efeitos de validação dos dados e cálculo de médias.

Tabela 17 - Critérios para validação dos dados.

Período de referência	Valor limite
<b>Valores Horários</b>	75 % (quarenta e cinco minutos)
<b>Valores octo-horários</b>	75 % dos valores (seis horas)
<b>Valores máximos diários das médias octo-horárias</b>	75 % das médias octo-horárias (18 médias octo-horárias por dia)
<b>Valores por período de 24h</b>	75 % das médias horárias (pelo menos 18 valores)
<b>Média Anual</b>	90 % dos valores de uma hora ou (se estes não estiverem disponíveis) dos valores por períodos de 24 horas ao longo do ano <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Os requisitos em matéria de cálculo da média anual não incluem as perdas decorrentes da calibração regular e da manutenção periódica dos instrumentos.

## 3.2 Medições Indicativas

De acordo com o RJAGQAR, uma medição indicativa corresponde a uma medição que respeita objetivos de qualidade dos dados menos rigorosos do que os definidos para as medições fixas. É uma das técnicas de avaliação previstas no Artigo 6º, a utilizar como suporte na delimitação das zonas, definidas no âmbito da avaliação da qualidade do ar ambiente e como avaliação complementar da qualidade do ar ambiente, com o objetivo de se obterem informações adequadas acerca da distribuição espacial dos poluentes.

### 3.2.1 Metodologia de Medição

A Diretiva (UE) 2015/1480 da Comissão Europeia, de 28 de agosto de 2015 não define os métodos a utilizar para obter medições indicativas. No entanto existe uma exigência em termos de qualidade de dados que obriga à determinação da incerteza dos métodos aplicados para a obtenção de medições indicativas.

Em 2012 foi editada a norma CEN/TS 17660-1 com o objetivo de atribuir uma classificação aos equipamentos, destinados à determinação da concentração mássica de poluentes atmosféricos gasosos, nomeadamente o O<sub>3</sub>, óxidos de azoto, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e benzeno, baseada na incerteza das medições efetuadas. Por estes equipamentos. A norma define 3 classes de desempenho:

- Classe 1: inclui equipamentos cuja incerteza expandida da medição se enquadre nos requisitos estabelecidos para medições indicativas;
- Classe 2: refere-se a equipamentos cuja incerteza expandida da medição corresponde aos requisitos estabelecidos para estimativas objetivas;
- Classe 3: diz respeito a equipamentos que servem propósitos não regulamentares que possuem alvos de incerteza de medição flexíveis, destinados a fins específicos como educativos, de investigação ou ciência do cidadão.

A avaliação do desempenho do equipamento inicia-se com uma fase de pré-testagem em laboratório, que pretende avaliar o tempo da resposta, a repetibilidade e a reta de regressão do ensaio de *lack-of-fit*, que deve ser sempre previamente efetuado. Caso os resultados obtidos permitam incluir o equipamento numa das três categorias previstas na norma, avança-se para a fase seguinte. Segue-se uma bateria de testes que pode ser realizada em laboratório e/ou em campo. É possível optar por uma de duas opções no que toca à bateria de testes a realizar. A opção 1 refere-se a testes extensivos em campo, sem testagem em laboratório, enquanto a opção 2 inclui testes em laboratório e testes em campo, pela ordem que seja mais conveniente.

Para a opção 1, a testagem extensiva em campo consiste na duplicação do número de locais de monitorização face aos testes rápidos. Para a opção 2, os testes em laboratório são extensivos e têm como objetivo avaliar a estabilidade a longo prazo e a interferência de compostos gasosos, da temperatura e da humidade. Os testes de campo consistem no posicionamento do sensor candidato junto a uma estação de referência por forma a comparar os resultados obtidos, de acordo com o estabelecido no documento *Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods*. O tratamento dos resultados obtidos durante a fase de testes em campo pode ou não incluir um processo de calibração, designadamente ajustes no declive e/ou na interceção com a origem. A

execução de cada etapa da validação do equipamento está dependente dos resultados da etapa anterior, na medida que, a cada passo, têm de ser satisfeitos os requisitos de uma das classes previstas na Norma. A classificação do equipamento corresponde à pior classe obtida para todos os poluentes passíveis de ser determinados pelo equipamento em avaliação. Os testes em campo devem realizar-se num período não inferior a 40 dias entre novembro e março. Para cada poluente e para cada local, tem de existir um período mínimo de recolha de dados de 192 horas de concentrações superiores a 50% da média do percentil 98 dos valores horários dos cinco anos anteriores.

Vários avanços têm sido realizados no sentido de desenvolver equipamentos de custo reduzido, portáteis e com reduzido consumo energético que permitam melhorar a resolução espacial da monitorização, cumprindo os requisitos de qualidade dos dados exigidos para métodos indicativos pela Diretiva (UE) 2015/1480 (*e.g.* Karagulian et al., 2019). Alguns destes equipamentos podem ser versáteis e podem ser colocados no interior de edifícios ou no exterior, em plataformas móveis, como veículos, ou até mesmo ser utilizados por pessoas de forma a avaliar a sua exposição individual aos poluentes avaliados (*e.g.* Liu et al., 2020). No entanto, o facto de a maioria destes equipamentos não garantir a qualidade dos dados exigida para métodos indicativos continua a constituir o maior entrave à sua implementação. Esta dificuldade é mais marcada em locais cuja concentração dos poluentes em avaliação é reduzida, uma vez que os sensores utilizados apresentam menor sensibilidade nesta circunstância (Idrees & Zheng, 2020; Zaidan et al., 2020).

Atualmente os sensores utilizados nos equipamentos de baixo custo destinados à medição de poluentes gasosos podem ser classificados em três categorias – sensores baseados em óxidos metálicos (MOS), sensores baseados na radiação infravermelha não dispersiva (NDIR) e sensores eletroquímicos (ES) (*e.g.* Schneider et al., 2019).

### Sensores MOS

A absorção de gases pelos óxidos metálicos conduz a uma alteração de corrente. O oxigénio atmosférico presente na superfície do óxido metálico reage com o gás, o que resulta na redução do óxido e conseqüente aumento da corrente de eletrões na banda de condução. Deste aumento de corrente decorre uma queda irreversível na resistência, o que permite a determinação da concentração de gás (Spinelle et al., 2016).

A estrutura do sensor consiste numa camada de dióxido de estrôncio no interior dos microtúbulos de óxido metálico e um elemento de aquecimento. Os tubos de óxido

metálico atuam como os elétrodos de medição. A face posterior do sensor é protegida por uma rede de aço inoxidável, sendo que os terminais de conexão estão na extremidade traseira (Gurudath & Srinivasa, 2021).

### Sensores NDIR

O princípio de medição destes sensores reside no facto de diferentes gases absorverem radiação Infravermelha em comprimentos de onda distintos. Um sensor NDIR possui uma fonte de luz infravermelha, uma câmara de medição onde fica contida a amostra de ar, um filtro de comprimento de onda e um sensor infravermelho (Gurudath & Srinivasa, 2021).

A amostra de ar é bombeada para o interior da câmara de medição. A luz infravermelha atravessa a amostra e atinge o sensor, no lado oposto da câmara. De modo a garantir apenas a medição da concentração do gás pretendido, é utilizado um filtro de banda, por forma a filtrar comprimentos de onda específicos.

Ainda que estes sensores sejam capazes de estimar as concentrações dos poluentes de interesse com bastante precisão, estão sujeitos a variações provocadas por flutuações no caudal de ar e possuem um limite inferior de deteção muito elevado (Concas et al., 2021; Gurudath & Srinivasa, 2021).

### Sensores ES

Este sensor consiste numa célula eletroquímica cuja voltagem de output é diretamente proporcional à concentração do poluente que está a ser medido. Esta concentração é medida através de uma reação eletrolítica, que gera um caudal de corrente por todo o circuito do sensor.

Como mostra a Figura 1, um ES inclui um eléctrodo de trabalho e um eléctrodo contador. Alguns sensores podem ainda incluir um eléctrodo de referência. Os elétrodos são suspensos numa solução eletrolítica, que reage com a amostra de ar (Alphasense, 2014).

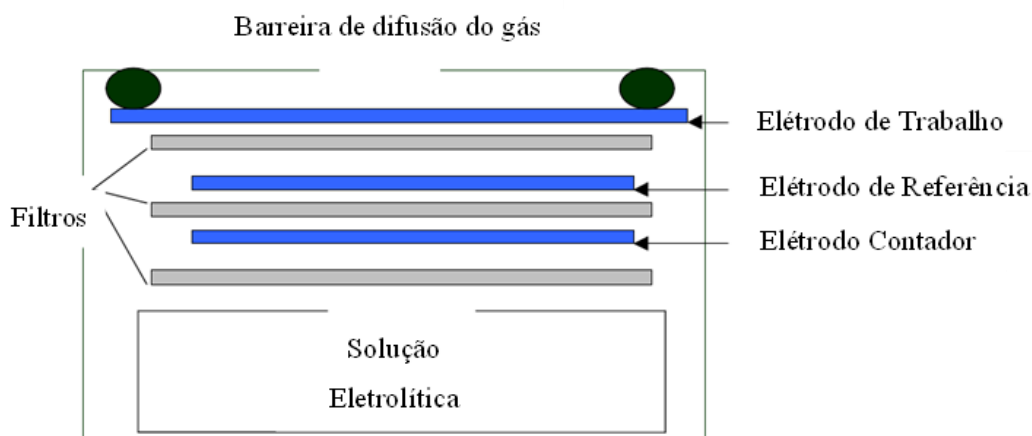


Figura 1 - Representação Esquemática de um sensor do tipo ES.

O funcionamento do sensor baseia-se na reação química que ocorre entre o gás de interesse e um eléctrodo específico dentro de uma célula eletroquímica. A reação gera uma corrente eléctrica proporcional à concentração do gás presente. Essa corrente é então medida e convertida numa leitura de concentração do gás na amostra (Gurudath & Srinivasa, 2021).

Na Tabela 18 são apresentadas as vantagens e desvantagens de cada tipo de sensor, de acordo com Concas *et al.* (2021).

Tabela 18 - Vantagens e desvantagens dos sensores do tipo MOS, EC e NDIR (Concas et al., 2021).

Tipo	Custo	Vida Útil	Sensibilidade	Precisão	Necessidade de Calibração	Problemas Conhecidos
<b>MOS</b>	Reduzido	Longa	Elevada	Reduzida	Frequente	Sensibilidade cruzada com outros gases. Perda de sensibilidade a elevadas temperaturas.
<b>ES</b>	Reduzido	Curta	Elevada	Boa	Razoável	Sensível à temperatura. Para temperaturas elevadas e humidade reduzida, a solução eletrolítica pode secar.
<b>NDIR</b>	Elevado	Longa	Elevada	Elevada	Frequente	Interferência espectral e limite inferior de deteção elevado.

As estações Monitarsense utilizadas neste estudo possuem um sistema de amostragem ativo e integram sensores eletroquímicos para a determinação da concentração de NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub>, e um sensor ótico para determinação da concentração de partículas em suspensão.

### 3.2.2 Objetivo de Qualidade dos dados

Na Tabela 19 encontram-se descritos os objetivos de qualidade dos dados para o monóxido de azoto, para os óxidos de azoto, para o monóxido de carbono, para o ozono e para as partículas em suspensão, para medições indicativas, constantes do Anexo II do Decreto-Lei nº102/2010, com a sua atual redação.

Tabela 19 - Objetivos de qualidade dos dados para os óxidos de azoto, CO, O<sub>3</sub> e partículas em suspensão, para medições indicativas.

	NO/NO <sub>2</sub> /CO	PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub> e NO e NO <sub>2</sub> relacionados
<b>Incerteza</b>	25%	50%	30%
<b>Taxa mínima de recolha de dados</b>	90%	90%	90%
<b>Período Mínimo de Amostragem</b>	14% <sup>1</sup>	14% <sup>1</sup>	>10% no Verão

<sup>1</sup> Uma medição aleatória por semana, repartida de modo uniforme ao longo do ano, ou oito semanas repartidas de modo uniforme ao longo do ano.

## **4 Caracterização da cidade de Lisboa**

### **4.1 Caracterização Geral**

De acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística, o Município de Lisboa ocupa um território de 100,05 km<sup>2</sup>. À data dos Censos de 2021, 545 796 pessoas habitavam na cidade, resultando numa densidade populacional de 5 448,7 habitantes/km<sup>2</sup>.

A cidade de Lisboa assume a função de Capital de Portugal, Capital de Distrito e Sede de Concelho. Situa-se na margem direita do Rio Tejo, na região da Grande Lisboa (NUT II) em Lisboa (NUT III).

É limitada pelo Distrito de Leiria a norte, pelo Distrito de Santarém a este e nordeste, pelo Oceano Atlântico a sul e a sudoeste e pelo Rio Tejo a este e sul.

### **4.2 Fontes de Poluentes atmosféricos**

De acordo com os dados recolhidos durante os Censos 2021, 51,1% da população lisboeta utiliza meio de transporte individual nas suas deslocações diárias, 47,6% do total da população utiliza o seu automóvel. Deste modo, o tráfego é apontado como uma das principais fontes de poluentes atmosféricos na cidade de Lisboa.

O setor terciário tem uma forte implantação na cidade de Lisboa que, pelo facto de ser a capital administrativa do país, reúne um conjunto de serviços ligados à administração central, ocupando uma percentagem significativa da população ativa.

A cidade de Lisboa possui um aeroporto de grande importância nacional e internacional (Portela de Sacavém), e o seu porto tem um movimento significativo de importações e exportações. A área limítrofe da cidade possui indústrias do ramo alimentar, química, de cimentos, de construção naval, metalo-mecânica, têxtil e de refinação, cuja contribuição para a poluição do ar ambiente na cidade não pode ser ignorada (INE, 2021).

### 4.3 Caracterização climática

O Instituto Português de Meteorologia e Atmosfera possui, na cidade de Lisboa, quatro estações meteorológicas, localizadas nas Amoreiras, Tapada da Ajuda, Geofísico e Avenida Gago Coutinho. A estação localizada no Geofísico foi utilizada na elaboração da Normal Climatológica 1981-2010 para a cidade de Lisboa.

De acordo com os dados disponibilizados pelo IPMA, a Tabela 20 e a Tabela 21, contêm informação referente às Normais Climatológicas 1981-2010 da Temperatura do Ar e da Precipitação, respetivamente, para o Município de Lisboa.

Tabela 20 - Normais Climatológicas 1981-2010 referentes à temperatura do ar, para o Município de Lisboa.

Mês	Média da temperatura máxima	Média da temperatura mínima	Média da temperatura média	Máxima da temperatura máxima	Mínima da temperatura mínima
<b>Janeiro</b>	14,8	8,2	11,5	22,6	1,0
<b>Fevereiro</b>	16,2	9,1	12,6	24,8	1,2
<b>Março</b>	18,8	11	14,9	29,4	0,2
<b>Abril</b>	19,8	11,9	15,9	32,2	5,5
<b>Mai</b>	22,1	13,9	18,0	34,8	6,8
<b>Junho</b>	25,7	16,7	21,2	41,5	10,4
<b>Julho</b>	27,9	18,2	23,1	40,6	14,1
<b>Agosto</b>	28,3	18,6	23,5	41,8	14,7
<b>Setembro</b>	26,6	17,6	22,1	37,3	12,1
<b>Outubro</b>	22,5	15,1	18,8	32,6	9,2
<b>Novembro</b>	18,2	11,8	15,0	25,3	4,3
<b>Dezembro</b>	15,2	9,4	12,3	23,2	2,1

Tabela 21 - Normais Climatológicas 1981-2010 referentes à precipitação, para o Município de Lisboa.

Mês	Média da quantidade de precipitação total	Maior valor da quantidade de precipitação diária	Média do número de dias com precipitação diária $\geq 1\text{mm}$	Média do número de dias com precipitação diária $\geq 10\text{mm}$
<b>Janeiro</b>	99,2	101,2	9,6	3,6
<b>Fevereiro</b>	84,3	118,4	8,4	2,8
<b>Março</b>	52,1	46,0	6,2	2,0
<b>Abril</b>	68,0	62,9	7,9	2,5
<b>Mai</b>	52,6	59,6	6,0	1,8
<b>Junho</b>	15,6	31,4	2,3	0,4
<b>Julho</b>	3,9	34,0	0,6	0,1
<b>Agosto</b>	6,1	24,6	1,2	0,1
<b>Setembro</b>	32,6	57,7	3,8	1,0
<b>Outubro</b>	97,7	92,6	8,6	3,0
<b>Novembro</b>	127,5	95,6	9,8	4,3
<b>Dezembro</b>	126,2	58,5	11,1	4,4

Verifica-se que a temperatura média varia entre os 11°C e os 23°C, aproximadamente. No que toca à precipitação, registam-se tipicamente meses de verão muito secos, enquanto os meses de inverno são amenos e chuvosos. Esta informação está de acordo com a classificação de Köppen, que inclui o Município de Lisboa na região Csa, caracterizada por um clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente (IPMA, 2023).

Segundo o Boletim Climatológico do IPMA de 2022, em Portugal Continental, o ano classificou-se como extremamente quente e seco, sendo que o mês de julho foi o mais quente registado desde 1931. A média da temperatura máxima foi 1,82°C superior ao valor normal, ao passo que a média da temperatura mínima foi 0,94°C acima do normal.

Em termos de precipitação, registou-se um total anual de 797,6 mm, 84 mm abaixo do valor normal. Os primeiros nove meses do ano caracterizaram-se por uma seca meteorológica que resultou em seca severa e extrema em 80% do território de Portugal Continental em fevereiro e entre maio e agosto. Cerca de 70% do total de precipitação ocorreu nos últimos quatro meses do ano, sendo que o maior valor da quantidade de precipitação em 24h (110,6mm) foi registado na estação Gago Coutinho, em Lisboa, no dia 13 de dezembro de 2022.

#### 4.4 Redes de Monitorização da Qualidade do Ar

#### 4.4.1 Rede de Referência

A região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT) é constituída por quatro zonas homogéneas, denominadas Área Metropolitana de Lisboa Sul, Área Metropolitana de Lisboa Norte, Setúbal e Oeste, Vale do Tejo e Península de Setúbal. A Rede de Referência da CCDR LVT inclui 24 estações distribuídas pelas quatro zonas, como mostra a Figura 2.

##### Estações de monitorização fixa (CCDR LVT)

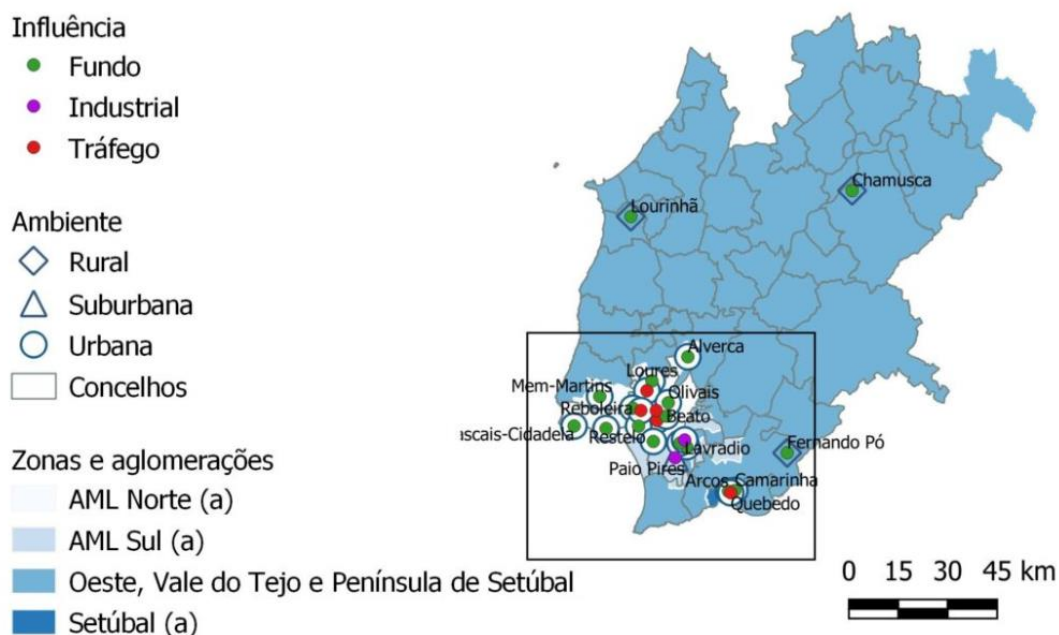


Figura 2 - Estações de Referência que integram a Rede de Monitorização da Qualidade do AR da Região de Lisboa e Vale do Tejo. Adaptado de CCDR LVT (2022b).

A cidade de Lisboa está integrada na zona da Área Metropolitana de Lisboa Norte, e reúne seis estações. As estações de referência da Cidade de Lisboa situam-se na Avenida da Liberdade, Entrecampos, Santa Cruz de Benfica, Olivais, Restelo e Beato, conforme mostra a Figura 3.

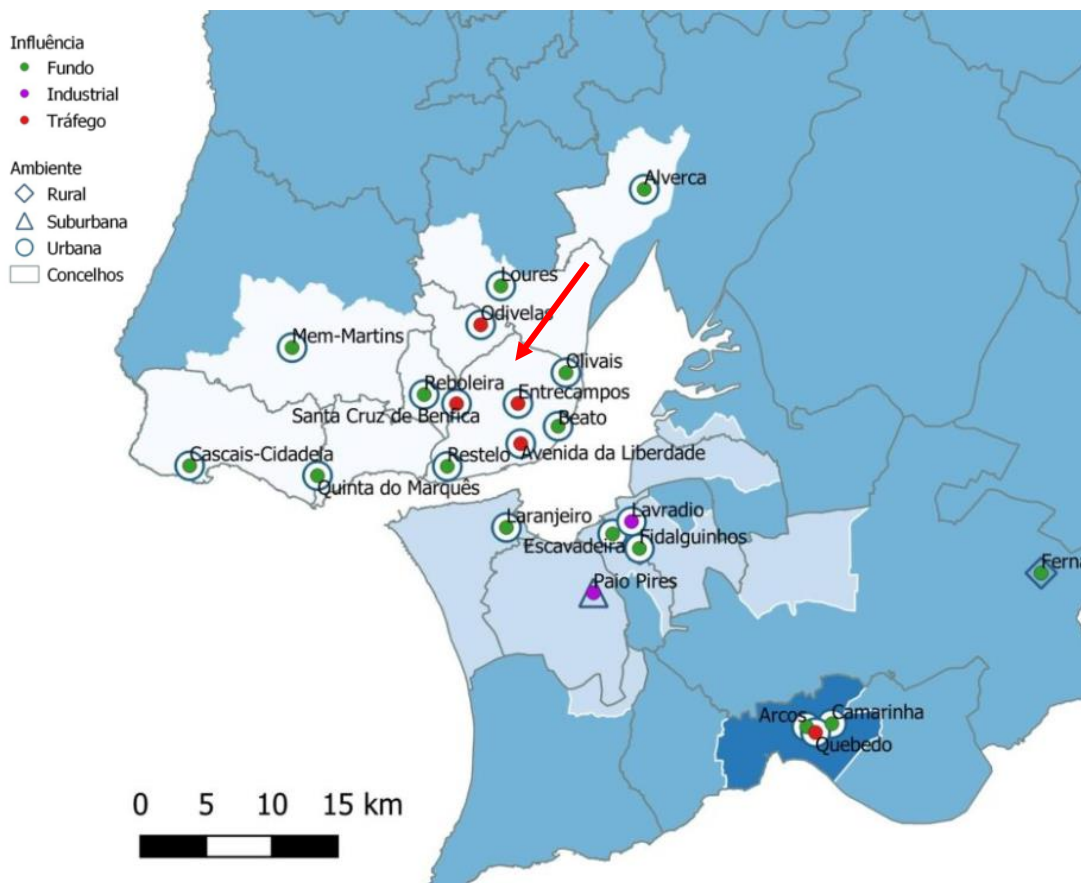


Figura 3 - Distribuição das estações que constituem a Rede de Referência. A seta vermelha indica a área correspondente ao Município de Lisboa. Adaptado de CCDR LVT (2022b).

As estações de Beato, Restelo e Olivais são do tipo Urbanas de Fundo, enquanto as estações da Avenida da Liberdade, Santa Cruz de Benfca e Entrecampos são do tipo Urbanas de Tráfego. A tipologia da estação depende das emissões dos poluentes dominantes das zonas onde estão instaladas, representando diferentes tipos de exposição da população à poluição atmosférica (CCDR LVT, 2022).

As estações de tráfego situam-se na proximidade de vias de tráfego intenso e permitem avaliar o risco máximo de exposição da população às emissões do tráfego automóvel. Por outro lado, as estações de fundo não se encontram sob a influência direta de vias de tráfego ou de qualquer fonte próxima de poluição. Permitem conhecer a exposição média da população aos fenómenos de poluição de fundo.

Nas estações de monitorização são medidos poluentes para os quais a regulamentação em vigor define níveis de concentração que não devem ser ultrapassados. Os poluentes medidos em cada estação dependem do tipo de estação. A Tabela 22 resume os poluentes medidos em cada estação situada no Município de Lisboa.

Tabela 22 - Poluentes medidos nas estações de referência de Lisboa.

	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>Benzeno</b>
<b>Olivais</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Santa Cruz de Benfica</b>	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não
<b>Entrecampos</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Beato</b>	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
<b>Restelo</b>	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
<b>Avenida da Liberdade</b>	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não

As estações da rede de referência estão equipadas com um conjunto de analisadores que medem em contínuo e de forma automática os vários poluentes atmosféricos, produzindo uma leitura instantânea. A informação recolhida é sujeita a uma primeira validação automática, sendo posteriormente validada por um operador da Rede de Monitorização da Qualidade do Ar. Estes dados são disponibilizados na base de dados nacional sobre qualidade do ar, a plataforma QualAr, sob a forma de concentrações médias horárias e de um índice de qualidade do ar (CCDR LVT, 2022).

#### 4.4.2 Rede Indicativa

No ano de 2021, a Câmara de Lisboa lançou o concurso Público para “Fornecimento de Dados para a Monitorização de Parâmetros Ambientais da Cidade Lisboa” (Concurso Público 18/CPI/DA/DCP/20), com o objetivo de complementar a informação recolhida pelas estações fixas de monitorização da qualidade do ar da APA/CCDR-LVT e estações meteorológicas do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). O concurso foi ganho pelo consórcio constituído pelas empresas Monitar, Lda, MEO – Serviços de Comunicações e Multimédia, S.A. e QART - Soluções de Monitorização e Mapeamento Urbano Ambiental, Lda.

A rede contratada integra estações portáteis, distribuídas por 80 locais que monitorizam parâmetros de qualidade do ar, parâmetros meteorológicos e ruído (*vide* Figura 4). De acordo com a página oficial da Câmara de Lisboa, através desta monitorização, tem sido possível reforçar o diagnóstico da cidade em termos ambientais, mapear zonas prioritárias de intervenção, investir na componente de informação pública

e incentivar a adoção de comportamentos e medidas mais adequadas para mitigar os efeitos negativos de potenciais episódios de poluição atmosférica e de eventos meteorológicos extremos.



Figura 4 - Localização das estações de monitorização de parâmetros ambientais da rede de sensores da Câmara Municipal de Lisboa (Portal Lisboa Aberta).

## **5 Avaliação da Qualidade do Ar em Lisboa**

A CCDR LVT, enquanto responsável pela Rede de Referência, elabora um relatório anual de avaliação da qualidade do ar em toda a região. No relatório anual, consta uma análise das concentrações dos diversos poluentes atmosféricos ao longo do ano em análise, a conformidade legal dos valores medidos e ainda uma perspetiva temporal da evolução das concentrações dos diferentes poluentes.

### **5.1 Análise da Qualidade do Ar com dados da Rede de Referência**

Nos pontos seguintes é apresentado um resumo dos resultados, obtidos nas estações localizadas na cidade de Lisboa, apresentados no relatório relativo ao ano de 2022 (CCDR LVT, 2023a) e complementado com análise suplementar.

#### **5.1.1 PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>**

Estima-se que sector dos transportes rodoviários contribua em cerca de 83% para a concentração PM, destacando-se ainda os sectores do transporte aéreo (4%) e marítimo (10%). Os eventos naturais de intrusão de massas de ar transportando partículas em suspensão, com origem nos desertos do Norte de África, são também uma fonte natural importante de partículas. Em Portugal este fenómeno ocorre com alguma frequência (CCDR LVT, 2023a).

O ciclo diário das PM<sub>10</sub> caracteriza-se pela ocorrência de dois períodos de concentrações mais elevadas, coincidentes com as horas de maior intensidade de tráfego automóvel, conforme mostra o Gráfico 1.

Mesmo não efetuando a dedução da contribuição de eventos naturais, verificou-se o cumprimento dos valores limite legislados para as PM<sub>10</sub> em todas as estações da RMQA LVT. No entanto, a CCDR LVT destaca que, em 2022, a contribuição de partículas com origem natural nas regiões áridas do Norte de África, para as concentrações observadas no território nacional, foi a mais elevada, quer em número de dias de ocorrência quer em intensidade, considerando os episódios ocorridos desde 2009, sobretudo durante o mês de março, como mostra o Gráfico 2.

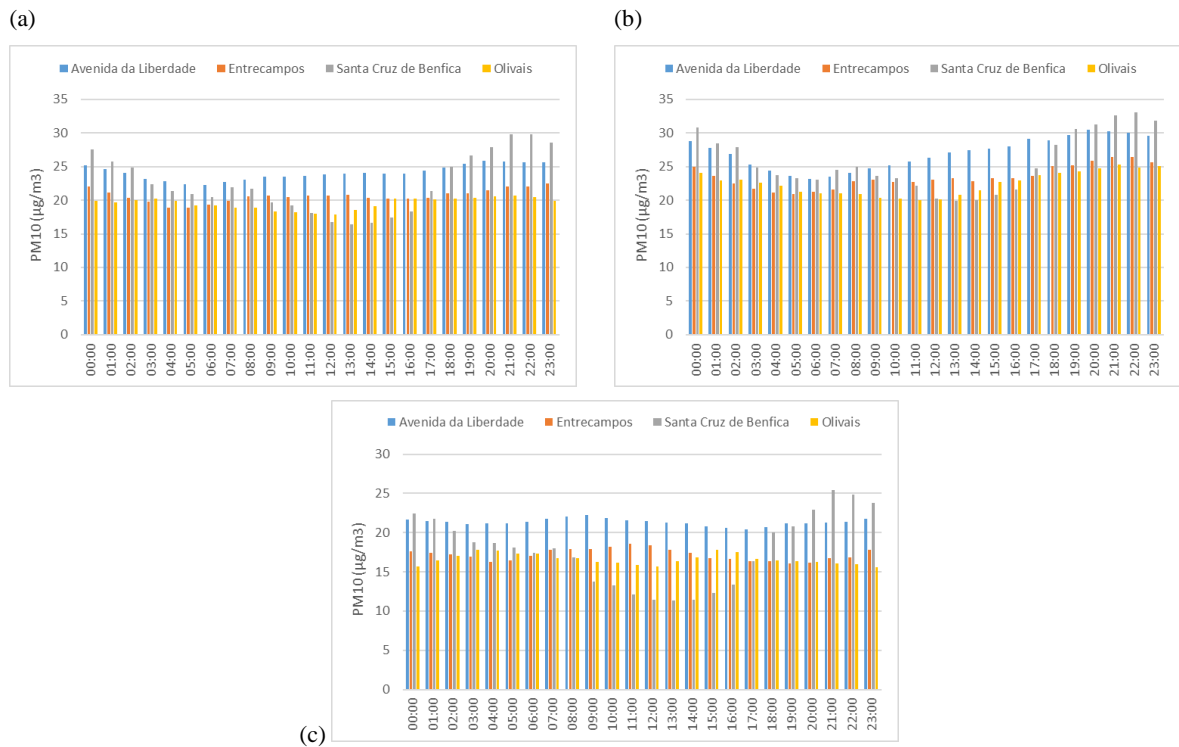


Gráfico 1 - Variação média horária da concentração de PM<sub>10</sub> nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão.

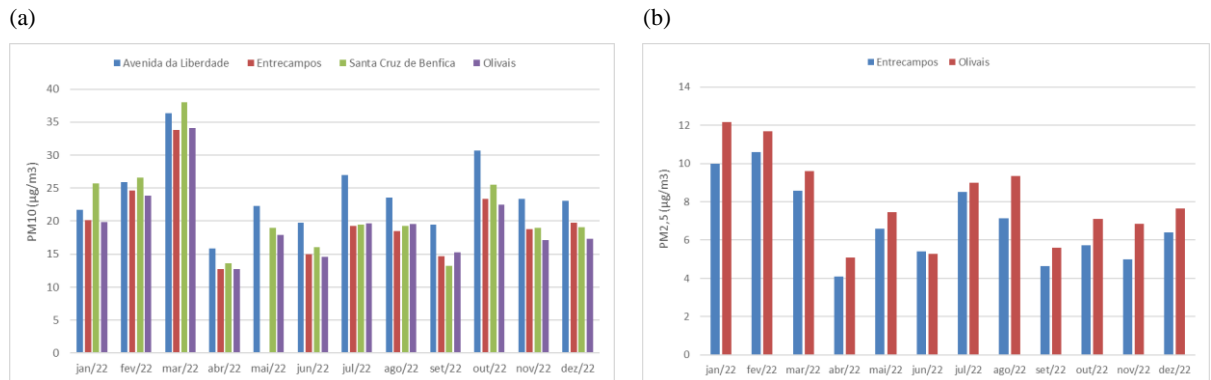


Gráfico 2 - Variação média mensal dos poluentes (a) PM<sub>10</sub> e (b) PM<sub>2,5</sub> ao longo do ano 2022.

Descontando a contribuição dos eventos naturais para a concentração de PM<sub>10</sub>, verifica-se uma tendência de redução das concentrações ao longo dos anos. Para as estações localizadas em Lisboa, as concentrações mais elevadas deste poluente têm sido registadas na estação de tráfego da Avenida da Liberdade.

A Tabela 23 resume os dados recolhidos nas estações de Lisboa, para o poluente PM<sub>10</sub>, no ano de 2022.

Tabela 23 - Resumo da conformidade legal da concentração de PM<sub>10</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).

	Máximo diário	Máximo horário	Excedências ao VLA (40µg/m <sup>3</sup> )		<sup>1</sup> Excedências ao VLH (50µg/m <sup>3</sup> )	
			Sem dedução de eventos naturais	Com dedução de eventos naturais	Sem dedução de eventos naturais	Com dedução de eventos naturais
			<b>Beato</b>	-	-	-
<b>Olivais</b>	201	511	19	15	7	0
<b>Restelo</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Avenida da Liberdade</b>	179	477	24	19	10	1
<b>Entrecampos</b>	197	514	20	15	7	1
<b>Santa Cruz de Benfica</b>	225	411	22	17	9	0

<sup>1</sup>Permitidas 35 excedências no ano;  
■ Cumprimento do valor legal  
■ Incumprimento do valor legal

A Tabela 24 resume os dados recolhidos nas estações de Lisboa, para o poluente PM<sub>2,5</sub>, descontando a contribuição dos eventos naturais, no ano de 2022.

Tabela 24 - Resumo da conformidade legal da concentração de PM<sub>2,5</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).

	Máximo diário	Máximo horário	Excedências ao VLA (25µg/m <sup>3</sup> )
<b>Beato</b>	-	-	-
<b>Olivais</b>	41	68	8
<b>Restelo</b>	-	-	-
<b>Avenida da Liberdade</b>	-	-	-
<b>Entrecampos</b>	38	65	7
<b>Santa Cruz de Benfica</b>	-	-	-

■ Cumprimento do valor legal  
■ Incumprimento do valor legal

### 5.1.2 NO<sub>2</sub>

De acordo com o relatório de 2022 (CCDR LVT, 2023a), no concelho de Lisboa, o transporte rodoviário constitui a principal fonte de NO<sub>2</sub> (68%). Destaca-se também o peso do transporte aéreo (17%) e do transporte marítimo (12%).

Em meio urbano, a concentração de NO<sub>2</sub> apresenta dois picos diários, coincidentes com as horas de maior tráfego rodoviário, como se observa no Gráfico 3 onde é apresentada a variação da concentração de NO<sub>2</sub> ao longo do dia na RLVT. Além disso, como mostra o Gráfico 4, a concentração de NO<sub>2</sub> é tendencialmente mais elevada no período de Outono/Inverno, não só devido às condições de estabilidade atmosférica que se verificam neste período, como também ao acréscimo de radiação solar que ocorre durante o período de Primavera/Verão, que conduz à fotodissociação deste poluente.

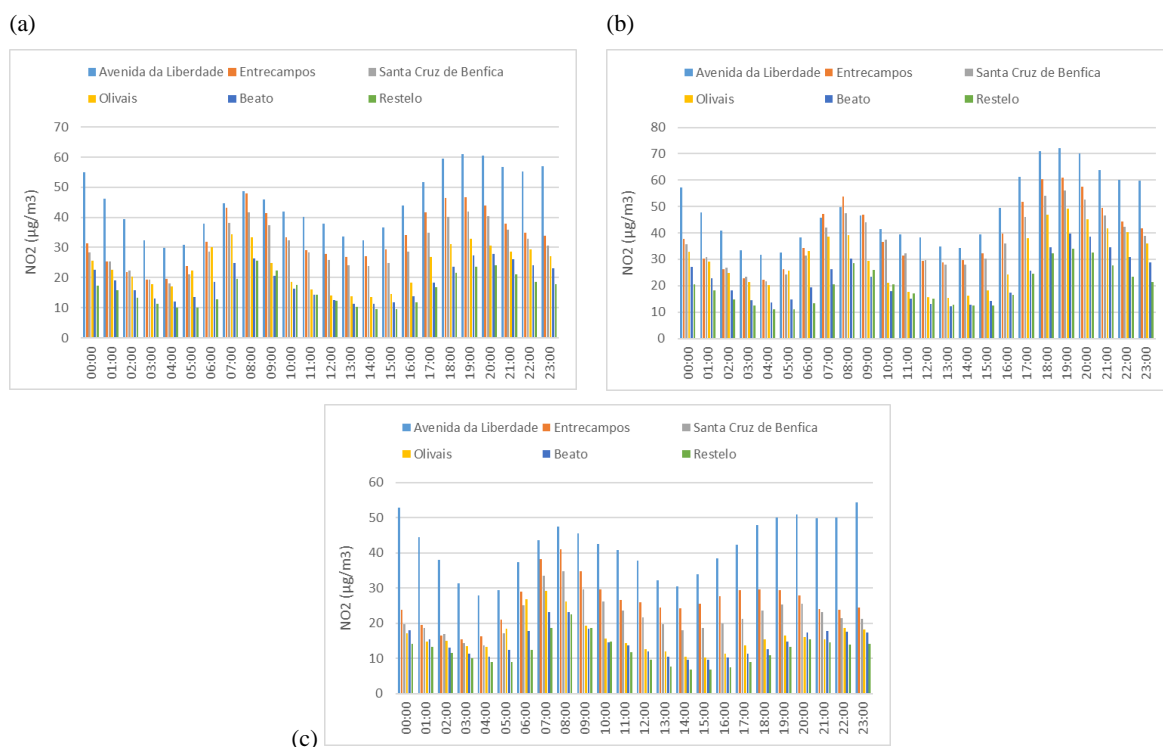


Gráfico 3 - Variação média horária da concentração de NO<sub>2</sub> nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão.

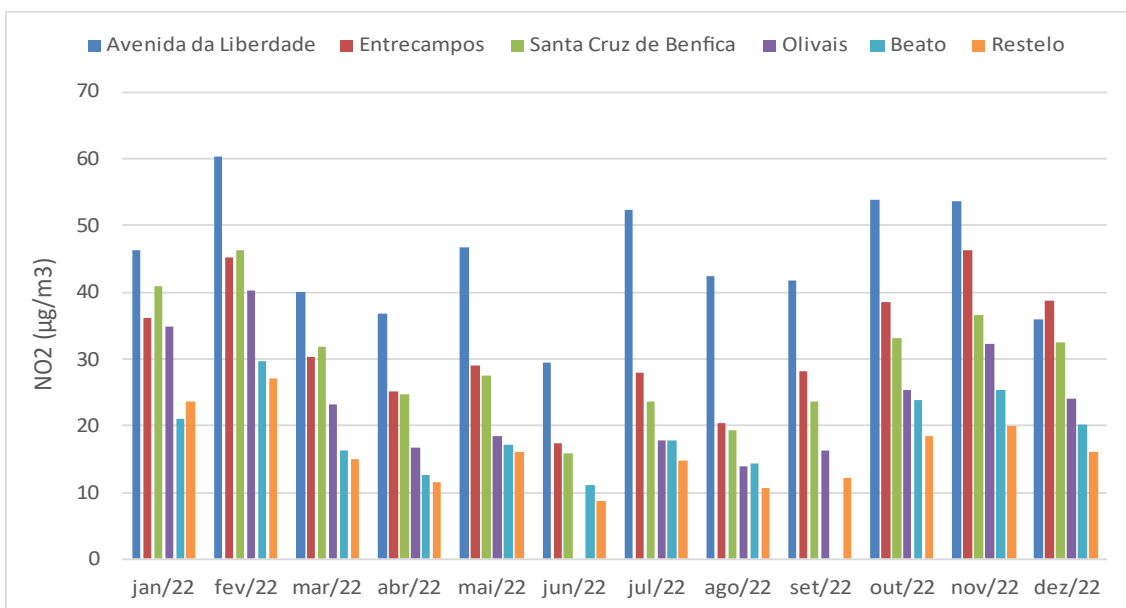


Gráfico 4 - Variação média mensal do poluente NO<sub>2</sub> ao longo do ano 2022.

No ano de 2022, verificou-se o incumprimento do valor limite anual (VLA) (40µg/m<sup>3</sup>) deste poluente na estação da Avenida da Liberdade. Também nesta estação foram registadas as únicas duas horas cuja média horária de NO<sub>2</sub> foi superior ao valor limite horário (VLH) a 200 µg/m<sup>3</sup>. No entanto, o valor limite horário foi cumprido pois não foram verificadas mais do que as 18 excedências permitidas. A Tabela 25 resume os dados recolhidos nas estações de Lisboa, para o poluente NO<sub>2</sub>, no ano de 2022.

Tabela 25 - Resumo da conformidade legal da concentração de NO<sub>2</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).

	Máximo diário	Máximo horário	Média Anual (µg/m <sup>3</sup> )	<sup>1</sup> Excedências ao VLH (200µg/m <sup>3</sup> )	Limiar de alerta (400µg/m <sup>3</sup> em 3h consecutivas)
<b>Beato</b>	123	57	19	0	0
<b>Olivais</b>	146	68	23	0	0
<b>Restelo</b>	103	51	16	0	0
<b>Avenida da Liberdade</b>	243	118	45	2	0
<b>Entrecampos</b>	168	83	32	0	0
<b>Santa Cruz de Benfica</b>	125	71	30	0	0

<sup>1</sup>Permitidas 18 excedências no ano;

Cumprimento do valor legal

Incumprimento do valor legal (40µg/m<sup>3</sup>)

### 5.1.3 CO

O tráfego rodoviário é a principal fonte das emissões de CO (83%) Assim, a variação diária das concentrações deste poluente apresenta dois picos coincidentes com os períodos de maior tráfego, como mostra o Gráfico 5. O Gráfico 6 mostra a variação média mensal deste poluente.

No período entre 2001 e 2022 nunca foi ultrapassado o valor limite legislado para o CO (10 mg/m<sup>3</sup>). Durante a primeira década, observou-se uma clara tendência de redução das concentrações deste poluente nas estações da RMQA LVT, sobretudo relacionada com o melhor desempenho dos motores de combustão interna dos veículos automóveis.

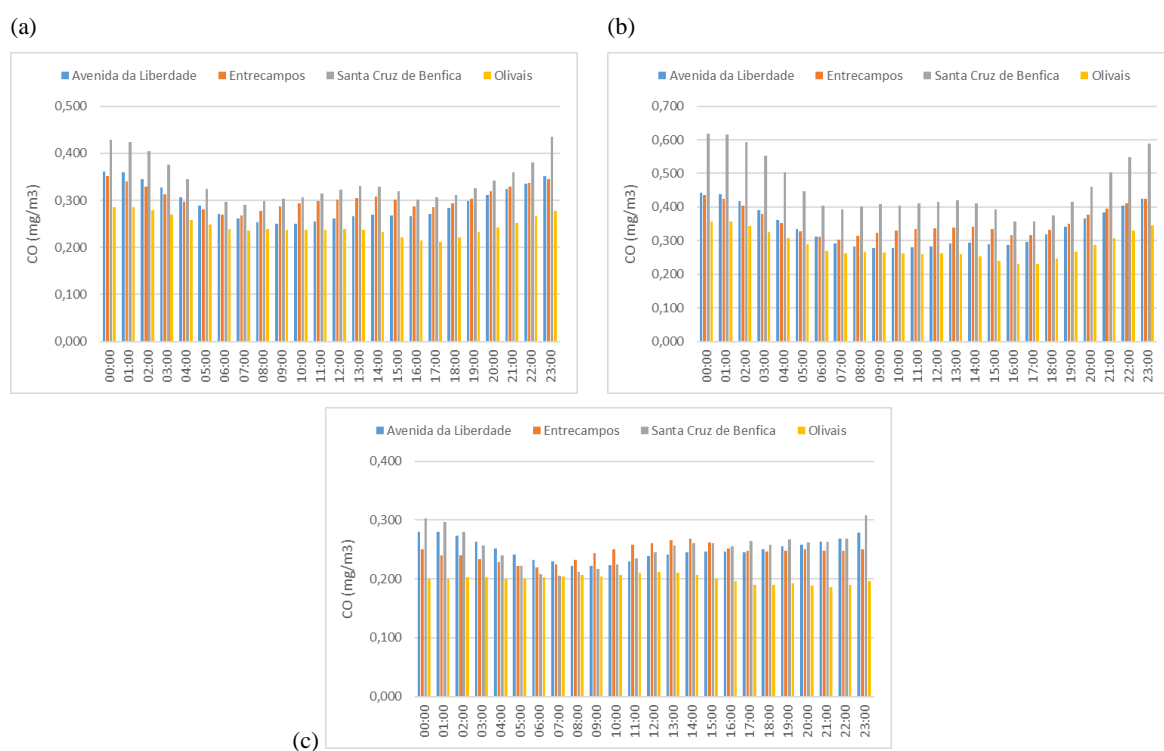


Gráfico 5 - Variação média horária da concentração de CO nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão.

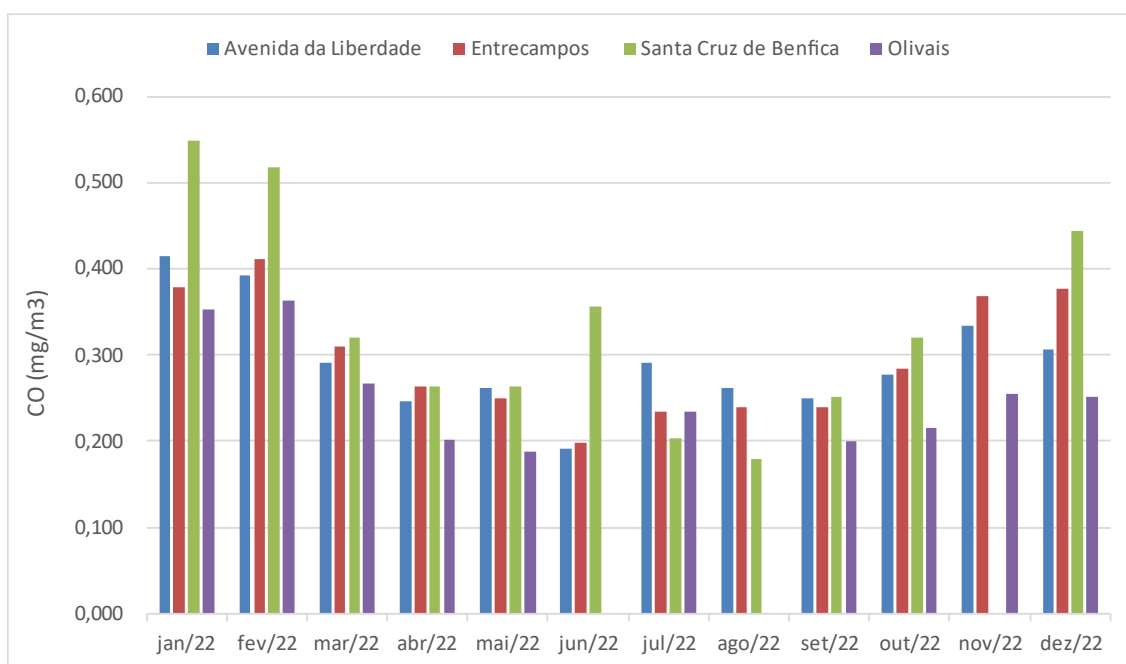


Gráfico 6 - Variação média mensal do poluente CO ao longo do ano 2022.

A Tabela 26 resume os dados recolhidos nas estações de Lisboa, para o poluente CO, no ano de 2022.

Tabela 26 - Resumo da conformidade legal da concentração de CO no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).

	Máximo horário	Média Anual (Base Octo-horária)	Excedências ao Valor Limite (10 mg/m³)
<b>Beato</b>	-	-	-
<sup>1</sup> Olivais	1,71	0,25	1,18
<b>Restelo</b>	-	-	-
<b>Avenida da Liberdade</b>	1,67	0,29	1,36
<b>Entrecampos</b>	3,75	0,30	1,54
<sup>1</sup> Santa Cruz de Benfica	2,51	0,32	1,97

<sup>1</sup>Eficiência de recolha de dados válidos inferior a 85%, pelo que não se avalia o cumprimento do Valor Limite.

■ Cumprimento do valor legal

■ Incumprimento do valor legal

### 5.1.4 O<sub>3</sub>

A concentração de O<sub>3</sub> ao longo do dia varia de acordo com a intensidade de radiação solar e do tráfego. Assim, as concentrações deste poluente começam a aumentar logo após o período de maior intensidade de tráfego e à medida que a radiação solar aumenta, atingindo-se os valores máximos nas primeiras horas da tarde, quando a radiação solar é mais intensa e as condições de mistura mais eficientes. Este comportamento é evidenciado no Gráfico 7.



Gráfico 7 - Variação média horária da concentração de O<sub>3</sub> nas estações da CCDR LVT, (a) ao longo do ano 2022, (b) durante o período Outono/Inverno e (c) durante o período de Primavera/Verão.

Devido às condições climatológicas extremas que caracterizaram o ano 2022, o objetivo de longo prazo para proteção da saúde humana foi ultrapassado em todas as estações da RMQA LVT. Durante o mês de julho, observaram-se as concentrações médias horárias e octo-horárias mais elevadas deste poluente. A variação média mensal de O<sub>3</sub> ao longo do ano 2022 figura do Gráfico 8.

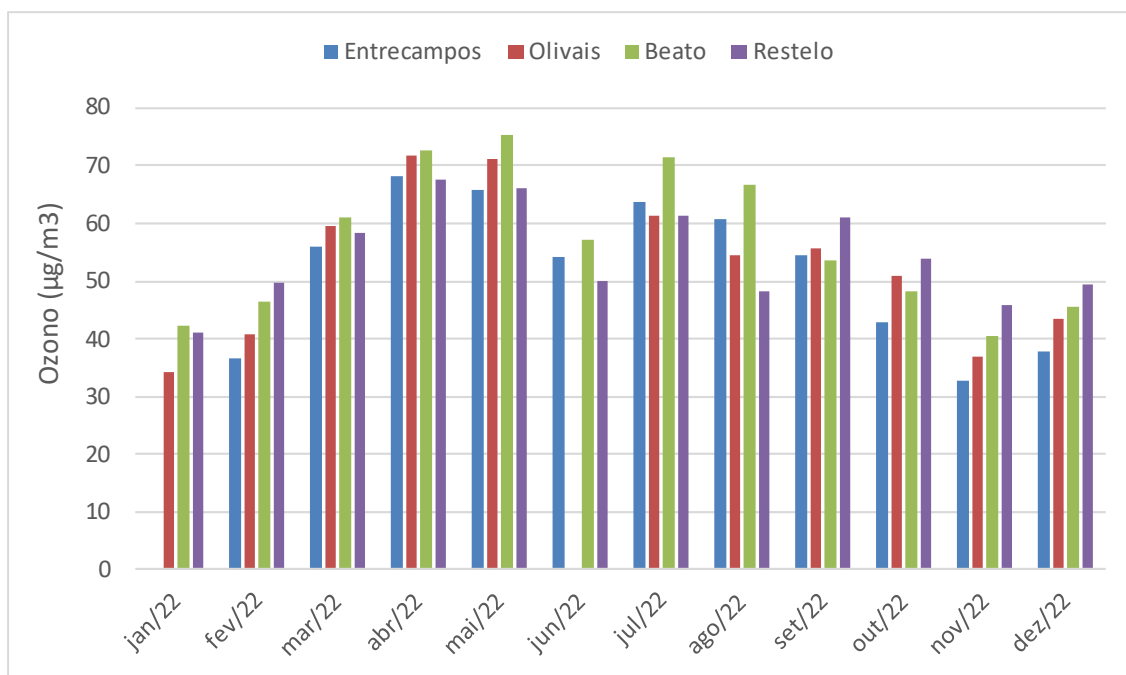


Gráfico 8 - Variação média mensal do poluente O<sub>3</sub> ao longo do ano 2022.

A Tabela 27 resume os dados recolhidos nas estações de Lisboa, para o poluente O<sub>3</sub>, no ano de 2022.

Tabela 27 - Resumo da conformidade legal da concentração de O<sub>3</sub> no ano 2022. Adaptado de CCDR LVT (2023a).

	Máximo anual	Máximo horário	Máximo octo-horário	<sup>1</sup> Excedências ao Valor Alvo (120µg/m <sup>3</sup> )		Excedências Limiar de Informação (180µg/m <sup>3</sup> )	Limiar de alerta (240µg/m <sup>3</sup> )
				Ano 2022	Média (3 anos)		
<b>Beato</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Olivais</b>	57	176	142	4	6	0	0
<b>Restelo</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Avenida da Liberdade</b>	53	172	136	3	5	0	0
<b>Entrecampos</b>	54	184	154	4	4	1	0
<sup>2</sup> <b>Santa Cruz de Benfica</b>	51	143	125	1	2	0	0

<sup>1</sup>Permitidas 25 excedências no ano;

<sup>2</sup>Eficiência de recolha de dados válidos inferior a 85%, pelo que não se avalia o cumprimento do Valor Alvo.

■ Cumprimento do valor legal

■ Incumprimento do valor legal

## 5.2 Estudos Prévios acerca da Qualidade do Ar em Lisboa

Para além dos estudos realizados pela CCDR LVT, enquanto responsável pela Rede de Referência, ao longo dos anos, foram realizados vários estudos de caracterização da qualidade do ar em Lisboa.

Ao longo dos anos, foram realizados vários estudos com o objetivo de caracterizar a qualidade do ar em Lisboa.

Ferreira et al. (2000) caracterizaram a qualidade do ar na cidade de Lisboa utilizando dados recolhidos pelas estações de qualidade do ar entre janeiro de 1996 e março de 1997. Os autores identificaram o tráfego rodoviário como principal fonte de  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$ .

Alves et al. (2010) concluíram que os níveis de poluição atmosférica em Lisboa eram passíveis de provocar efeitos nefastos na saúde humana. Os principais poluentes provenientes do tráfego rodoviário, o  $\text{NO}_2$  e  $\text{CO}$ , foram associados a um incremento do risco de doenças circulatorias e cardíacas, para todos os grupos etários estudados, sugerindo a necessidade de diminuir os valores limite estabelecidos, por forma a evitar efeitos adversos na saúde da população.

Rodrigues (2013) efetuou uma análise da qualidade do ar para um período de 10 anos (2001-2010) para os poluentes  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{CO}$ . As estações de monitorização escolhidas para esta caracterização foram as localizadas na Avenida da Liberdade, Entrecampos, Olivais e Restelo, pertencentes à rede de monitorização da qualidade do ar de Lisboa e Vale do Tejo. A autora identificou concluiu que as elevadas concentrações observadas na Avenida da Liberdade se devem às emissões associadas ao tráfego rodoviário intenso e aos edifícios altos e estreitos que a ladeiam. Rodrigues (2013) efetuou ainda uma análise do padrão de concentrações médias dos poluentes ao longo das semanas, identificando uma tendência de aumento das concentrações nos dias de semana, em comparação com os valores mais eduzidos registados nos dias de fim de semana, evidenciando a forte relação entre o tráfego rodoviário, mais intenso nos dias úteis, com a concentração dos poluentes em avaliação. Esta evidência é também suportada pela identificação das estações que registaram médias anuais de concentração de poluentes mais elevada, sendo estes a Avenida da Liberdade e Entrecampos, ambas estações urbanas de tráfego. Por fim, Rodrigues (2013) concluiu que as concentrações registadas nos meses de inverno foram mais elevadas, devido ao facto de as condições meteorológicas deste período dificultarem a dispersão dos poluentes, que no caso do  $\text{NO}_2$ ,

NO<sub>x</sub> e CO, a sua concentração foi mais reduzida no Verão devido ao aumento de radiação solar e ao maior consumo por via fotoquímica.

À semelhança do trabalho desenvolvido por Ferreira et al. (2000) e Rodrigues (2013), também Monjardino et al. (2018) identificaram o tráfego como principal fonte de poluição na cidade de Lisboa, salientando a existência de um pico de concentração, mais marcado para o NO<sub>2</sub>, durante as horas de ponta. De acordo com os autores, o tráfego rodoviário é responsável por 60% das excedências de NO<sub>2</sub> e 43% das excedências de PM<sub>10</sub> registadas.

Vários trabalhos referem a implementação das Zonas de Emissão Reduzida (ZER) em 2012 como uma importante medida para redução dos poluentes cuja principal fonte é o tráfego (Monjardino et al., 2018; Rodrigues, 2013). Monjardino et al. (2018) refere que foram observadas melhorias da qualidade do ar na região em estudo após implementação das Zonas ZER, no entanto, salienta que persistem excedências aos limites estabelecidos para os poluentes PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>.

Complementarmente aos resultados das estações da Rede de Monitorização da Qualidade do Ar, para o NO<sub>2</sub>, a Câmara Municipal de Lisboa, com a colaboração da CCDR LVT, realizou duas campanhas de amostragem, recorrendo ao método de amostragem por difusão passiva. As campanhas ocorreram entre 7 e 14 de novembro de 2020 e entre 14 e 21 de novembro de 2020 (CML & CCDR LVT, 2021).

A campanha incluiu 110 locais de medição, distribuído por todo o território do Município de Lisboa. Seis destes locais coincidiram com a localização de estações de monitorização da qualidade do ar da Rede de Referência, de modo a garantir a qualidade dos resultados obtidos.

Verificou-se que os valores mais elevados se registaram junto a vias com maior volume de tráfego, nomeadamente na Avenida Almirante Reis, Avenida da Liberdade, Avenida das Forças Armadas, Avenida de Berna e na zona envolvente à Segunda Circular, em especial na zona de Benfica e Olivais.

Miguéis (2022) procurou avaliar o desempenho da Rede de Medição Indicativa da Cidade de Lisboa. A análise foi realizada por comparação com as estações de Rede de Medições Fixas. Concluiu que as estações da Rede de Medição Indicativa com melhor desempenho foram os situados em Entrecampos, Olivais e Avenida da Liberdade, e com desempenho inferior os localizados em Santa Cruz de Benfica e Restelo. Segundo a autora não foi possível verificar nenhuma relação entre as influências predominantes das estações (tráfego e fundo) e o desempenho das estações da Rede de Medição Indicativa, nem entre as empresas fornecedoras dos sensores e o respetivo desempenho. A autora

conclui que apesar de o projeto da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML ser muito relevante para o aumento da cobertura espacial dos dados de qualidade do ar e complemento da Rede de Referência, a qualidade dos sensores instalados não possibilita que estes sejam utilizados para o fim pretendido.

### **5.3 Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML**

Análise da qualidade do ar da cidade de Lisboa realizada com dados da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, neste estudo, foi realizada com dados de 40 estações e é apresentada no ponto 5.4.

Das 40 estações utilizadas, quatro situam-se junto a estações da Rede de Referência da APA/CCDR LVT, nomeadamente as estações localizadas na Avenida da Liberdade (ID20), Entrecampos (ID46), Santa Cruz de Benfica (ID75) e Olivais (ID79). Assim, é possível avaliar o desempenho das estações portáteis que constituem a Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML através da comparação direta dos valores medidos por estas quatro estações portáteis com os valores medidos pelas estações de referência situadas nos mesmos locais.

Os dados das estações portáteis que constituem a Rede Indicativa, utilizados nesta análise, foram os disponibilizados na Plataforma Aberta da CML sem eliminação de dados espúrios.

#### **5.3.1 Avaliação do desempenho**

Para cada mês do ano 2022 e para cada poluente em análise, as concentrações registadas pelas quatro estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML foram comparadas com as concentrações medidas pelas estações da Rede de Referência próximas, de forma a determinar o coeficiente de determinação e a reta de regressão que melhor descreve a relação entre os diferentes conjuntos de medições.

Embora a análise da correlação seja importante a mesma não permite avaliar o desempenho das estações no que respeita ao cumprimento do objetivo de incerteza máxima definida no RJGAQAR para medições indicativas. Assim, é também realizada a análise comparativa considerando a incerteza máxima de medição para medições fixas, para as estações de referência, e a incerteza máxima de medição para medições indicativas para as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML. Para tal, foram estabelecidos três intervalos de análise.

O primeiro intervalo de análise, designado daqui em diante como “Intervalo 1”, inclui todos os valores medidos pela estação da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML que estão contidos no intervalo definido pelos valores medidos na estação de referência acrescidos ou reduzidos da percentagem do objetivo de incerteza máxima para medições fixas, no mesmo dia, hora e local. Este intervalo considera apenas a incerteza máxima de medição associada à estação de referência.

O segundo intervalo de análise, designado daqui em diante como “Intervalo 2”, inclui todos os valores medidos pela estação de referência que estão contidos no intervalo definido pelos valores medidos da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML acrescidos ou reduzidos da percentagem do objetivo de incerteza máxima para medições indicativas, no mesmo dia, hora e local. Este intervalo considera apenas a incerteza máxima de medição associada às medições indicativas.

O terceiro intervalo de análise, designado daqui em diante como “Intervalo 3”, inclui o conjunto dos valores medidos pela estação da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, acrescidos ou diminuídos da incerteza máxima para medições indicativas que estão contidos no intervalo definido pelos valores medidos na estação de referência acrescidos ou reduzidos da incerteza máxima para medições fixas, no mesmo dia, hora e local. Este intervalo considera simultaneamente a o valor de incerteza máxima permitido para medições fixas e o valor de incerteza máxima para medições indicativas, uma vez que é importante considerar que tanto o equipamento de referência como o equipamento da rede indicativa possuem uma incerteza de medição.

#### 5.3.1.1 *PM<sub>10</sub>*

##### 5.3.1.1.1 *Análise de correlação linear*

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), o declive (m) e a interseção (b) da reta de regressão obtidos para o poluente  $PM_{10}$  com base nos dados diários constam da Tabela 28. A Tabela 29 apresenta a eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, para o poluente  $PM_{10}$ , com base nos dados diários.

Tabela 28 - Coeficiente de determinação e reta de regressão que melhor descreve a relação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente  $PM_{10}$ , considerando médias diárias.

	Avenida da Liberdade			Entrecampos			Benfica			Olivais		
	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b
<b>Janeiro</b>	0,77	0,93	2,45	0,29	0,70	-9,20	0,77	0,79	-2,23	0,82	0,76	1,41
<b>Fevereiro</b>	0,81	0,62	0,36	0,91	0,78	4,17	0,92	0,59	2,77	0,78	0,73	0,25
<b>Março</b>	0,89	0,46	5,63	0,91	0,44	8,24	0,94	0,28	8,07	0,89	0,42	6,50
<b>Abril</b>	0,63	0,43	3,56	0,46	0,28	4,16	0,49	0,49	2,92	0,67	0,68	1,27
<b>Mai</b>	0,72	0,54	2,73	0,47	0,24	3,66	0,77	0,66	3,94	0,68	0,63	1,32
<b>Junho</b>	0,82	1,37	-4,30	0,77	0,82	-1,13	0,94	1,26	2,00	0,93	0,84	1,75
<b>Julho</b>	0,63	0,58	5,87	0,16	0,33	7,79	0,02	0,12	14,9	0,43	0,85	7,85
<b>Agosto</b>	0,70	1,48	-8,49	0,60	1,31	-10,1	0,68	1,04	-8,40	0,61	1,86	-7,36
<b>Setembro</b>	0,80	0,90	0,58	0,70	0,89	-1,35	0,90	0,24	1,12	0,31	1,70	-0,80
<b>Outubro</b>	0,74	0,57	9,19	0,59	0,36	4,72	0,62	0,32	6,37	0,56	0,66	10,49
<b>Novembro</b>	0,69	0,83	3,96	0,55	0,54	0,70	0,07	0,19	7,44	0,40	0,88	4,30
<b>Dezembro</b>	0,79	1,07	4,18	0,62	0,59	2,77	0,25	0,58	4,30	0,40	1,48	-4,58
<b>Média Anual</b>	0,75			0,59			0,61			0,62		

Tabela 29 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente PM<sub>10</sub>, considerando médias diárias.

	Eficiência (%)			
	Avenida da Liberdade (ID20)	Entrecampos (ID46)	Santa Cruz de Benfica (ID75)	Olivais (ID79)
<b>Janeiro</b>	100	100	42	100
<b>Fevereiro</b>	100	100	100	100
<b>Março</b>	100	100	100	100
<b>Abril</b>	100	100	100	100
<b>Mai</b>	100	100	100	100
<b>Junho</b>	33	93	87	20
<b>Julho</b>	71	87	71	68
<b>Agosto</b>	100	100	100	100
<b>Setembro</b>	100	100	100	97
<b>Outubro</b>	100	100	100	94
<b>Novembro</b>	97	97	40	97
<b>Dezembro</b>	97	74	58	97
<b>Média Anual</b>	92	96	83	89

Os resultados de coeficiente de determinação anual R<sup>2</sup> demonstram um bom desempenho das estações na determinação de PM<sub>10</sub> tendo em consideração que a análise considera todos os dados disponibilizados incluindo os espúrios. Todas as estações apresentaram meses com um R<sup>2</sup> superior a 0,89. Verificou-se, no entanto, uma variação

temporal do desempenho das mesmas. A estação da Avenida da Liberdade (ID20) foi a que demonstrou um melhor desempenho com um  $R^2$  médio de 0,75 e um desvio padrão do  $R^2$  de 0,08. A estação de Entrecampos (ID46) apresentou valores de  $R^2$  reduzidos nos meses de janeiro e julho e um desempenho muito bom nos meses de fevereiro e março. Também a estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) apresentou meses cujo desempenho foi mau afetando o desempenho anual, designadamente os meses de julho, novembro e dezembro.

A análise do declive e da interceção permitem também verificar uma grande variabilidade na resposta ao longo do tempo. Verificaram-se períodos em que uma dada estação deu um resultado muito satisfatório e outras situações em que o desempenho foi insatisfatório. No Gráfico 9 é apresentado um dos resultados mais satisfatórios, observado no mês de setembro na estação da Avenida da Liberdade (ID20), e um dos menos satisfatórios, observado no mês de julho na estação de Santa Cruz de Benfica (ID75). Como se pode verificar o mau desempenho da estação de Santa Cruz de Benfica no mês de julho deve-se apenas a 3 dados espúrios.

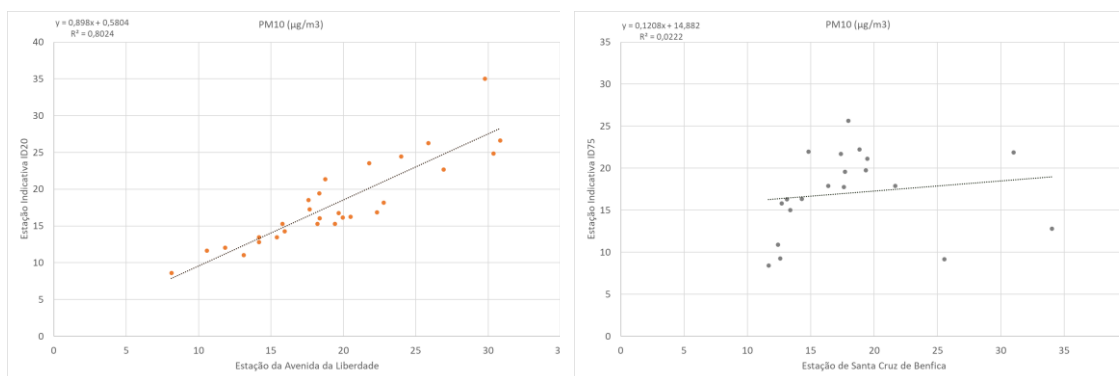


Gráfico 9 – O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de setembro na estação da Avenida da Liberdade. O gráfico da direita apresenta dados do mês de julho na estação de Santa Cruz de Benfica.

O facto de o desempenho das estações possibilitar uma resposta muito satisfatória relativamente ao parâmetro  $PM_{10}$  indica que o problema do desempenho não está na tecnologia da estação, mas sim nas ações de manutenção, ajuste e calibração das mesmas. Verifica-se também a necessidade de os dados disponibilizados no Portal da CM de Lisboa serem validados e disponibilizados após essa mesma validação de forma a serem eliminados os dados espúrios.

No que toca à eficiência, as estações localizadas na Avenida da Liberdade (ID20) e em Entrecampos (ID46) cumprem os objetivos de qualidade dos dados no que toca à taxa

mínima de recolha (90%). A estação dos Olivais (ID79) falha este critério por apenas 1%, enquanto a estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) falha o critério por 7%.

### 5.3.1.1.2 Análise do objetivo de incerteza máxima

Na Tabela 30 é apresentada a percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos.

Tabela 30 - Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores de PM<sub>10</sub> (base diária) medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.

<b>Avenida da Liberdade</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	80,8	12,5	29,1	33,3	26,7	77,8	62,5	71,0	100	67,7	93,3	56,7	<b>59,5</b>
<b>Intervalo 2</b>	92,3	41,8	54,8	46,7	60,0	100	83,3	96,8	100	93,6	100	100	<b>81,0</b>
<b>Intervalo 3</b>	100	87,5	96,8	90,0	93,3	100	95,8	100	100	100	100	100	<b>97,0</b>
<b>Entrecampos</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	58,6	72,0	74,2	46,4	10,3	60,0	75,0	58,1	76,7	36,7	26,7	60,0	<b>54,4</b>
<b>Intervalo 2</b>	100	96,0	87,1	67,9	17,2	96,0	89,3	96,8	100	63,3	73,3	80,0	<b>80,4</b>
<b>Intervalo 3</b>	100	100	96,8	96,4	51,7	100	100	100	100	83,3	93,3	100	<b>93,4</b>
<b>Santa Cruz de Benfica</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	58,3	29,2	25,0	27,6	70,4	100	65,0	64,5	30,8	19,4	15,4	50,0	<b>46,5</b>
<b>Intervalo 2</b>	75,0	62,5	42,9	48,3	100	100	90,0	96,8	69,2	32,3	30,8	68,8	<b>68,2</b>
<b>Intervalo 3</b>	100	100	82,1	100	100	100	90	100	100	67,9	76,9	93,8	<b>92,5</b>
<b>Olivais</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	79,3	42,9	32,3	56,7	45,2	16,7	40,0	32,3	41,4	50,0	69,0	56,7	<b>46,9</b>
<b>Intervalo 2</b>	93,1	71,4	64,5	86,7	67,7	100	93,3	87,1	72,4	96,4	96,6	93,3	<b>85,3</b>
<b>Intervalo 3</b>	96,6	100	96,8	100	93,6	100	100	96,8	89,7	100	100	96,7	<b>97,5</b>

Os valores diários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,25 a 0,75 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 50%. Salienta-se que o objetivo de incerteza máxima de 25% destina-se a medições fixas. Ou seja, este resultado demonstra que em 50% do tempo as estações tiveram um desempenho na medição de PM<sub>10</sub> equiparado a exigido para um equipamento que integre uma estação fixa.

Os valores diários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,5 a 0,5 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 80% do tempo de funcionamento das estações. Verificando-se assim um bom desempenho das estações no que diz respeito à exigência para medições indicativas. Se nesta análise for considerado que o valor de referência pode ter uma resposta entre 0,75 a 1,25 do valor verdadeiro então a resposta das estações indicativas encontra-se com um desempenho superior a 90% de valores a cumprir a exigência para medições indicativas.

Esta análise, contrariamente à análise da correlação linear, permite eliminar a influência dos dados espúrios no desempenho da estação. A análise da correlação linear mostrou um mau desempenho da estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) no mês de julho, no entanto verifica-se que 90% dos valores se encontram dentro do intervalo de incerteza exigido para uma medição indicativa. No Gráfico 10 é apresentada a variação média diária do poluente PM<sub>10</sub> nas estações indicativa e de referência localizadas em Santa Cruz de Benfica, durante o mês de julho. As barras de erro representam o valor máximo de incerteza definido para cada tipo de medição (25% para a medição fixa e 50% para a medição indicativa).

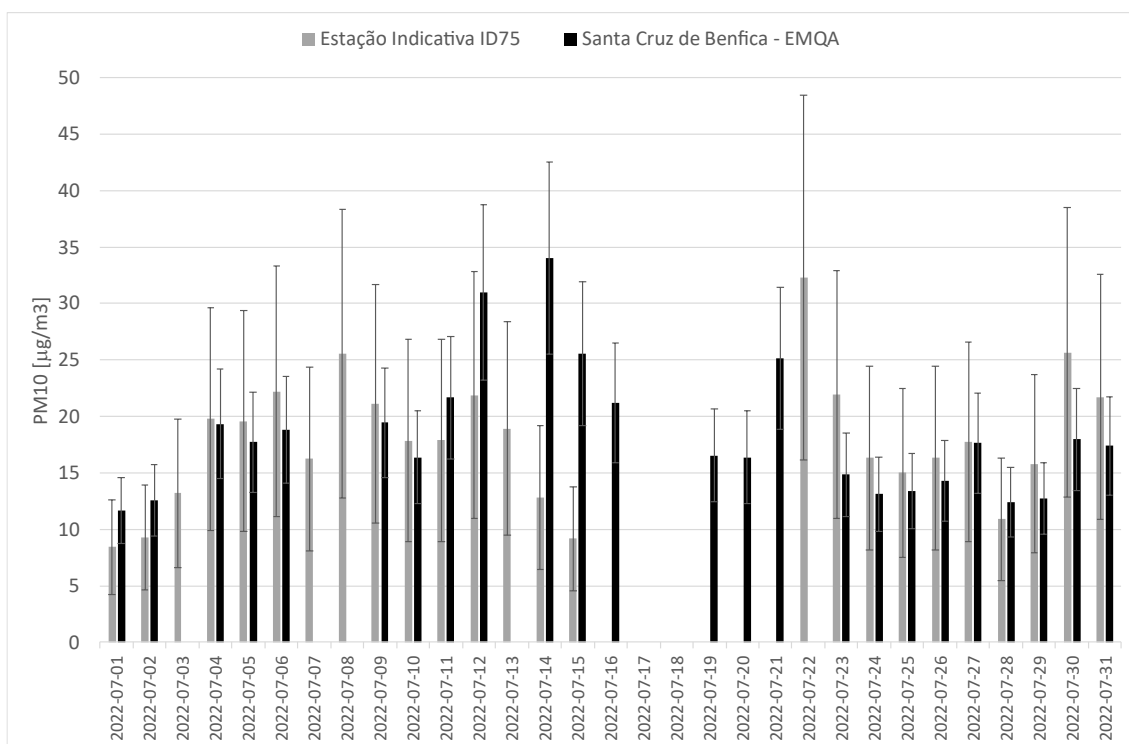


Gráfico 10 - Variação média diária do poluente PM<sub>10</sub> nas estações indicativa e de referência localizadas em Santa Cruz de Benfica, durante o mês de julho.

### 5.3.1.2 $PM_{2,5}$

A determinação de  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  é efetuada pelo mesmo sensor ótico. Assim sendo os resultados da determinação destes dois parâmetros é afetado de igual forma por problemas de funcionamento do sensor, de aspiração ou entupimento da linha de amostragem de ar.

#### 5.3.1.2.1 Análise de correlação linear

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), o declive (m) e a interseção (b) da reta de regressão obtidos para o poluente  $PM_{2,5}$  com base nos dados diários constam da Tabela 31. Salienta-se que, ainda que as estações CML ID20 - Avenida da Liberdade – Rua Manuel Jesus Coelho – EMQA e CML ID75 - Alameda Padre Álvaro Proença – EMQA efetuem a medição de  $PM_{2,5}$ , as estações da Avenida da Liberdade e Santa Cruz de Benfica da Rede de Referência não, pelo que não é possível realizar a análise de desempenho para estas estações. A Tabela 32 apresenta a eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, para o poluente  $PM_{2,5}$ , com base nos dados diários.

Tabela 31 - Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente  $PM_{2,5}$ , considerando médias diárias.

	Entrecampos			Olivais		
	$R^2$	m	b	$R^2$	m	b
<b>Janeiro</b>	0,84	1,09	0,48	0,53	0,61	3,12
<b>Fevereiro</b>	0,93	0,91	1,34	0,93	0,65	1,03
<b>Março</b>	0,91	1,26	1,09	0,90	1,06	-0,63
<b>Abril</b>	0,52	0,83	0,14	0,71	0,66	1,17
<b>Maio</b>	0,74	0,48	0,53	0,40	0,52	2,05
<b>Junho</b>	0,68	2,42	-2,77	0,16	4,01	-11,1
<b>Julho</b>	0,54	0,99	2,76	0,14	0,50	7,16
<b>Agosto</b>	0,56	1,42	4,81	0,60	1,27	2,60
<b>Setembro</b>	0,21	1,34	4,11	0,15	0,98	5,40
<b>Outubro</b>	0,52	1,12	3,74	0,58	1,18	0,77
<b>Novembro</b>	0,44	0,96	4,43	0,36	0,58	5,44
<b>Dezembro</b>	0,39	1,00	4,75	0,21	0,67	5,50
<b>Média Anual</b>	0,61			0,47		

Tabela 32 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente PM<sub>2,5</sub>, considerando médias diárias.

	Eficiência (%)	
	Entrecampos (ID46)	Olivais (ID79)
<b>Janeiro</b>	100	100
<b>Fevereiro</b>	100	100
<b>Março</b>	100	100
<b>Abril</b>	100	100
<b>Maió</b>	100	100
<b>Junho</b>	93	20
<b>Julho</b>	87	68
<b>Agosto</b>	100	100
<b>Setembro</b>	100	97
<b>Outubro</b>	100	94
<b>Novembro</b>	97	97
<b>Dezembro</b>	74	97
<b>Média Anual</b>	96	84

Os resultados de coeficiente de determinação anual  $R^2$  demonstram um bom desempenho das estações na determinação de PM<sub>2,5</sub> tendo em consideração que a análise considera todos os dados disponibilizados incluindo os espúrios. Ambas as estações apresentaram meses com um  $R^2$  superior a 0,90. Verificou-se, no entanto, uma variação temporal do desempenho das mesmas. A estação Entrecampos (ID46) foi a que demonstrou um melhor desempenho com um  $R^2$  médio de 0,61 e um desvio padrão do  $R^2$  de 0,21. A estação dos Olivais (ID79) apresentou valores de  $R^2$  reduzidos nos meses de maio, junho e setembro e um desempenho muito bom nos meses de fevereiro e março.

A análise do declive e da interceção permitem também verificar uma grande variabilidade na resposta ao longo do tempo. Assim, à semelhança do observado para o parâmetro PM<sub>10</sub>, verificaram-se períodos em que uma dada estação deu um resultado muito satisfatório e outras situações em que o desempenho foi insatisfatório. No Gráfico 11 é apresentado um dos resultados mais satisfatórios, observado no mês de fevereiro na estação de Entrecampos (ID46), e um dos menos satisfatórios, observado no mês de dezembro na estação dos Olivais (ID79).

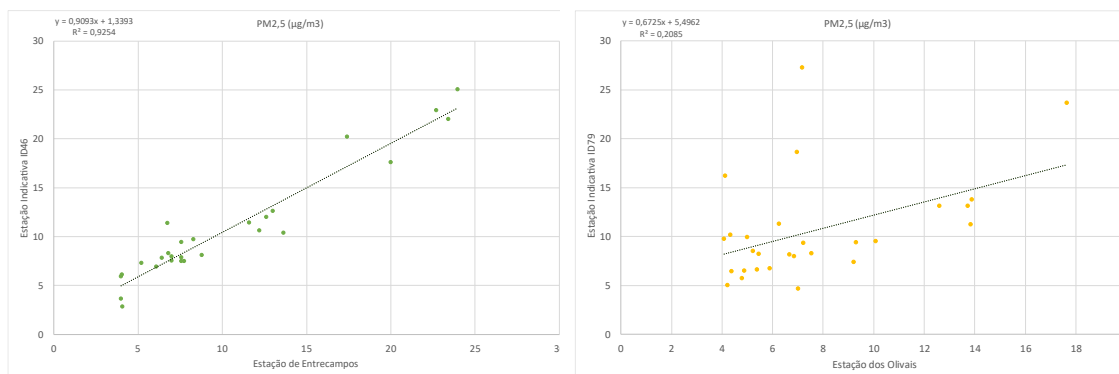


Gráfico 11 – O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de fevereiro na estação de Entrecampos. O gráfico da direita apresenta dados do mês de dezembro na estação dos Olivais.

Mais uma vez se verifica que o problema do desempenho das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML não está na tecnologia, mas sim nas ações de manutenção, ajuste e calibração das mesmas, que devem ser mais frequentes.

No que toca à eficiência, a estação localizada em Entrecampos (ID46) cumpre o objetivo de qualidade dos dados no que toca à taxa mínima de recolha (90%). A estação dos Olivais (ID79) falha este critério por apenas 6%.

### 5.3.1.2.2 Análise do objetivo de incerteza máxima

Na Tabela 33 é apresentada a percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos.

Tabela 33 – Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores de PM<sub>2,5</sub> (base diária) medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.

Entrecampos													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	70,0	81,5	35,5	62,1	3,33	33,3	40,7	6,5	6,7	20,8	20,0	8,0	<b>32,0</b>
<b>Intervalo 2</b>	100	100	93,6	82,8	20,0	59,3	88,9	38,7	36,7	58,3	46,7	72,0	<b>66,3</b>
<b>Intervalo 3</b>	100	100	100	100	66,7	89,2	96,3	64,5	76,7	79,2	73,3	80	<b>85,4</b>
Olivais													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	37,9	53,6	64,5	70,0	51,6	42,9	26,7	25,8	13,8	50,0	41,4	50,0	<b>44,0</b>
<b>Intervalo 2</b>	79,3	78,6	96,8	93,3	71,0	100	86,7	77,4	65,6	93,8	69,0	82,1	<b>82,8</b>
<b>Intervalo 3</b>	96,6	100	100	100	96,8	100	93,3	96,8	75,9	100	96,6	82,3	<b>94,8</b>

Os valores diários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,25 a 0,75 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 40%, ou seja, em 40% do tempo as estações tiveram um desempenho na medição de  $PM_{2,5}$  equiparado a exigido para um equipamento que integre uma estação fixa.

Os valores diários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,5 a 0,5 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 80% na estação do Olivais (ID79) e 66% na estação de Entrecampos (ID46). Verifica-se assim um bom desempenho das estações no que diz respeito à exigência para medições indicativas. Se nesta análise for considerado que o valor de referência pode ter uma resposta entre 0,75 a 1,25 do valor verdadeiro então a resposta das estações indicativas encontra-se com um desempenho superior a 85% de valores a cumprir a exigência para medições indicativas. A estação localizada em Entrecampos (ID46) apresentou um resultado inferior, sobretudo devido aos valores obtidos para a segunda metade do ano 2022. Dado que as estações são idênticas entre si, este resultado dever-se-á sobretudo à manutenção insuficiente da estação de Entrecampos.

Esta análise, contrariamente à análise da correlação linear, permite eliminar a influência dos dados espúrios no desempenho da estação. A análise da correlação linear mostrou um mau desempenho da estação dos Olivais (ID79) no mês de dezembro, no entanto verifica-se que 82% dos valores se encontram dentro do intervalo de incerteza exigido para uma medição indicativa. No Gráfico 12 é apresentada a variação média diária do poluente  $PM_{2,5}$  nas estações indicativa e de referência localizadas nos Olivais, durante o mês de dezembro. As barras de erro representam o valor máximo de incerteza definido para cada tipo de medição (25% para a medição fixa e 50% para a medição indicativa).

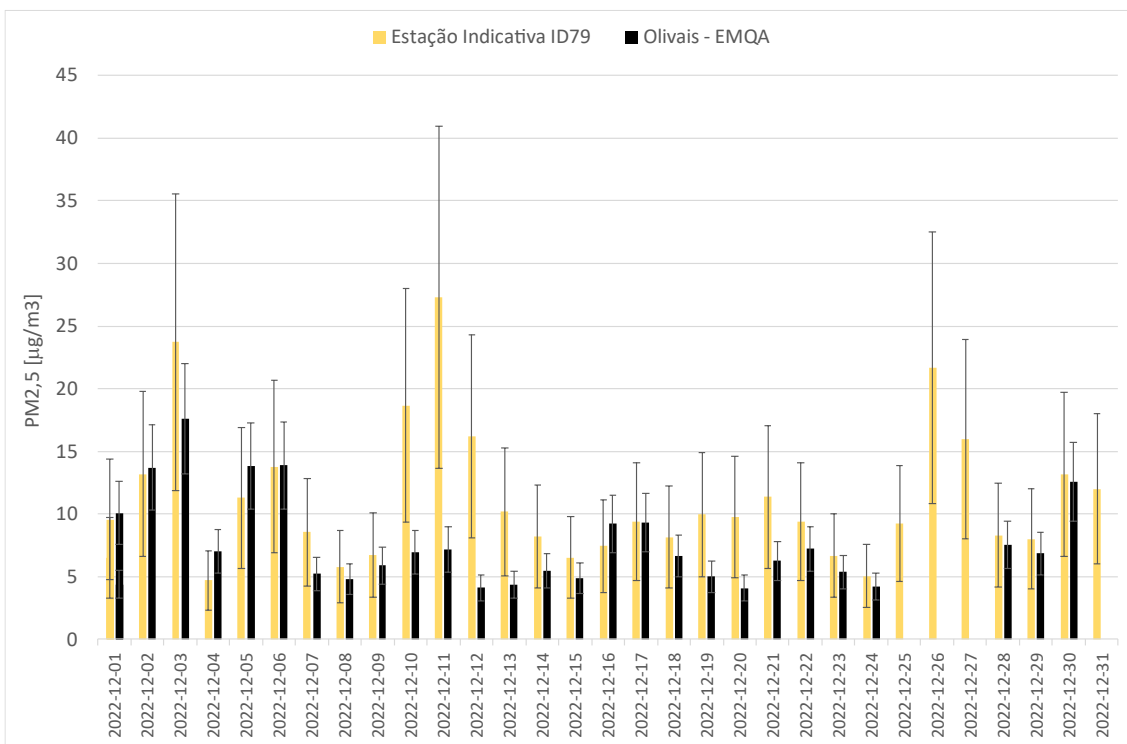


Gráfico 12 – Variação média diária do poluente PM<sub>2,5</sub> nas estações indicativa e de referência localizadas nos Olivais, durante o mês de dezembro.

### 5.3.1.3 NO<sub>2</sub>

#### 5.3.1.3.1 Análise de correlação linear

Os coeficientes de determinação, obtidos para o poluente NO<sub>2</sub>, constam das Tabela 34 e Tabela 35, com base nos dados horários e diários, respetivamente.

Tabela 34 – Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente NO<sub>2</sub>, considerando valores horários.

	Avenida da Liberdade			Entrecampos			Benfica			Olivais		
	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b
<b>Janeiro</b>	0,87	1,15	17,9	N/A	N/A	N/A	0,46	0,82	6,85	0,91	0,93	10,7
<b>Fevereiro</b>	0,89	1,00	25,1	N/A	N/A	N/A	0,63	0,68	19,6	0,94	1,03	12,9
<b>Março</b>	0,75	0,92	38,4	N/A	N/A	N/A	0,36	0,52	22,5	0,86	1,10	15,4
<b>Abril</b>	0,89	1,12	33,4	N/A	N/A	N/A	0,23	0,54	24,7	0,82	1,05	7,55
<b>Mai</b>	0,90	1,08	38,7	N/A	N/A	N/A	0,64	1,28	9,46	0,85	1,02	6,07
<b>Junho</b>	0,84	1,16	0,51	0,46	0,90	20,1	0,68	1,02	4,30	0,41	0,87	11,1
<b>Julho</b>	0,90	1,11	2,36	0,73	0,85	24,6	0,67	0,44	0,00	0,83	1,10	3,34
<b>Agosto</b>	0,91	1,04	2,54	N/A	N/A	N/A	0,09	0,34	16,6	0,86	1,05	1,06
<b>Setembro</b>	0,91	1,04	2,75	0,68	0,84	7,21	0,79	0,76	9,42	0,86	0,96	-0,46
<b>Outubro</b>	0,92	0,94	4,19	0,80	0,54	21,6	0,81	0,73	14,2	0,89	1,10	-4,38
<b>Novembro</b>	0,91	0,98	2,26	0,84	0,60	8,96	0,84	0,95	2,82	0,91	1,14	-5,85
<b>Dezembro</b>	0,86	1,04	-1,40	0,71	0,57	11,3	0,87	1,00	2,31	0,89	1,16	-4,94
<b>Média Anual</b>	0,88			0,70			0,59			0,84		

N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.

Os resultados de coeficiente de determinação anual R<sup>2</sup> demonstram um desempenho satisfatório das estações, na determinação de NO<sub>2</sub>, tendo em consideração que a análise considera todos os dados disponibilizados no Portal de Dados Abertos da CML. Verificou-se, no entanto, uma variação temporal do desempenho das mesmas. A estação da Avenida da Liberdade (ID20) foi a que demonstrou um melhor desempenho com um R<sup>2</sup> médio de 0,88 e um desvio padrão do R<sup>2</sup> de 0,04. A estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) apresentou valores de R<sup>2</sup> reduzidos nos meses de agosto e setembro e um desempenho bom nos meses de novembro e dezembro.

A análise do declive e da interceção na origem permitem também identificar períodos em que uma dada estação deu um resultado muito satisfatório e outras situações em que o desempenho foi insatisfatório. No Gráfico 13 é apresentado um dos resultados mais satisfatórios, observado no mês de fevereiro na estação dos Olivais (ID79), e um dos menos satisfatórios, observado no mês de agosto na estação de Santa Cruz de Benfica (ID75).

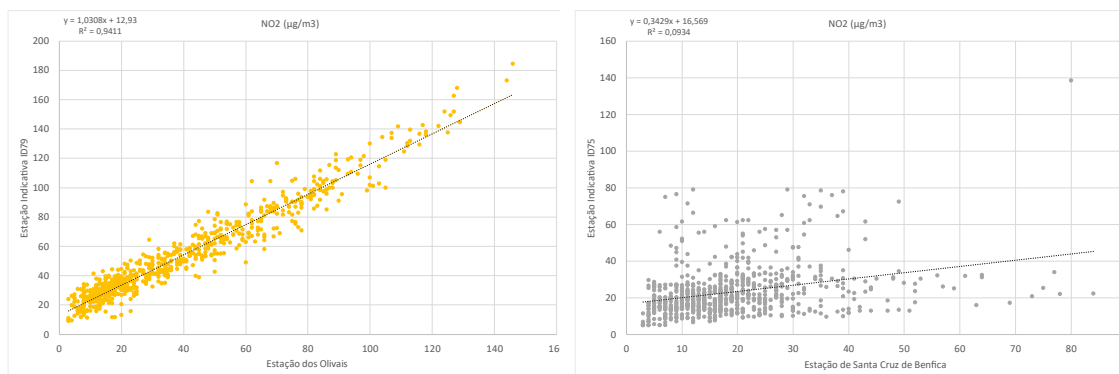


Gráfico 13 – O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de fevereiro na estação de Olivais. O gráfico da direita apresenta dados do mês de agosto na estação de Santa Cruz de Benfica.

Tabela 35 - Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente NO<sub>2</sub>, considerando valores diários.

	Avenida da Liberdade			Entrecampos			Benfica			Olivais		
	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b
<b>Janeiro</b>	0,58	0,98	24,5	N/A	N/A	N/A	0,37	1,66	-49,1	0,76	0,84	12,3
<b>Fevereiro</b>	0,65	0,82	33,7	N/A	N/A	N/A	0,71	0,62	20,9	0,90	0,94	14,7
<b>Março</b>	0,23	0,55	52,5	N/A	N/A	N/A	0,16	0,50	23,2	0,71	1,21	11,9
<b>Abril</b>	0,87	1,09	33,4	N/A	N/A	N/A	0,35	1,10	10,7	0,82	1,12	5,60
<b>Mai</b>	0,93	0,96	43,3	N/A	N/A	N/A	0,51	1,01	16,3	0,81	0,94	7,64
<b>Junho</b>	0,81	1,14	-0,03	0,67	1,26	9,32	0,73	1,08	2,09	0,88	1,30	5,72
<b>Julho</b>	0,93	1,01	6,92	0,53	1,09	13,1	0,07	0,11	14,4	0,80	1,01	4,03
<b>Agosto</b>	0,87	0,98	3,88	N/A	N/A	N/A	0,13	0,49	14,1	0,90	1,10	0,31
<b>Setembro</b>	0,89	0,96	4,62	0,01	-0,13	13,0	0,18	0,19	8,29	0,87	1,04	-1,82
<b>Outubro</b>	0,96	0,90	5,44	0,79	0,56	21,8	0,78	0,61	18,48	0,97	1,17	-6,23
<b>Novembro</b>	0,76	0,80	10,5	0,63	0,59	8,90	0,55	0,70	11,5	0,71	0,99	-16,2
<b>Dezembro</b>	0,78	0,85	4,75	0,35	0,40	17,0	0,77	0,82	8,30	0,87	1,01	-1,81
<b>Média Anual</b>	0,77			0,50			0,44			0,83		

N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.

A análise de correlação considerando médias diárias apresenta resultados menos satisfatórios do que a análise de correlação utilizando médias horárias. Ainda assim, os resultados de coeficiente de determinação anual R<sup>2</sup> demonstram um desempenho satisfatório das estações, na determinação de NO<sub>2</sub>, tendo em consideração que a análise considera todos os dados disponibilizados no Portal de Dados Abertos da CML.

À semelhança da análise de correlação horária, verificou-se uma variação temporal do desempenho das estações indicativas. A estação de Olivais foi a que demonstrou um

melhor desempenho com um  $R^2$  médio de 0,83 e um desvio padrão do  $R^2$  de 0,08. A estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) apresentou valores de  $R^2$  menos satisfatórios, sobretudo devido aos resultados obtidos nos meses de março, julho, agosto e setembro.

No Gráfico 14 é apresentado um dos resultados mais satisfatórios, observado no mês de outubro na estação dos Olivais (ID79), e um dos menos satisfatórios, observado no mês de agosto na estação de Santa Cruz de Benfica (ID75).

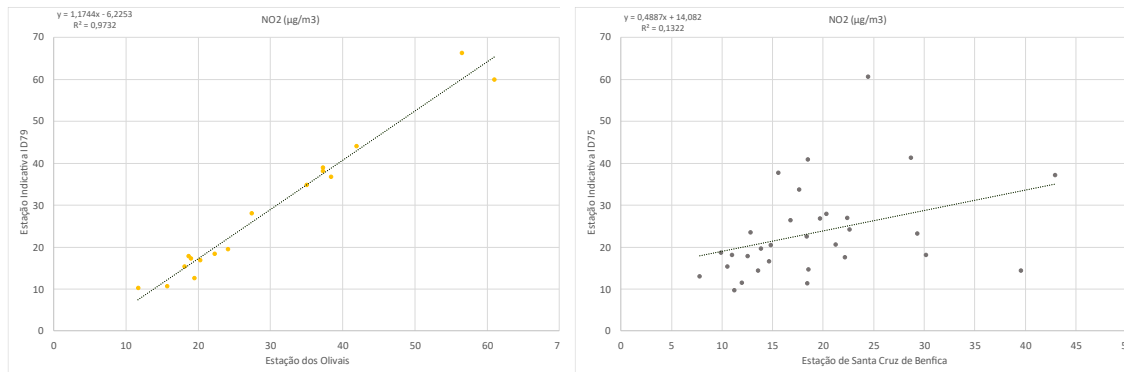


Gráfico 14 - O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de outubro na estação de Olivais. O gráfico da direita apresenta dados do mês de agosto na estação de Santa Cruz de Benfica.

A Tabela 36 apresenta a eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, para o poluente  $\text{NO}_2$ , com base nos dados horários e diários.

Tabela 36 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente NO<sub>2</sub>, considerando médias horárias e diárias.

	Eficiência (%)							
	Avenida da Liberdade (ID20)		Entrecampos (ID46)		Santa Cruz de Benfica (ID75)		Olivais (ID79)	
	Horária	Diária	Horária	Diária	Horária	Diária	Horária	Diária
<b>Janeiro</b>	99	100	0	0	42	42	99	100
<b>Fevereiro</b>	99	100	0	0	99	100	99	100
<b>Março</b>	100	100	0	0	100	100	100	100
<b>Abril</b>	100	100	0	0	91	87	99	100
<b>Mai</b>	99	100	0	0	99	100	98	97
<b>Junho</b>	99	100	99	100	88	87	99	100
<b>Julho</b>	97	97	82	81	73	71	98	97
<b>Agosto</b>	99	100	0	0	99	100	99	100
<b>Setembro</b>	100	100	34	33	100	100	100	100
<b>Outubro</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Novembro</b>	98	97	98	97	98	97	98	97
<b>Dezembro</b>	98	97	77	74	98	97	98	97
<b>Média Anual</b>	99	99	41	41	90	90	99	99

No que toca à eficiência, apenas a estação situada em Entrecampos não cumpre o objetivo de taxa mínima de recolha de dados.

#### 5.3.1.3.2 Análise do objetivo de incerteza máxima

Na Tabela 37 é apresentada a percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos.

Tabela 37 – Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos de NO<sub>2</sub> (base horária) pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.

<b>Avenida da Liberdade</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	4,2	6,3	0,8	0,0	0,7	26,5	35,6	47,9	38,9	52,5	48,9	37,2	<b>25,1</b>
<b>Intervalo 2</b>	20,0	32,5	6,5	1,3	4,5	52,6	69,6	75,8	70,7	72,4	65,3	58,0	<b>44,2</b>
<b>Intervalo 3</b>	45,1	65,0	20	7,8	16,4	73,4	89,1	88,5	83,8	84,8	79,7	73,1	<b>60,5</b>
<b>Entrecampos</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,3	11,3	N/A	48,8	28,5	25,0	27,2	<b>24,5</b>
<b>Intervalo 2</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	15,0	21,4	N/A	67,9	47,6	40,9	41,7	<b>39,0</b>
<b>Intervalo 3</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	26,1	33,2	N/A	76,4	68,1	72,1	57,9	<b>55,6</b>
N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.													
<b>Santa Cruz de Benfica</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	34,6	36,4	26,8	15,4	9,6	28,3	21,4	18,7	11,6	28,2	51,0	51,6	<b>27,7</b>
<b>Intervalo 2</b>	51,6	54,8	45,3	28,2	22,6	49,5	32,7	31,6	19,6	52,7	75,2	79,1	<b>45,2</b>
<b>Intervalo 3</b>	69,8	74,2	63,8	42,8	36,3	18,3	45,4	48,3	28,1	70,1	89,8	90,6	<b>56,4</b>
<b>Olivais</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	35,3	14,0	3,1	13,4	18,7	1,9	26,9	36,4	36,5	38,7	44,3	39,4	<b>25,8</b>
<b>Intervalo 2</b>	58,1	43,0	12,3	31,3	35,2	8,3	45,0	63,1	55,5	54,2	63,5	54,1	<b>43,7</b>
<b>Intervalo 3</b>	69,2	57,0	26,1	45,5	47,9	64,1	59,8	75	69,1	70,3	74,7	70,1	<b>60,7</b>

Os valores horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,15 a 0,85 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 25%, ou seja, em 25% do tempo as estações tiveram um desempenho na medição de NO<sub>2</sub> equiparado a exigido para um equipamento que integre uma estação fixa.

Os valores horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,25 a 0,75 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 40%. Verifica-se assim um bom desempenho das estações no que diz respeito à exigência para medições indicativas. Se nesta análise for considerado que o valor de referência pode ter uma resposta entre 0,85 a 1,15 do valor verdadeiro então a resposta das estações indicativas encontra-se com um desempenho próximo a 60% de valores a cumprir a exigência para medições indicativas.

Na Tabela 38 é apresentada a percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos.

Tabela 38 - Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos de NO<sub>2</sub> (base diária) pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.

<b>Avenida da Liberdade</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	3,3	3,6	0,0	0,0	0,0	41,4	82,1	93,6	82,8	76,7	58,6	41,4	<b>40,5</b>
<b>Intervalo 2</b>	16,7	39,3	0,0	0,0	0,0	72,4	100	100	100	90,0	89,7	65,5	<b>46,2</b>
<b>Intervalo 3</b>	53,3	78,6	13,3	3,5	12,9	93,1	100	100	100	96,7	96,6	96,6	<b>70,3</b>
<b>Entrecampos</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,0	11,1	N/A	80,0	53,9	34,5	33,3	<b>35,4</b>
<b>Intervalo 2</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,6	55,6	N/A	100	73,1	48,3	58,3	<b>56,7</b>
<b>Intervalo 3</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	36,4	74,1	N/A	100	88,5	79,3	70,8	<b>74,9</b>
<b>Santa Cruz de Benfica</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	41,7	56,5	52,0	10,3	6,9	33,3	50,0	54,8	47,6	30,8	61,5	60,7	<b>42,1</b>
<b>Intervalo 2</b>	75,0	78,3	64,0	34,5	27,6	77,8	85,0	93,6	100	61,5	88,5	82,1	<b>72,2</b>
<b>Intervalo 3</b>	91,7	91,3	88,0	55,2	41,4	94,4	100	100	100	88,5	100	96,4	<b>87,2</b>
<b>Olivais</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	38,7	18,5	0,0	6,9	13,8	0,0	68,0	77,4	79,3	58,8	51,7	53,3	<b>39,1</b>
<b>Intervalo 2</b>	71,0	55,6	3,2	27,6	48,3	0,0	92,0	100	86,2	88,2	65,5	70,0	<b>59,1</b>
<b>Intervalo 3</b>	96,8	66,7	22,6	51,7	62,1	16,0	96,0	100	96,6	94,1	82,8	96,8	<b>73,7</b>

Contrariamente ao observado na análise de correlação, a análise de incerteza máxima considerando médias diárias apresentou resultados superiores aos observados para na análise de incerteza máxima considerando médias horárias.

Os valores horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,15 a 0,85 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 40%, ou seja, em 25% do tempo as estações tiveram um desempenho na medição de NO<sub>2</sub> equiparado a exigido para um equipamento que integre uma estação fixa, cerca do dobro do observado na análise de incerteza máxima considerando médias horárias.

Os valores horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,25 a 0,75 do valor medido na estação de referência foi muito variável entre estações, assumindo o valor mínimo para a estação da Avenida da Liberdade (ID20) (46%) e o valor máximo para a estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) (72%).

Verifica-se assim um bom desempenho das estações no que diz respeito à exigência para medições indicativas. Se nesta análise for considerado que o valor de referência pode ter uma resposta entre 0,85 a 1,15 do valor verdadeiro então a resposta das estações

indicativas encontra-se com um desempenho na ordem dos 70% de valores a cumprir a exigência para medições indicativas.

Esta análise, contrariamente à análise da correlação linear, permite eliminar a influência dos dados espúrios no desempenho da estação. A análise da correlação linear mostrou que a estação localizada em Santa Cruz de Benfica (ID75) apresentou um desempenho inferior às restantes estações consideradas. No entanto, a análise de incerteza máxima demonstrou que esta estação demonstrou um bom desempenho, com 87% dos valores diários medidos em 2022 se encontram dentro do intervalo de incerteza exigido para uma medição indicativa.

#### 5.3.1.4 CO

##### 5.3.1.4.1 Análise de correlação linear

A Tabela 39 apresenta, para o poluente CO, os coeficientes de determinação obtidos entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, com base nos dados octo-horários. A Tabela 40 apresenta a eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, para o poluente CO, com base nos dados octo-horários.

Tabela 39 – Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente CO considerando médias octo-horárias.

	Avenida da Liberdade			Entrecampos			Benfica			Olivais		
	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b
<b>Janeiro</b>	0,93	0,80	-0,05	N/A	N/A	N/A	0,89	0,77	0,01	0,80	0,68	-0,02
<b>Fevereiro</b>	0,94	0,79	-0,03	N/A	N/A	N/A	0,95	0,69	0,02	0,93	0,78	-0,06
<b>Março</b>	0,78	0,79	-0,02	N/A	N/A	N/A	0,37	0,77	0,04	0,81	0,75	-0,03
<b>Abril</b>	0,82	0,80	-0,01	N/A	N/A	N/A	0,11	0,32	0,16	0,45	0,39	0,06
<b>Mai</b>	0,85	0,74	0,00	N/A	N/A	N/A	0,42	0,77	-0,05	0,24	0,45	0,06
<b>Junho</b>	0,68	0,80	0,11	0,54	0,41	0,08	0,33	0,41	0,14	0,02	0,06	0,17
<b>Julho</b>	0,52	0,68	0,05	0,64	0,58	0,04	N/A	N/A	N/A	0,17	0,22	0,15
<b>Agosto</b>	0,73	0,72	0,03	0,85	0,53	0,05	N/A	N/A	N/A	0,16	0,24	0,15
<b>Setembro</b>	0,83	0,80	0,01	0,06	0,48	0,09	N/A	N/A	N/A	0,45	0,49	0,45
<b>Outubro</b>	0,93	0,85	0,00	0,82	0,70	0,21	0,74	0,54	0,07	0,78	0,90	0,02
<b>Novembro</b>	0,94	0,81	0,00	0,70	0,79	0,17	0,88	0,70	0,00	0,88	0,91	0,01
<b>Dezembro</b>	0,90	0,88	-0,02	0,62	0,79	0,10	0,73	0,64	0,03	0,91	0,84	0,02
<b>Média Anual</b>	0,82			0,61			0,60			0,55		

N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.

Tabela 40 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente CO, considerando médias octo-horárias.

	Eficiência (%)			
	Avenida da Liberdade (ID20)	Entrecampos (ID46)	Santa Cruz de Benfica (ID75)	Olivais (ID79)
<b>Janeiro</b>	94	0	43	97
<b>Fevereiro</b>	97	0	95	96
<b>Março</b>	99	0	99	99
<b>Abril</b>	98	0	94	98
<b>Mai</b>	97	0	84	89
<b>Junho</b>	97	97	86	97
<b>Julho</b>	94	84	0	90
<b>Agosto</b>	97	97	0	97
<b>Setembro</b>	98	40	0	64
<b>Outubro</b>	99	99	99	99
<b>Novembro</b>	95	96	96	96
<b>Dezembro</b>	96	75	96	96
<b>Média Anual</b>	97	49	66	93

Os resultados de coeficiente de determinação anual  $R^2$  demonstram um desempenho satisfatório das estações, na determinação do CO, tendo em consideração que a análise considera todos os dados disponibilizados incluindo os espúrios. Verificou-se uma variação temporal do desempenho das mesmas. A estação da Avenida da Liberdade (ID20) foi a que demonstrou um melhor desempenho com um  $R^2$  médio de 0,82 e um desvio padrão do  $R^2$  de 0,12. A estação dos Olivais (ID79) apresentou valores de  $R^2$  reduzidos nos meses de junho, julho e agosto e um desempenho muito bom nos meses de fevereiro e dezembro. Também a estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) apresentou um mau desempenho no mês de abril, e um desempenho muito bom em janeiro, fevereiro e novembro.

A análise do declive e da interceção permitem também verificar uma grande variabilidade na resposta ao longo do tempo. Verificaram-se períodos em que uma dada estação deu um resultado muito satisfatório e outras situações em que o desempenho foi insatisfatório. No Gráfico 15 é apresentado um dos resultados mais satisfatórios, observado no mês de novembro na estação da Avenida da Liberdade (ID20), e um dos menos satisfatórios, observado no mês de abril na estação de Santa Cruz de Benfica (ID75).

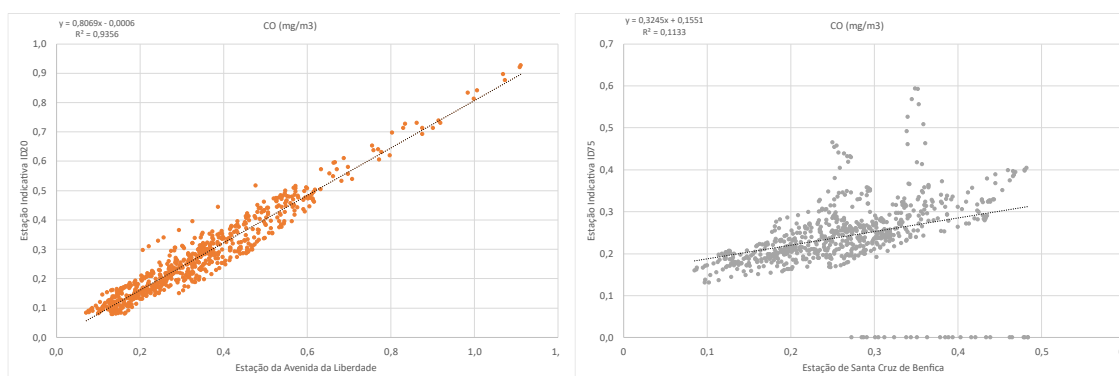


Gráfico 15 - O gráfico da esquerda apresenta dados do mês de novembro na estação da Avenida da Liberdade. O gráfico da direita apresenta dados do mês de abril na estação de Santa Cruz de Benfica.

Estes resultados reforçam a necessidade de eliminação dos dados espúrios previamente à análise de correlação.

No que toca à eficiência, as estações localizadas na Avenida da Liberdade (ID20) e em Olivais (ID79) cumprem os objetivos de qualidade dos dados no que toca à taxa mínima de recolha (90%).

### 5.3.1.4.2 Análise do objetivo de incerteza máxima

Na Tabela 41 é apresentada a percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos.

Tabela 41 – Percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores medidos de CO (base octo-horária) pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.

<b>Avenida da Liberdade</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	5,5	10,2	10,9	14,9	16,4	5,7	37,0	40,4	47,9	47,8	31,8	32,0	<b>25,2</b>
<b>Intervalo 2</b>	10,5	26,0	23,8	26,2	30,2	32,9	58,8	58,8	65,6	64,9	49,8	46,9	<b>41,3</b>
<b>Intervalo 3</b>	42,5	68,4	60,6	71,6	69,5	75,6	86,8	94,3	96,9	93,8	85,1	72,5	<b>76,5</b>
<b>Entrecampos</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	45,2	11,5	8,1	7,2	8,4	26,3	49,1	<b>22,2</b>
<b>Intervalo 2</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	67,5	27,3	26,5	30,0	24,8	62,8	79,8	<b>45,4</b>
<b>Intervalo 3</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	94,3	81,3	86,1	74,1	54,9	89,3	94,3	<b>82,0</b>
N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.													
<b>Santa Cruz de Benfica</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	13,1	9,6	49,0	43,3	13,1	29,6	N/A	N/A	N/A	37,4	14,2	27,2	<b>26,4</b>
<b>Intervalo 2</b>	27,6	18,2	65,1	66,6	17,9	45,5	N/A	N/A	N/A	54,1	20,6	39,6	<b>39,6</b>
<b>Intervalo 3</b>	72,4	68,7	92,9	89,7	46,6	74,3	N/A	N/A	N/A	73,4	46,2	66,7	<b>70,1</b>
N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.													
<b>Olivais</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	6,7	1,9	3,0	15,3	36,8	34,7	23,6	37,1	53,5	67,4	59,2	51,4	<b>32,7</b>
<b>Intervalo 2</b>	9,6	5,0	5,7	24,8	49,9	52,9	42,4	50,8	72,8	94,4	84,7	75,1	<b>47,6</b>
<b>Intervalo 3</b>	32,4	25,4	33,9	44,0	69,9	73,7	63,2	63,7	90,3	100	97,8	91,5	<b>65,7</b>

Os valores octo-horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,15 a 0,85 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 25%, ou seja, em 25% do tempo as estações tiveram um desempenho na medição de CO equiparado a exigido para um equipamento que integre uma estação fixa.

Os valores octo-horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,25 a 0,75 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 40%. Verifica-se assim um bom desempenho das estações no que diz respeito à exigência para medições indicativas. Se nesta análise for considerado que o

valor de referência pode ter uma resposta entre 0,85 a 1,15 do valor verdadeiro então a resposta das estações indicativas encontra-se com um desempenho próximo a 70% de valores a cumprir a exigência para medições indicativas. A estação localizada nos Olivais (ID79) apresentou um resultado inferior, sobretudo devido aos valores obtidos para os primeiros meses do ano.

Enquanto a análise da correlação linear mostrou um mau desempenho da estação de Santa Cruz de Benfica (ID75) no mês de abril, verifica-se que 90% os valores se encontram dentro do intervalo de incerteza exigido para uma medição indicativa. O Gráfico 12 apresenta a variação média diária do poluente CO nas estações indicativa e de referência localizadas em Santa Cruz de Benfica, durante o mês de abril. As barras de erro representam o valor máximo de incerteza definido para cada tipo de medição (15% para a medição fixa e 25% para a medição indicativa).

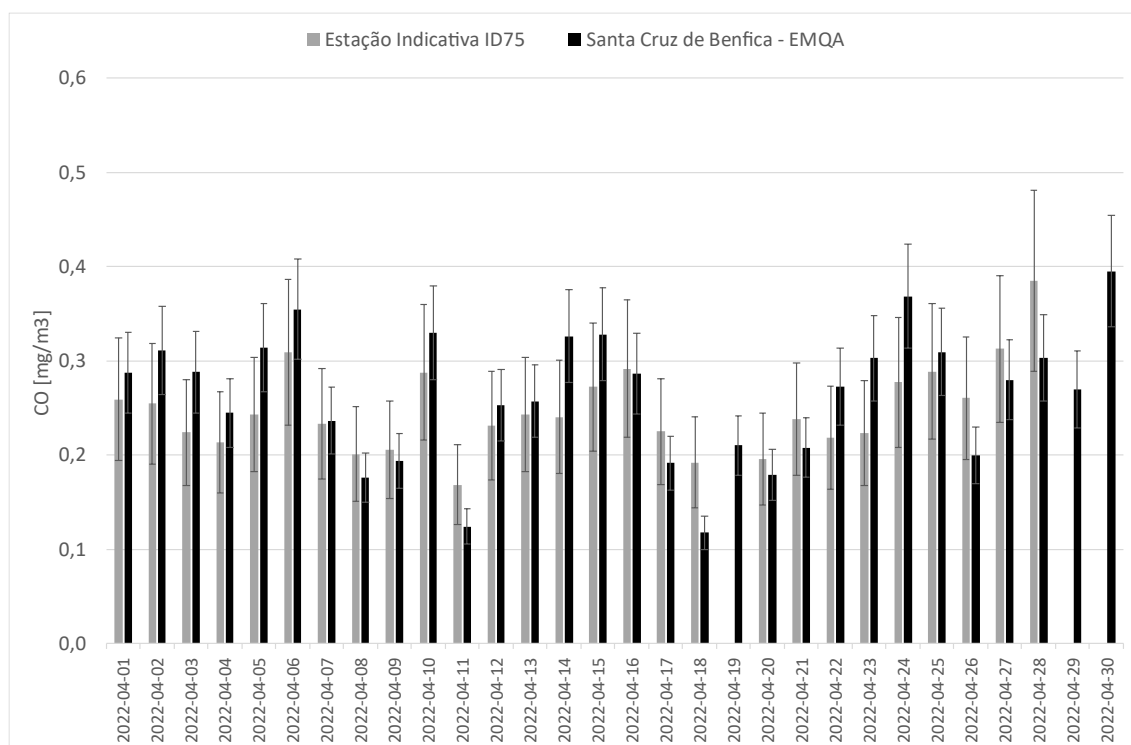


Gráfico 16 – Variação média diária do poluente CO nas estações indicativa e de referência localizadas em Santa Cruz de Benfica, durante o mês de abril.

### 5.3.1.5 O<sub>3</sub>

#### 5.3.1.5.1 Análise de correlação linear

Na Tabela 42 constam os coeficientes de determinação para o poluente O<sub>3</sub>. À semelhança do poluente PM<sub>2,5</sub>, as estações da Avenida da Liberdade e Santa Cruz de Benfica da Rede de Referência não medem O<sub>3</sub>, pelo que não é possível efetuar a análise

de desempenho para estas estações. A Tabela 43 apresenta a eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, para o poluente O<sub>3</sub>, com base nos dados horários.

Tabela 42 – Coeficiente de determinação entre as estações de referência e as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML situadas no mesmo local, para o poluente O<sub>3</sub>, considerando médias horárias.

	Entrecampos			Olivais		
	R <sup>2</sup>	m	b	R <sup>2</sup>	m	b
<b>Janeiro</b>	N/A	N/A	N/A	0,95	0,99	2,13
<b>Fevereiro</b>	N/A	N/A	N/A	0,97	0,98	-2,69
<b>Março</b>	N/A	N/A	N/A	0,91	0,95	-2,34
<b>Abril</b>	N/A	N/A	N/A	0,84	0,90	7,86
<b>Mai</b>	N/A	N/A	N/A	0,68	0,71	11,6
<b>Junho</b>	0,45	0,79	-0,63	0,56	0,87	0,40
<b>Julho</b>	0,76	1,03	-9,72	0,80	1,00	3,13
<b>Agosto</b>	0,88	1,22	-15,7	0,86	1,22	13,4
<b>Setembro</b>	0,25	0,77	26,7	0,16	0,47	19,5
<b>Outubro</b>	0,46	0,47	44,8	0,79	0,92	0,24
<b>Novembro</b>	0,89	0,52	48,0	0,94	0,98	-0,18
<b>Dezembro</b>	0,31	0,46	37,5	0,95	0,99	-3,11
<b>Média Anual</b>	0,57			0,78		

N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.

Tabela 43 - Eficiência de recolha de dados das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML para o poluente O<sub>3</sub>, considerando médias diárias.

	Eficiência (%)	
	Entrecampos (ID46)	Olivais (ID79)
<b>Janeiro</b>	0	100
<b>Fevereiro</b>	0	100
<b>Março</b>	0	100
<b>Abril</b>	0	100
<b>Mai</b>	0	99
<b>Junho</b>	99	99
<b>Julho</b>	89	98
<b>Agosto</b>	99	99
<b>Setembro</b>	34	100
<b>Outubro</b>	100	100
<b>Novembro</b>	98	98
<b>Dezembro</b>	77	98
<b>Média Anual</b>	50	99

Os resultados de coeficiente de determinação anual  $R^2$  demonstram um desempenho satisfatório das estações tendo em consideração que a análise considera todos os dados disponibilizados incluindo os espúrios. Verificou-se uma variação temporal do desempenho das mesmas. A estação dos Olivais foi a que demonstrou um melhor desempenho com um  $R^2$  médio de 0,78 e um desvio padrão do  $R^2$  de 0,22. A estação dos Olivais (ID79) apresentou valores de  $R^2$  reduzidos no mês de setembro e um desempenho muito bom nos meses de janeiro a maio. Salienta-se que a performance da estação de Entrecampos (ID46) é afetada pela falta de recolha de dados durante os primeiros cinco meses de 2022.

A análise do declive e da interceção permitem também verificar uma grande variabilidade na resposta ao longo do tempo. Verificaram-se períodos em que uma dada estação deu um resultado muito satisfatório e outras situações em que o desempenho foi insatisfatório. No Gráfico 17 é apresentado um dos resultados mais satisfatórios, observado no mês de fevereiro, e um dos menos satisfatórios, observado no mês de setembro, ambos na estação dos Olivais (ID79).

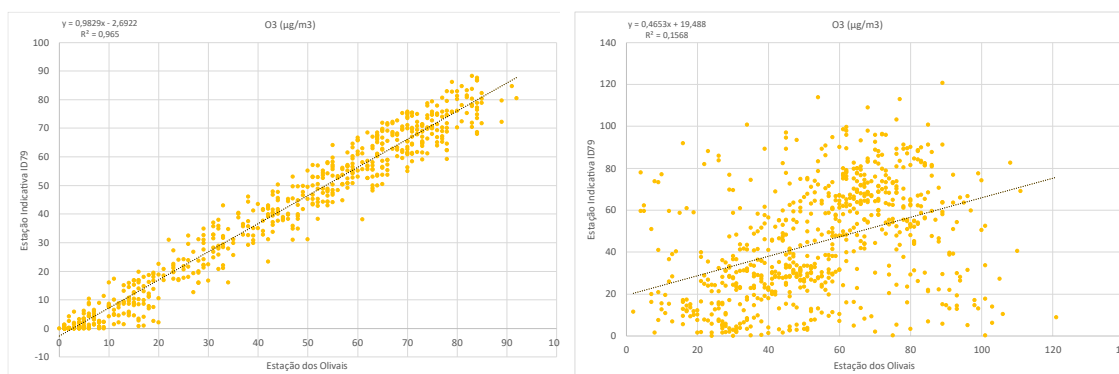


Gráfico 17 – O gráfico da esquerda apresenta dados no mês de fevereiro na estação dos Olivais. O gráfico da direita apresenta dados do mês de setembro na estação dos Olivais.

O facto de a mesma estação poder apresentar resultados de correlação tão díspares, reforça que a tecnologia das estações já apresenta um bom desempenho, devendo investir-se em ações de manutenção mais frequentes e recorrer a métodos apropriados para a identificação de dados espúrios. O mostra a variação média horária do poluente  $O_3$  nas estações indicativa de referência localizadas nos Olivais, durante o mês de setembro.

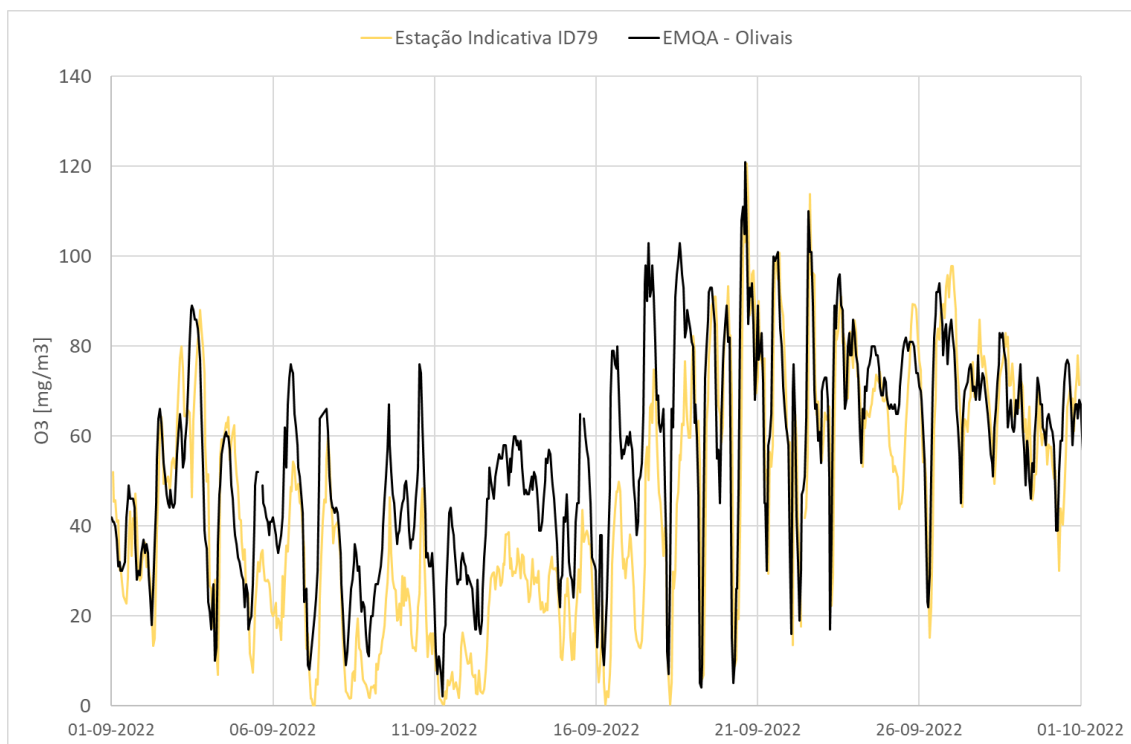


Gráfico 18 - Variação média horária de O<sub>3</sub> nas estações indicativa e de referência situadas em Olivais, durante o mês de fevereiro.

Verifica-se um desajuste dos valores medidos pela estação ID79 entre os dias 06 e 19, tendencialmente mais reduzidos do que os da estação de referência, que terão influenciado negativamente os resultados da análise de correlação. Uma ação de calibração teria resolvido o problema.

No que toca à eficiência, a estação localizada nos Olivais (ID79) cumpre o objetivo de qualidade dos dados no que toca à taxa mínima de recolha (90%). A estação de Entrecampos recolheu dados apenas em metade do período considerado, sendo que este valor foi muito afetado pelo facto de a estação não ter recolhido dados nos primeiros cinco meses de 2022.

#### 5.3.1.5.2 Análise do objetivo de incerteza máxima

Na Tabela 44 é apresentada a percentagem de dias de cada mês de 2022 em que os valores de O<sub>3</sub> medidos pela estação indicativa e pela estação de referência situada no mesmo local estão contidos nos intervalos de referência definidos.

Tabela 44 - Percentagem de horas de cada mês de 2022 em que os valores de O<sub>3</sub> (base horária) medidos pela estação Entrecampos – EMQA estão contidos nos intervalos de referência definidos para análise.

<b>Entrecampos</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	40,3	57,0	71,9	61,4	22,4	1,00	20,5	<b>39,3</b>
<b>Intervalo 2</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	50,8	69,6	84,3	72,5	50,6	20,00	43,3	<b>56,0</b>
<b>Intervalo 3</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	61,3	77	90,4	81,3	65,2	33,1	57,6	<b>66,7</b>
N/A – A estação não recolheu dados durante o período em análise.													
<b>Olivais</b>													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Intervalo 1</b>	56,3	55,7	71,4	73,6	49,0	47,0	55,7	6,0	24,2	42,6	57,7	56,7	<b>49,6</b>
<b>Intervalo 2</b>	74,2	68,2	83,9	93,6	71,2	67,6	74,1	29,6	43,8	65,6	74,8	73,5	<b>68,3</b>
<b>Intervalo 3</b>	79,5	74,3	89,2	95,4	88,8	78,5	91,1	79,0	58,0	76,0	82,4	79,7	<b>81,1</b>

Os valores horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,15 a 0,85 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 40%, ou seja, em 40% do tempo as estações tiveram um desempenho na medição de O<sub>3</sub> equiparado a exigido para um equipamento que integre uma estação fixa.

Os valores horários medidos pela estação da rede indicativa que se encontram dentro do intervalo 1,30 a 0,70 do valor medido na estação de referência foi da ordem dos 60%. Verifica-se assim um bom desempenho das estações no que diz respeito à exigência para medições indicativas. Se nesta análise for considerado que o valor de referência pode ter uma resposta entre 0,85 a 1,15 do valor verdadeiro então a resposta da estação dos Olivais (ID79) encontra-se com um desempenho próximo a 80% de valores a cumprir a exigência para medições indicativas. A estação localizada em Entrecampos (ID46) apresentou um resultado inferior, sobretudo devido aos valores obtidos em novembro e dezembro de 2022.

## 5.4 Análise da qualidade do ar com dados da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML

O estudo realizado é relativo a 40 das 80 estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML. Foram selecionadas as estações com tecnologia Monitarsense. As estações Monitarsense possuem um sistema de amostragem ativo e controle de temperatura interno da estação e integram sensores eletroquímicos para a determinação da concentração de NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub>, e um sensor ótico para determinação da concentração de partículas em suspensão. A distribuição das 40 estações utilizadas para esta caracterização é apresentada Figura 5.

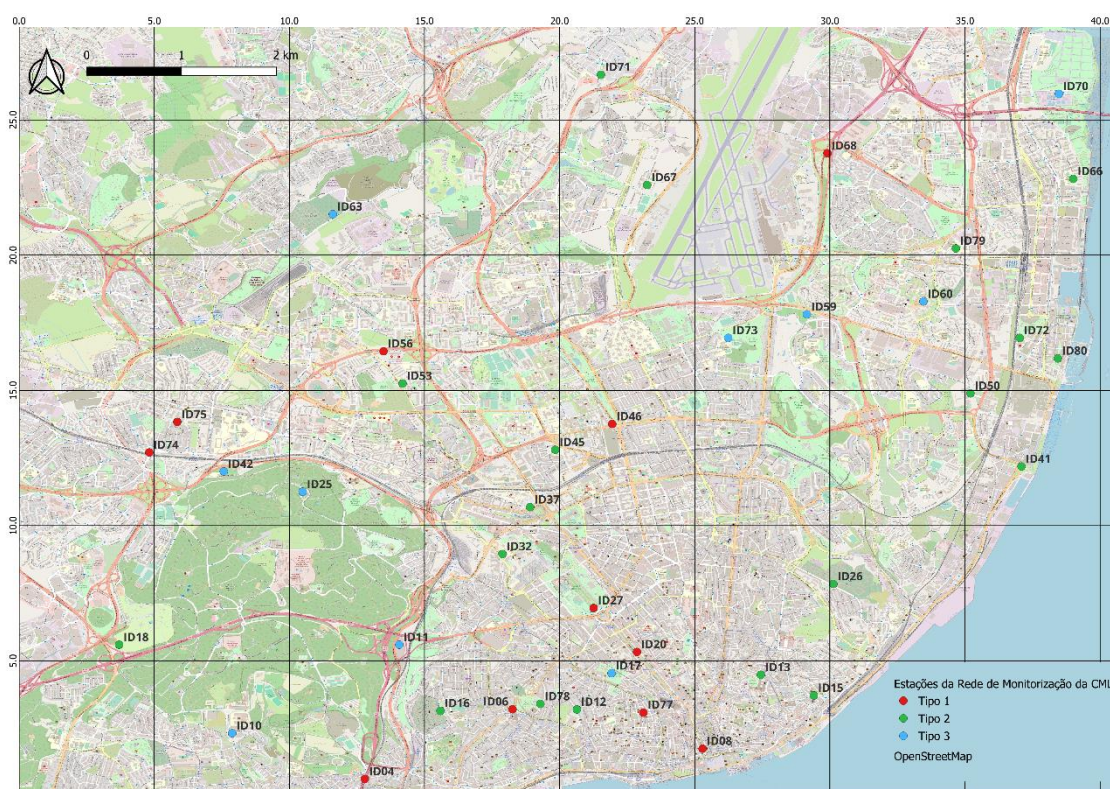


Figura 5 – Localização das 40 estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML e classificação de acordo com o tipo.

As estações analisadas estão distribuídas em toda a Cidade de Lisboa, possibilitando a caracterização da qualidade do ar em zonas com diferentes características. Ao contrário das estações que constituem a Rede de Referência, as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML não estão classificadas como Urbanas de Tráfego ou

Urbanas do Fundo. Por este motivo, tendo por base as características da envolvente de cada estação, neste estudo estabeleceram-se três tipos de estações.

As estações do Tipo 1 equiparam-se às estações Urbanas de Tráfego. São estações que se situam junto a vias de tráfego muito movimentadas, sendo que a principal fonte de poluição é o tráfego. Também a rua onde estão inseridas, devido às suas características, pode levar à classificação à inclusão de uma estação neste tipo, dado que ruas estreitas e ladeadas por edifícios altos, com tráfego intenso ou moderado, são propícias à formação de *hotspots* de poluição.

As estações do Tipo 2 são similares às estações Urbanas de Fundo. Inserem-se em envolventes mais ou menos urbanizadas, na proximidade de vias de tráfego pouco relevantes e podem existir espaços verdes nas imediações. As fontes de poluição são mais difusas, como o tráfego e a utilização normal dos edifícios comerciais ou de habitação.

As estações do Tipo 3 localizam-se em espaços sem fontes de poluição próximas. Graças à ausência de vias de tráfego moderadamente ou muito movimentadas nas imediações, bem como de edifícios de habitação ou espaços comerciais relevantes, estas estações apresentam semelhanças com as estações Suburbanas de Fundo.

Na Tabela 45 é apresentada a classificação atribuída a cada estação.

Tabela 45 - Classificação das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML de acordo com as características da sua envolvente.

<b>ID</b>	<b>Designação da Estação</b>	<b>Tipo</b>
04	Alcântara – Rua dos Lusíadas	Tipo 1
06	Largo da Estrela	Tipo 1
08	Baixa – Rua do Ouro	Tipo 1
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	Tipo 3
11	Avenida de Ceuta	Tipo 3
12	Rua de São Bento	Tipo 2
13	Rua Damasceno Monteiro	Tipo 2
15	Campo de Santa Clara	Tipo 2
16	Cemitério dos Prazeres	Tipo 2
17	Jardim Botânico	Tipo 3
18	Parque de Campismo de Lisboa	Tipo 2
20	Avenida da Liberdade – Rua Manuel Jesus Coelho - EMQA	Tipo 1
25	Monsanto – Parque Ecológico	Tipo 3
26	Parada Alto de São João	Tipo 2
27	Marquês de Pombal – Alameda Edgar Cardoso	Tipo 1
32	Rua de Campolide	Tipo 2
37	Praça de Espanha	Tipo 2
41	Jardim do Braço de Prata	Tipo 2
42	Travessa Francisco Rezende	Tipo 3
45	Rua Frei Carlos	Tipo 2
46	Entrecampos - EMQA	Tipo 1
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	Tipo 2
53	Rua Lúcio de Azevedo	Tipo 2
56	Avenida General Norton de Matos	Tipo 1
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	Tipo 3
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	Tipo 3
63	Estrada Militar	Tipo 3
66	Rua Ilha dos Amores	Tipo 2
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	Tipo 2
68	Laboratório de Bromatologia e Águas	Tipo 1
70	Rua Chen He	Tipo 3
71	Estrada Militar às Galinheiras	Tipo 2
72	Parque das Nações – Rua Mário Botas	Tipo 2
73	Rua Alferes Malheiro	Tipo 3
74	Rua da Venezuela	Tipo 1
75	Alameda Padre Álvaro Proença - EMQA	Tipo 1
77	Rua da Atalaia	Tipo 1
78	Jardim da Estrela	Tipo 2
79	Avenida Doutor Francisco Luís Gomes - EMQA	Tipo 2
80	Rua Nau Catrineta Cruz Rua Nova dos Mercadores	Tipo 2

Da análise apresentada nos pontos seguintes, excluem-se todas as estações que, no período de um mês, não recolheram um mínimo de 50% de dados válidos. As médias, máximos e mínimos horários e/ou diários destas estações não são apresentados.

#### **5.4.1 PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>**

Na Tabela 46 consta o número de excedências ao valor limite de 50 µg/m<sup>3</sup> e ao valor alvo anual estabelecido pela OMS observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, bem como em quatro estações da rede de referência, ao longo do ano 2022, sem desconto da contribuição de eventos naturais.

Tabela 46 - Número de excedências registadas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML e estações da rede de referência em avaliação ao Valor Limite Diário e ao Valor alvo estabelecido pela OMS, para o poluente PM10, no decorrer do ano 2022.

ID	Designação da Estação	Nº de Excedências	
		Valor Limite Diário (50µg/m <sup>3</sup> )	Valor alvo OMS (45µg/m <sup>3</sup> )
4	Alcântara – Rua dos Lusíadas	3	4
8	Baixa – Rua do Ouro	0	1
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	4	5
11	Avenida de Ceuta	0	3
12	Rua de São Bento	4	7
18	Parque de Campismo de Lisboa	0	2
25	Monsanto – Parque Ecológico	1	1
26	Parada Alto de São João	1	2
32	Rua de Campolide	3	5
37	Praça de Espanha	1	1
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	0	1
53	Rua Lúcio de Azevedo	1	2
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	1	1
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	0	1
63	Estrada Militar	0	1
66	Rua Ilha dos Amores	4	6
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	6	8
71	Estrada Militar às Galinheiras	2	3
73	Rua Alferes Malheiro	2	2
77	Rua da Atalaia	9	13
78	Jardim da Estrela	1	2
RR	Avenida da Liberdade	10	15
RR	Entrecampos	7	10
RR	Santa Cruz de Benfica	9	14
RR	Olivais	7	9

RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT

Ainda que se tenham observado excedências ao Valor Limite Diário (VLD) em várias das estações em avaliação, não foram registadas mais de 35 excedências em nenhum dos locais. Relativamente ao Valor Alvo recomendado pela OMS, verificaram-se várias excedências, sobretudo na estação CML ID77 – Rua da Atalaia, e nas estações de referência situadas em Santa Cruz de Benfica, Entrecampos e Avenida da Liberdade, local onde também se verificou o maior número de excedências ao VLD. A Figura 6 mostra a

distribuição espacial das estações onde se verificaram excedências ao VLD.

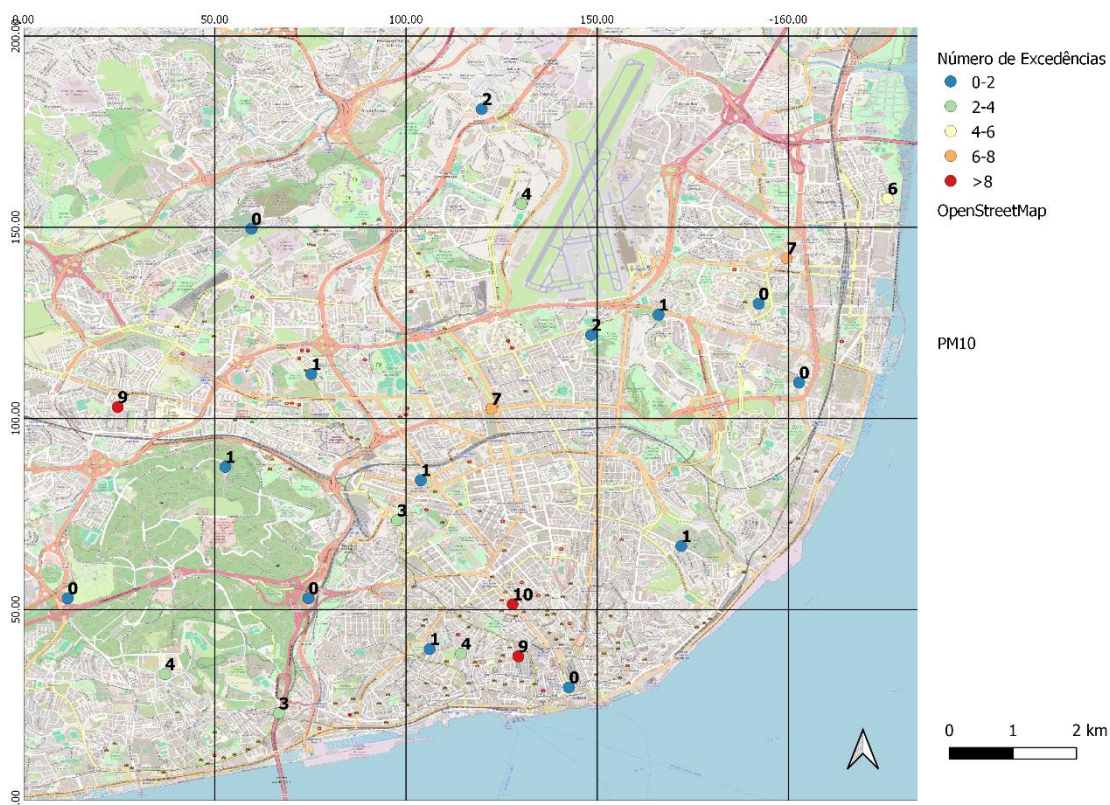


Figura 6 - Distribuição espacial das excedências ao valor limite diário de PM<sub>10</sub> observadas durante o ano de 2022 nas estações analisadas.

Esta análise permite identificar locais onde a poluição por PM<sub>10</sub> é similar à observada na Avenida da Liberdade, em especial na Rua da Atalaia. Destacam-se também as estações de Santa Cruz de Benfica (Rede de Referência), Entrecampos (Rede de Referência), Olivais (Rede de Referência) e CML ID67 - Rua Vasco da Gama Fernandes, que registaram um número elevado de excedências ao VLA.

Ocorreram excedências ao VLD em 33% das estações do Tipo 1, 53% das estações do Tipo 2 e 40% das estações do Tipo 3, não se verificando a correlação direta do tráfego rodoviário existente na proximidade da estação para a ocorrência de concentrações mais elevadas. Os fenómenos de transporte e ressuspensão de partículas conduzem ao aumento da sua concentração mesmo em locais onde não existe proximidade com fontes de poluição.

A Tabela 47 apresenta a análise de conformidade das concentrações médias anuais registadas com o valor limite anual de 40 µg/m<sup>3</sup> e com o valor alvo anual estabelecido pela OMS nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, ao longo do ano 2022, sem desconto da contribuição de eventos naturais.

Tabela 47 - Conformidade das concentrações de PM10 medidas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML em avaliação com o Valor Limite Anual e com o Valor alvo estabelecido pela OMS, no decorrer do ano 2022.

ID	Designação da Estação	Cumprimento do VLA	
		Valor Limite Anual (40µg/m <sup>3</sup> )	Valor alvo OMS (15µg/m <sup>3</sup> )
04	Alcântara – Rua dos Lusíadas	Cumpre	Não Cumpre
08	Baixa – Rua do Ouro	Cumpre	Cumpre
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	Cumpre	Não Cumpre
11	Avenida de Ceuta	Cumpre	Não Cumpre
12	Rua de São Bento	Cumpre	Não Cumpre
16	Cemitério dos Prazeres	Cumpre	Cumpre
17	Jardim Botânico	Cumpre	Cumpre
18	Parque de Campismo de Lisboa	Cumpre	Cumpre
25	Monsanto – Parque Ecológico	Cumpre	Cumpre
26	Parada Alto de São João	Cumpre	Cumpre
27	Marquês de Pombal – Alameda Edgar Cardoso	Cumpre	Cumpre
32	Rua de Campolide	Cumpre	Não Cumpre
37	Praça de Espanha	Cumpre	Cumpre
41	Jardim do Braço de Prata	Cumpre	Cumpre
42	Travessa Francisco Rezende	Cumpre	Cumpre
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	Cumpre	Cumpre
53	Rua Lúcio de Azevedo	Cumpre	Não Cumpre
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	Cumpre	Cumpre
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	Cumpre	Não Cumpre
63	Estrada Militar	Cumpre	Cumpre
66	Rua Ilha dos Amores	Cumpre	Não Cumpre
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	Cumpre	Não Cumpre
68	Laboratório de Bromatologia e Águas	Cumpre	Cumpre
70	Rua Chen He	Cumpre	Não Cumpre
71	Estrada Militar às Galinheiras	Cumpre	Cumpre
72	Parque das Nações – Rua Mário Botas	Cumpre	Cumpre
73	Rua Alferes Malheiro	Cumpre	Cumpre
74	Rua da Venezuela	Cumpre	Cumpre
77	Rua da Atalaia	Cumpre	Não Cumpre
78	Jardim da Estrela	Cumpre	Cumpre
80	Rua Nau Catrineta Cruz Rua Nova dos Mercadores	Cumpre	Cumpre
RR	Avenida da Liberdade	Cumpre	Não Cumpre
RR	Entrecampos	Cumpre	Não Cumpre
RR	Santa Cruz de Benfica	Cumpre	Não Cumpre
RR	Olivais	Cumpre	Não Cumpre

RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT

O VLA foi cumprido em todas as estações em análise, para o poluente PM<sub>10</sub>. Relativamente ao valor alvo anual recomendado pela OMS, verificou-se a ultrapassagem deste valor em apenas 11 das 31 estações em análise (35%). Destas, a maioria (45%) são do Tipo 2. Verificou-se também a ultrapassagem do valor alvo anual recomendado nas quatro estações da Rede de Referência. No entanto, caso se considerasse o desconto da contribuição de eventos naturais, este valor seria respeitado na estação dos Olivais e Entrecampos.

A Tabela 48 apresenta a análise da conformidade das concentrações médias anuais de PM<sub>2,5</sub> registadas com o valor limite anual de 20 µg/m<sup>3</sup> e com o valor alvo anual estabelecido pela OMS nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, ao longo do ano 2022, sem desconto da contribuição de eventos naturais.

Tabela 48 - Número de excedências registadas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML em avaliação ao Valor Limite Anual e ao Valor alvo estabelecido pela OMS, para o poluente PM<sub>2,5</sub>, no decorrer do ano 2022

ID	Designação da Estação	Cumprimento do VLA	
		Valor Limite Anual (20µg/m <sup>3</sup> )	Valor alvo OMS (5µg/m <sup>3</sup> )
04	Alcântara – Rua dos Lusíadas	Cumpre	Não Cumpre
08	Baixa – Rua do Ouro	Cumpre	Não Cumpre
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	Cumpre	Não Cumpre
12	Rua de São Bento	Cumpre	Não Cumpre
16	Cemitério dos Prazeres	Cumpre	Não Cumpre
17	Jardim Botânico	Cumpre	Não Cumpre
18	Parque de Campismo de Lisboa	Cumpre	Não Cumpre
25	Monsanto – Parque Ecológico	Cumpre	Não Cumpre
26	Parada Alto de São João	Cumpre	Não Cumpre
27	Marquês de Pombal – Alameda Edgar Cardoso	Cumpre	Não Cumpre
32	Rua de Campolide	Cumpre	Não Cumpre
37	Praça de Espanha	Cumpre	Não Cumpre
41	Jardim do Braço de Prata	Cumpre	Não Cumpre
42	Travessa Francisco Rezende	Cumpre	Não Cumpre
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	Cumpre	Não Cumpre
53	Rua Lúcio de Azevedo	Cumpre	Não Cumpre
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	Cumpre	Não Cumpre
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	Cumpre	Não Cumpre
63	Estrada Militar	Cumpre	Não Cumpre
66	Rua Ilha dos Amores	Cumpre	Não Cumpre
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	Cumpre	Não Cumpre
<sup>1</sup> 68	Laboratório de Bromatologia e Águas	Cumpre	Cumpre
70	Rua Chen He	Cumpre	Não Cumpre
71	Estrada Militar às Galinheiras	Cumpre	Não Cumpre
72	Parque das Nações – Rua Mário Botas	Cumpre	Não Cumpre
73	Rua Alferes Malheiro	Cumpre	Não Cumpre
74	Rua da Venezuela	Cumpre	Não Cumpre
77	Rua da Atalaia	Cumpre	Não Cumpre
78	Jardim da Estrela	Cumpre	Não Cumpre
80	Rua Nau Catrineta Cruz Rua Nova dos Mercadores	Cumpre	Não Cumpre
RR	Entrecampos	Cumpre	Não Cumpre
RR	Olivais	Cumpre	Não Cumpre
RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT			
<sup>1</sup> A estação apresentou uma tendência de subestimação da concentração e não recolheu dados num período em que as concentrações apresentaram valores mais elevados.			

Todas as estações em análise cumprem o VLA estabelecido no RJAGQAR. No entanto, o valor alvo estabelecido pela OMS não foi ultrapassado apenas na estação CML ID68 - Laboratório de Bromatologia e Águas. No entanto, é importante salientar que esta estação apresentou uma tendência de subestimação dos valores medidos entre setembro e dezembro de 2022. Além disso, não recolheu valores em parte dos meses de novembro e dezembro, durante os quais foi registrado um acréscimo da concentração de PM. Assim, existe uma forte possibilidade de esta estação também não cumprir o VLA caso estes problemas não se tivessem verificado.

A Tabela 49 mostra o número de excedências ao valor alvo diário de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  recomendado pela OMS observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, ao longo do ano 2022, sem desconto da contribuição de eventos naturais.

Tabela 49 - Número de excedências registadas pelas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML ao Valor alvo diário estabelecido pela OMS, para o poluente PM<sub>2,5</sub>, no decorrer do ano 2022.

ID	Designação da Estação	Nº de Excedências
		Valor alvo OMS (15µg/m <sup>3</sup> )
4	Alcântara – Rua dos Lusíadas	22
8	Baixa – Rua do Ouro	34
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	51
12	Rua de São Bento	50
16	Cemitério dos Prazeres	18
17	Jardim Botânico	11
18	Parque de Campismo de Lisboa	35
25	Monsanto – Parque Ecológico	34
26	Parada Alto de São João	51
27	Marquês de Pombal – Alameda Edgar Cardoso	13
32	Rua de Campolide	47
37	Praça de Espanha	12
41	Jardim do Braço de Prata	10
42	Travessa Francisco Rezende	46
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	29
53	Rua Lúcio de Azevedo	38
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	43
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	28
63	Estrada Militar	14
66	Rua Ilha dos Amores	97
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	39
68	Laboratório de Bromatologia e Águas	10
70	Rua Chen He	51
71	Estrada Militar às Galinheiras	25
72	Parque das Nações – Rua Mário Botas	12
73	Rua Alferes Malheiro	15
74	Rua da Venezuela	14
77	Rua da Atalaia	81
78	Jardim da Estrela	21
80	Rua Nau Catrineta Cruz Rua Nova dos Mercadores	13
RR	Entrecampos	14
RR	Olivais	23
RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT		

Verificaram-se múltiplas excedências ao valor alvo diário recomendado pela OMS em todas as estações em análise. Destacam-se as estações CML ID10 - Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira, CML ID12 - Rua de São Bento, CML ID26 - Parada Alto de São João, CML ID66 - Rua Ilha dos Amores, CML ID70 - Rua Chen He e CML ID77 - Rua da

Atalaia, que registraram mais de 50 excedências ao valor alvo em 2022. A Rua Ilha dos Amores e a Rua da Atalaia são locais onde a poluição por partículas em suspensão é elevada, tendo já sido destacadas como locais onde se registraram concentrações médias elevadas de PM<sub>10</sub>.

A maioria das excedências verificadas devem-se a eventos naturais, nomeadamente a influência de massas de ar com origem no norte de África, transportando na circulação partículas e poeiras em suspensão. De acordo com os registos de eventos naturais disponibilizado no sítio internet da APA, estes eventos naturais ocorreram com mais intensidade no final de janeiro e várias vezes na segunda metade do mês de março. Estes fenómenos ocorreram ainda com menos intensidade no final do mês de maio, meados de julho e início do mês de outubro (APA, 2022b).

Na Figura 7 é apresentada a variação diária da concentração do poluente PM<sub>10</sub> nas estações CML ID10 (Tipo 1), CML ID63 (Tipo 3), CML ID77 (Tipo 1) e CML ID78 (Tipo 2), ao longo do ano 2022. O efeito destes eventos foi observado em todas as estações analisadas.

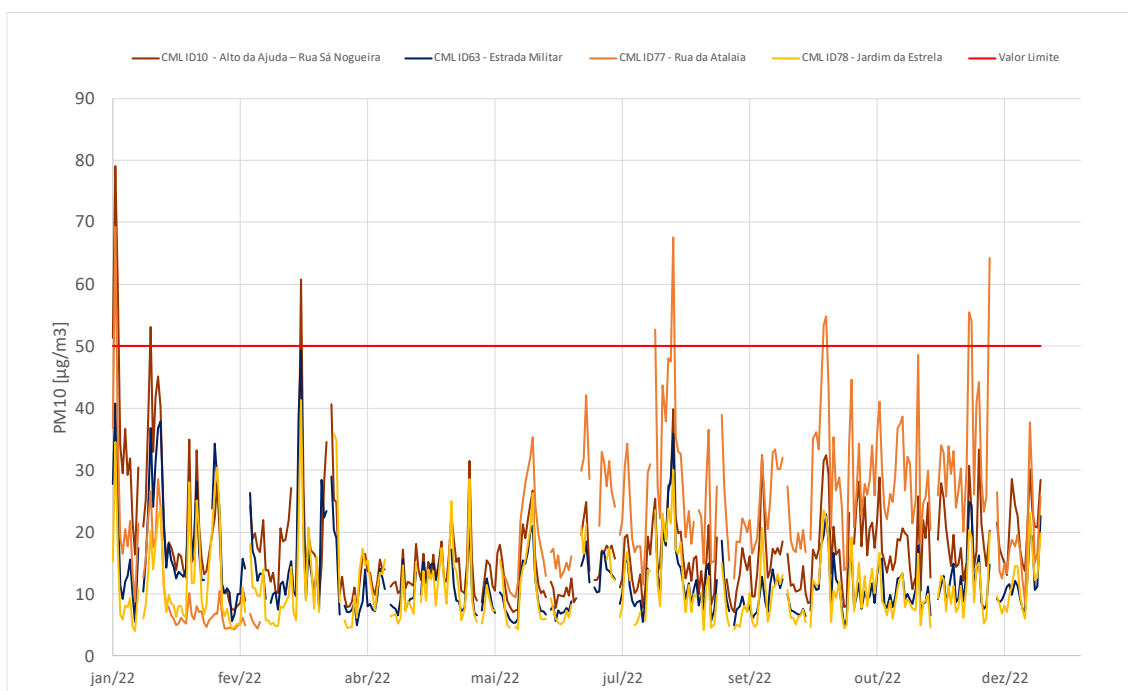


Figura 7 - Variação diária da concentração do poluente PM<sub>10</sub> nas estações CML ID10 (Tipo 1), CML ID63 (Tipo 3), CML ID77 (Tipo 1) e CML ID78 (Tipo 2), ao longo do ano 2022.

Também os meses de dezembro e janeiro se caracterizam por um número acrescido de excedências ao valor limite, não só devido ao contributo de eventos naturais, mas

também devido à utilização mais frequente de lareiras por parte dos moradores da cidade de Lisboa, uma fonte importante de partículas em suspensão e à influência da menor altura da camada limite atmosférica.

Destacam-se ainda as concentrações mais elevadas verificadas nos meses de julho e agosto, que podem ser atribuídas à contribuição dos incêndios florestais que deflagraram em regiões próximas neste período. Na Tabela 50 é apresentado o número de incêndios ocorridos no Distrito de Lisboa durante o ano 2022.

Tabela 50 - Número de incêndios ocorridos no distrito de Lisboa em 2022.

<b>Mês</b>	<b>Número de Incêndios</b>	<b>Área Ardida (ha)</b>
<b>Janeiro</b>	37	5,2
<b>Fevereiro</b>	52	11,5
<b>Março</b>	14	0,5
<b>Abril</b>	37	5,7
<b>Maiο</b>	44	13,5
<b>Junho</b>	79	42,1
<b>Julho</b>	132	470,3
<b>Agosto</b>	70	248,1
<b>Setembro</b>	45	14,7
<b>Outubro</b>	26	6,9
<b>Novembro</b>	1	0,0
<b>Dezembro</b>	37	0,0

Os mapas da Figura 8 mostram a distribuição espacial das concentrações de PM<sub>10</sub> observadas durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão, calculadas com base em valores médios diários.

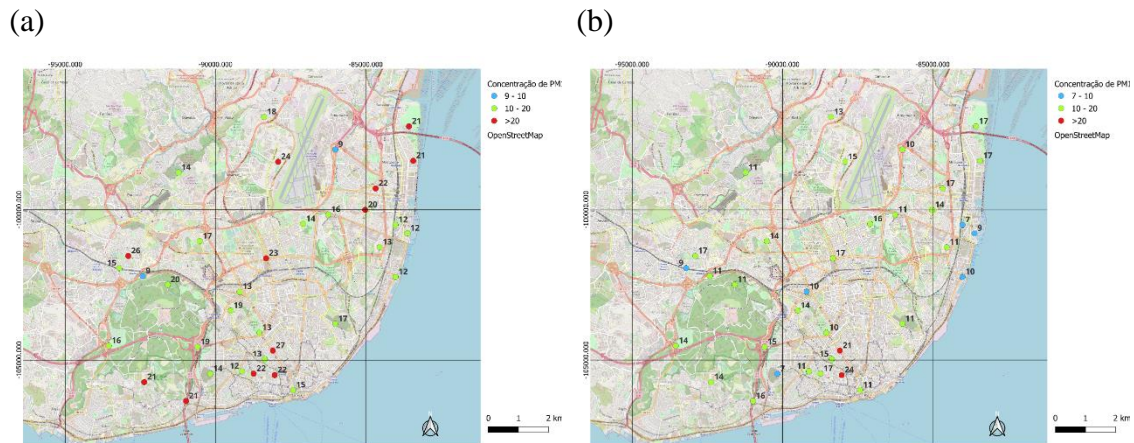


Figura 8 - Distribuição espacial das concentrações de PM10 observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.

Os mapas da Figura 9 mostram a distribuição espacial das concentrações de PM<sub>2,5</sub> observadas durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão, calculadas com base em valores médios diários.

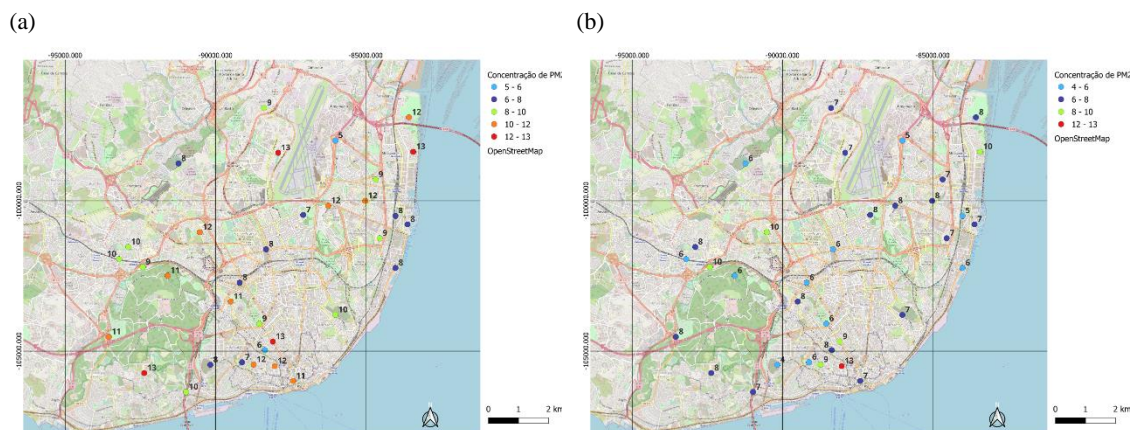


Figura 9 - Distribuição espacial das concentrações de PM<sub>2,5</sub> observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.

Identificam-se três zonas onde a concentração média de PM assume valores mais elevados. Junto à Avenida da Liberdade, nas estações Avenida da Liberdade – EMQA (Rede de Referência), CML ID11 - Avenida de Ceuta e CML ID77 - Rua da Atalaia. O problema da poluição na Avenida da Liberdade já foi previamente identificado no relatório de avaliação da qualidade em toda a região elaborado pela CCDR LVT, mas a análise dos resultados obtidos através da Rede de Monitorização de Parâmetros

Ambientais da CML, permite identificar que outros locais na sua proximidade, também podem constituir *hotspots* de poluição no que toca ao poluente PM.

As estações localizadas em Alcântara, em CML ID04 - Alcântara – Rua dos Lusíadas, CML ID10 - Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira e CML ID18 - Parque de Campismo de Lisboa, também registaram concentrações médias de PM elevadas. A estação CML ID04 - Alcântara – Rua dos Lusíadas está localizada por baixo do viaduto da A2, enquanto a estação do Parque de Campismo de Lisboa é uma estação do Tipo 2. No entanto, a estação do CML ID10 - Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira é do Tipo 3, o que realça o facto de as PM<sub>10</sub> serem um poluente que, devido às suas características de dispersão e fenómenos de ressuspensão, pode atingir concentrações elevadas mesmo em locais pouco afetados pelo tráfego e pouco urbanizados.

Também as estações localizadas em Moscavide e Sacavém, nomeadamente Olivais – EMQA (Rede de Referência), CML ID66 - Rua Ilha dos Amores e CML ID70 - Rua Chen He registaram concentrações médias elevadas. Estas estações estão circundadas por vias de tráfego, ainda que moderadamente movimentadas, e localizam-se também em zona urbana. Deste modo, qualquer que seja a direção do vento nesses locais, ocorre sempre transporte de partículas provenientes da área urbana e das vias de tráfego adjacentes.

A estação da CML ID67 - Rua Vasco da Gama Fernandes registou uma concentração média elevada, ainda que o mesmo não se tenha verificado nas estações próximas. Isto poderá dever-se às características específicas da rua em que a estação se insere, em termos de volume de tráfego e grau de urbanização. A rua é estreita, possui edifícios altos de um dos lados e é próxima ao aeroporto de Lisboa. O facto de a estação se localizar numa escola, também pode afetar os valores medidos, devido à maior afluência de tráfego verificada durante o período escolar. Simultaneamente, este resultado também é preocupante na medida em que mostra que um local maioritariamente por cidadãos de um grupo sensível, crianças e jovens, estão expostos a níveis elevados de poluição.

Por oposição, foram também identificados locais onde a concentração média de PM foi reduzida. Estas são sobretudo estações localizadas em espaços verdes, ou na proximidade imediata de espaços verdes, salientando a importância destes espaços para a manutenção da qualidade do ar em grandes cidades. Também as estações CML ID41 - Jardim do Braço de Prata, CML ID50 – Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo, CML ID72 - Parque das Nações – Rua Mário Botas e CML ID80 - Rua Nau Catrineta Cruz Rua Nova dos Mercadores registaram concentrações reduzidas. Isto ocorre devido ao facto de estas estações não possuírem vias de tráfego do lado adjacente ao rio, o que garante que sejam

mais influenciadas pelos ventos limpos daí oriundos, resultando em concentrações médias mais reduzidas.

As condições meteorológicas são um fator determinante na qualidade do ar ambiente, pelo que é importante observar o comportamento das concentrações registadas nas diferentes estações do ano e ao longo do dia.

Os mapas da Figura 8 e o Gráfico 19 permitem também observar que as concentrações médias de PM são tendencialmente mais reduzidas durante o período de Primavera/Verão do que no período de Outono/Inverno.

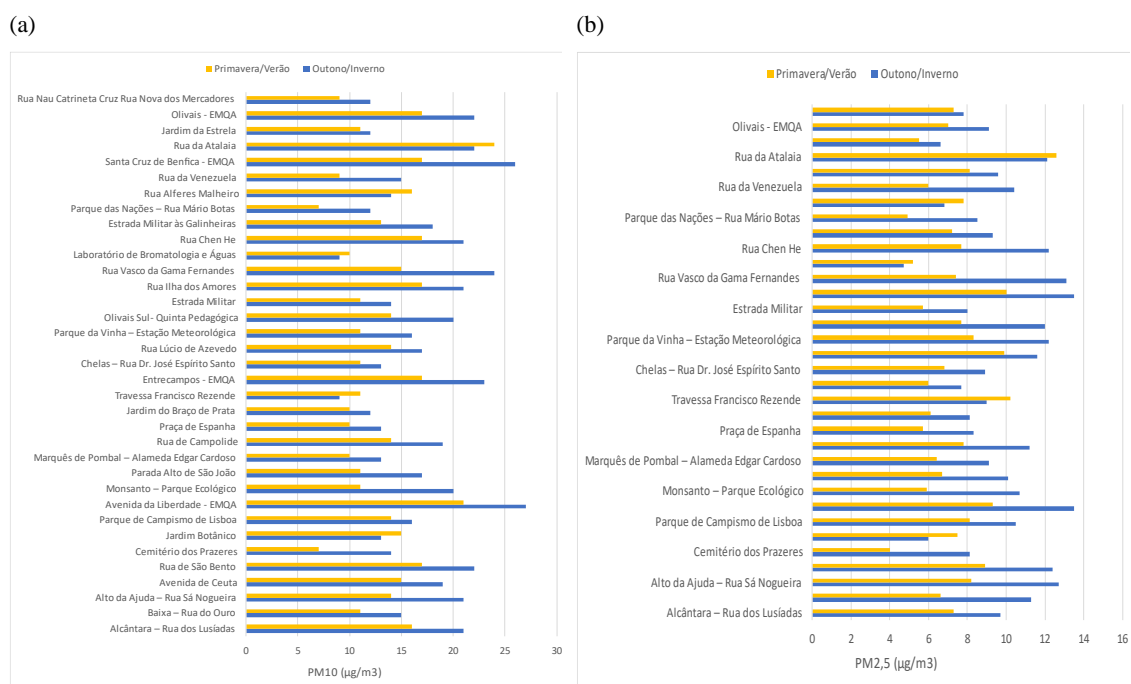


Gráfico 19 - Diferença entre a concentração média de (a) PM<sub>10</sub> e (b) PM<sub>2,5</sub> observada nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão.

Este facto dever-se-á não só à utilização de sistemas de aquecimento a lenha nas habitações, mas também devido à estabilidade atmosférica observada nos meses de inverno. Dado que a temperatura e a radiação solar são reduzidas neste período diminuindo a altura da camada de mistura durante o dia e diminuindo também a altura da inversão de superfície (e consequentemente a camada de mistura) durante a noite, conduzindo ao aumento da concentração de poluentes à superfície.

No caso das estações CML ID17 – Jardim Botânico, CML ID42 – Travessa Francisco Rezende, CML ID68 - Laboratório de Bromatologia e Águas, CML ID73 - Rua Alferes Malheiro e CML ID77 - Rua da Atalaia, verificou-se que a média correspondente ao período de Primavera/Verão foi ligeiramente superior à registada no período

Outono/Inverno. Isto poderá dever-se ao contributo de fontes locais, mais relevantes durante o período de Primavera/Verão, ou poderá ser devido ao desajuste destas estações num dos dois períodos em estudo, levando ao registo de concentrações de uma ordem de grandeza diferente da expectável.

O Gráfico 20 mostra a variação horária do poluente PM<sub>10</sub>, calculada com base nos dados registados ao longo do ano 2022, nas estações CML ID04 (Tipo 1), CML ID17 (Tipo 3), CML ID25 (Tipo 3), CML ID32 (Tipo 2), CML ID53 (Tipo 2) e CML ID77 (Tipo 1).

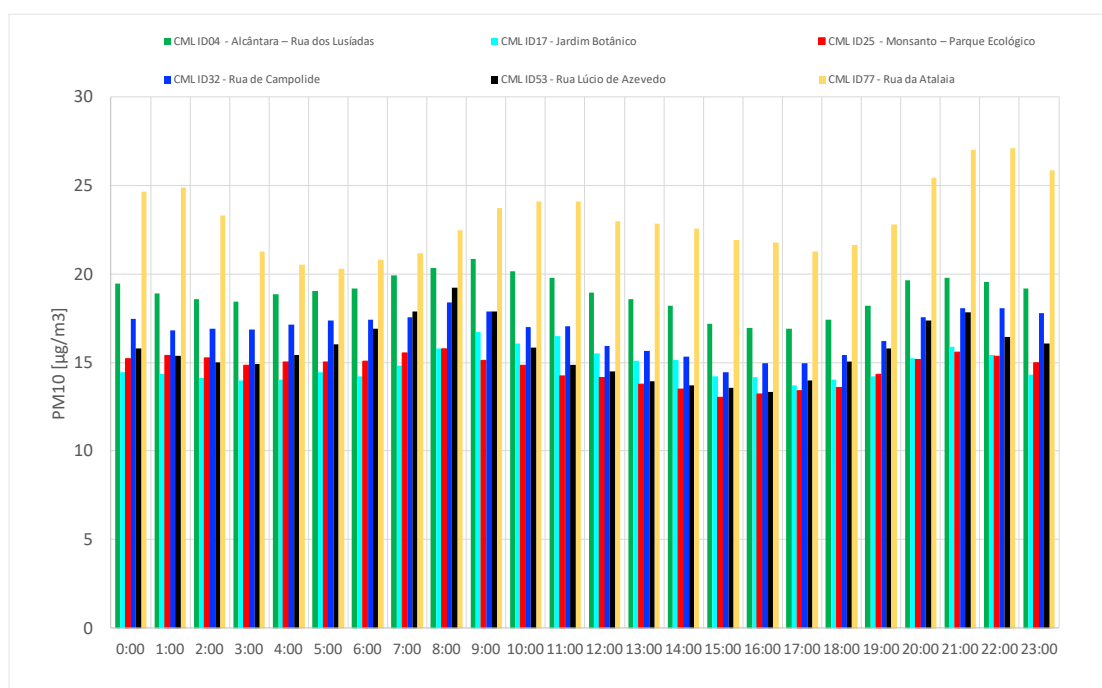


Gráfico 20 - Variação horária do poluente PM<sub>10</sub> ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos.

O Gráfico 21 mostra a variação horária do poluente PM<sub>2,5</sub>, calculada com base nos dados registados ao longo do ano 2022, nas estações CML ID08 (Tipo 1), CML ID10 (Tipo 3), CML ID26 (Tipo 2), CML ID32 (Tipo 2), CML ID70 (Tipo 3) e CML ID77 (Tipo 1).

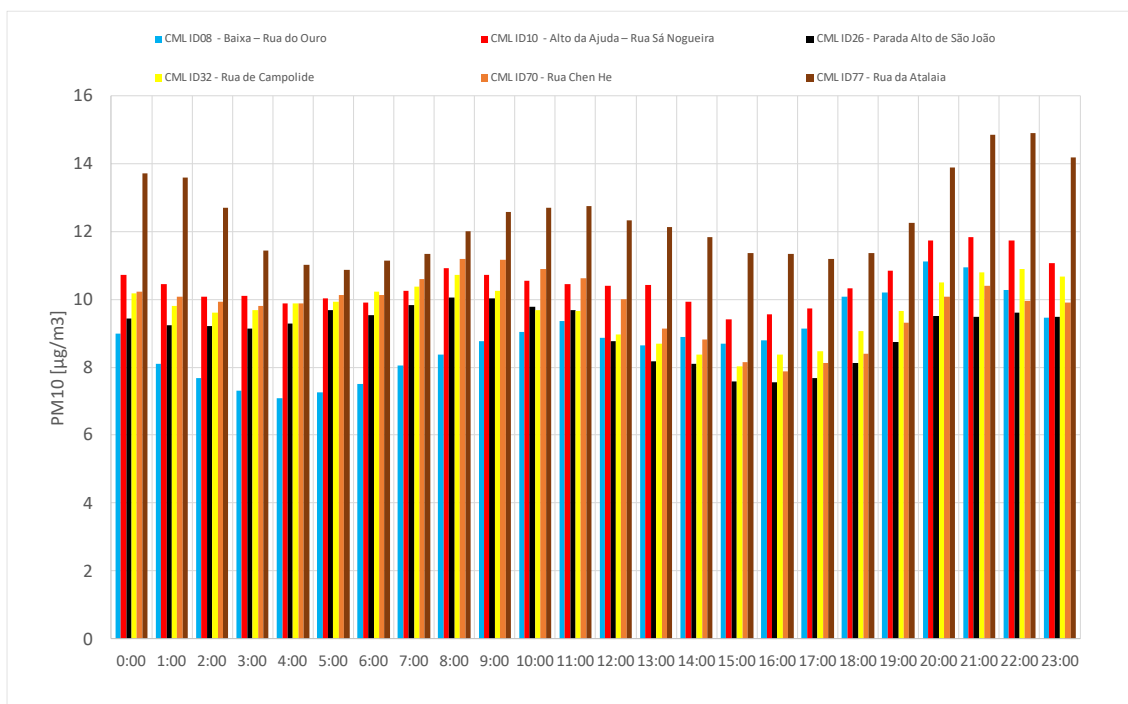


Gráfico 21 - Variação horária do poluente PM<sub>2,5</sub> ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos.

Identificam-se dois períodos do dia em que as concentrações de PM são mais elevadas, nomeadamente entre as 8h e as 14h e entre as 18h e as 23h. Estes períodos do dia sobrepõem-se com horários em que o volume de tráfego é superior, evidenciando o tráfego como uma fonte proeminente deste poluente.

A relação entre a hora (média) com maior valor e a hora (média) com menor valor de concentração de PM, é superior nas estações com mais influência do tráfego, resultando numa curva de variação média horária com uma variação mais acentuada, ao passo que, nas estações em que a influência do tráfego é menor, a variação da curva assume contornos mais suaves. Exemplificando, a razão entre a hora (média) com maior valor e a hora (média) com menor valor de concentração para a estação CML ID77 – Rua da Atalaia assume o valor de 1,33. Já as estações CML ID17 – Jardim Botânico e CML ID25 – Monsanto – Parque Ecológico, apresentam razões próximas a 1,20. Deste modo, é possível estabelecer a forte contribuição do tráfego para as concentrações de PM e a sua variação ao longo do dia.

Apesar de as concentrações de PM registadas nas estações urbanas serem influenciadas pelas emissões do tráfego automóvel, verifica-se que se mantêm níveis elevados de partículas em outros períodos do dia. Além disso, concentrações elevadas de partículas são observadas mesmo em estações do Tipo 3. Este comportamento poderá ser

explicado pelo transporte, pela ocorrência de fenômenos de ressuspensão de partículas e pela formação de partículas secundárias.

#### **5.4.2 NO<sub>2</sub>**

A Tabela 51 exibe o número de excedências ao Valor Limite Horário de  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  e a conformidade com o Valor Limite Anual de  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, ao longo do ano 2022.

Tabela 51 - Número de excedências ao Valor Limite Horário de  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  e a conformidade com o Valor Limite Anual de  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML.

ID	Designação da Estação	Nº de Excedências	
		Valor Limite Horário ( $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valor Limite Anual ( $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
4	Alcântara – Rua dos Lusíadas	0	Cumpre
8	Baixa – Rua do Ouro	0	Não Cumpre
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	0	Cumpre
11	Avenida de Ceuta	0	Cumpre
12	Rua de São Bento	0	Não Cumpre
16	Cemitério dos Prazeres	0	Não Cumpre
17	Jardim Botânico	0	Cumpre
18	Parque de Campismo de Lisboa	0	Cumpre
25	Monsanto – Parque Ecológico	0	Cumpre
32	Rua de Campolide	0	Não Cumpre
41	Jardim do Braço de Prata	0	Cumpre
42	Travessa Francisco Rezende	0	Cumpre
45	Rua Frei Carlos	0	Não Cumpre
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	0	Cumpre
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	0	Cumpre
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	0	Cumpre
63	Estrada Militar	0	Cumpre
66	Rua Ilha dos Amores	0	Cumpre
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	0	Cumpre
70	Rua Chen He	0	Cumpre
71	Estrada Militar às Galinheiras	0	Cumpre
73	Rua Alferes Malheiro	0	Não Cumpre
77	Rua da Atalaia	0	Cumpre
78	Jardim da Estrela	0	Não Cumpre
RR	Avenida da Liberdade	2	Não Cumpre
RR	Entrecampos	0	Cumpre
RR	Santa Cruz de Benfica	0	Cumpre
RR	Olivais	0	Cumpre
RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT			

Não foram observadas excedências ao VLH em nenhuma das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, tendo-se registado duas excedências na estação da Avenida da Liberdade da Rede de Referência.

O VLA não foi cumprido num total de oito estações, sendo uma delas a estação da Avenida da Liberdade da Rede de Referência. As restantes excedências ocorreram em

33% das estações do Tipo 1, 42% das estações do Tipo 2, e 11% das estações do Tipo 3. Estes resultados evidenciam a influência do tráfego rodoviário na concentração deste poluente.

A Tabela 52 exibe o número de excedências ao Valor Alvo Diário e a conformidade com o Valor Alvo Anual, recomendados pela OMS, observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, ao longo do ano 2022.

Tabela 52 - Número de excedências ao Valor Alvo Diário e a conformidade com o Valor Alvo Anual, recomendados pela OMS, observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML.

ID	Designação da Estação	Nº de Excedências	
		Valor Alvo Diário (25µg/m <sup>3</sup> )	Valor Alvo Anual (10µg/m <sup>3</sup> )
4	Alcântara – Rua dos Lusíadas	168	Não Cumpre
8	Baixa – Rua do Ouro	297	Não Cumpre
10	Alto da Ajuda – Rua Sá Nogueira	188	Não Cumpre
11	Avenida de Ceuta	184	Não Cumpre
12	Rua de São Bento	235	Não Cumpre
16	Cemitério dos Prazeres	307	Não Cumpre
17	Jardim Botânico	199	Não Cumpre
18	Parque de Campismo de Lisboa	171	Não Cumpre
25	Monsanto – Parque Ecológico	82	Não Cumpre
32	Rua de Campolide	234	Não Cumpre
41	Jardim do Braço de Prata	97	Não Cumpre
42	Travessa Francisco Rezende	290	Não Cumpre
45	Rua Frei Carlos	256	Não Cumpre
50	Chelas – Rua Dr. José Espírito Santo	215	Não Cumpre
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	108	Não Cumpre
60	Olivais Sul- Quinta Pedagógica	238	Não Cumpre
63	Estrada Militar	157	Não Cumpre
66	Rua Ilha dos Amores	179	Não Cumpre
67	Rua Vasco da Gama Fernandes	196	Não Cumpre
70	Rua Chen He	182	Não Cumpre
71	Estrada Militar às Galinheiras	232	Não Cumpre
73	Rua Alferes Malheiro	281	Não Cumpre
77	Rua da Atalaia	168	Não Cumpre
78	Jardim da Estrela	305	Não Cumpre
RR	Avenida da Liberdade	302	Não Cumpre
RR	Entrecampos	210	Não Cumpre
RR	Santa Cruz de Benfica	190	Não Cumpre
RR	Olivais	126	Não Cumpre

ID	Designação da Estação	Nº de Excedências	
		Valor Alvo Diário (25µg/m <sup>3</sup> )	Valor Alvo Anual (10µg/m <sup>3</sup> )
RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT			

Ocorreram várias excedências ao Valor Alvo Diário em todas as estações em análise. Salientam-se as estações CML ID08 - Baixa – Rua do Ouro, CML ID16 - Cemitério dos Prazeres, CML ID42 - Travessa Francisco Rezende, CML ID45 - Rua Frei Carlos, CML ID73 - Rua Alferes Malheiro, CML ID78 - Jardim da Estrela e Avenida da Liberdade (Rede de Referência), cujo número de excedências foi superior a 250.

O Valor Alvo Anual não foi cumprido em nenhuma das estações em análise, quer da Rede de Referência, que da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML.

Os mapas da Figura 10 mostram a distribuição espacial das concentrações de NO<sub>2</sub> observadas durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão, calculadas com base em valores horários.

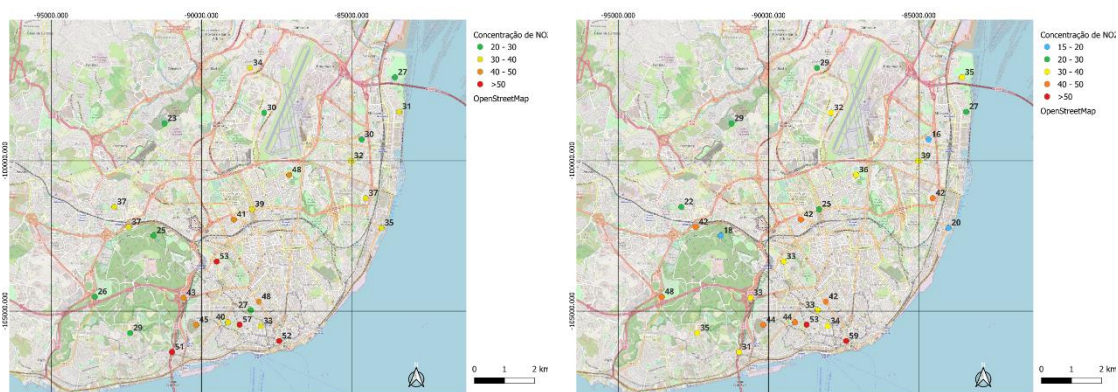


Figura 10 - Distribuição espacial das concentrações de NO<sub>2</sub> observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.

Tanto no período Outono/Inverno como no período Primavera/Verão, identifica-se uma zona, próxima à Avenida da Liberdade, onde as concentrações de NO<sub>2</sub> atingem valores elevados. Destacam-se as estações CML ID04 - Alcântara – Rua dos Lusíadas, CML ID08 - Baixa – Rua do Ouro, CML ID12 - Rua de São Bento, Avenida da Liberdade (Rede de Referência) e CML ID45 - Rua Frei Carlos (43% das estações do Tipo 1 e 15% das estações do Tipo 2). Esta zona é caracterizada por um elevado volume de tráfego, que conduz ao aumento das concentrações de NO<sub>2</sub> registadas nestes locais.

Ainda na proximidade da Avenida da Liberdade, destacam-se as estações CML ID17 - Jardim Botânico, CML ID77 - Rua da Atalaia e CML ID78 - Jardim da Estrela. Nestes

locais, as concentrações registadas foram reduzidas. Salienta-se a proximidade de duas destas estações com espaços verdes, demonstrando a importância destes como espaços de lazer/estar da população em grandes cidades.

Nas concentrações registadas no resto da cidade não se verificam valores elevados de concentração de NO<sub>2</sub>, particularmente nas estações próximas ao rio, sobretudo devido à menor densidade populacional, menor afluência de tráfego e massas de ar mais limpas provenientes do estuário do Tejo.

Ainda que as concentrações de NO<sub>2</sub> sejam tendencialmente mais elevadas no período de Outono/Inverno, sobretudo devido à estabilidade da atmosfera verificada neste período, não se identifica uma diferença acentuada entre os dois períodos. O Gráfico 22 representa a diferença entre a concentração média do poluente NO<sub>2</sub> durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão.

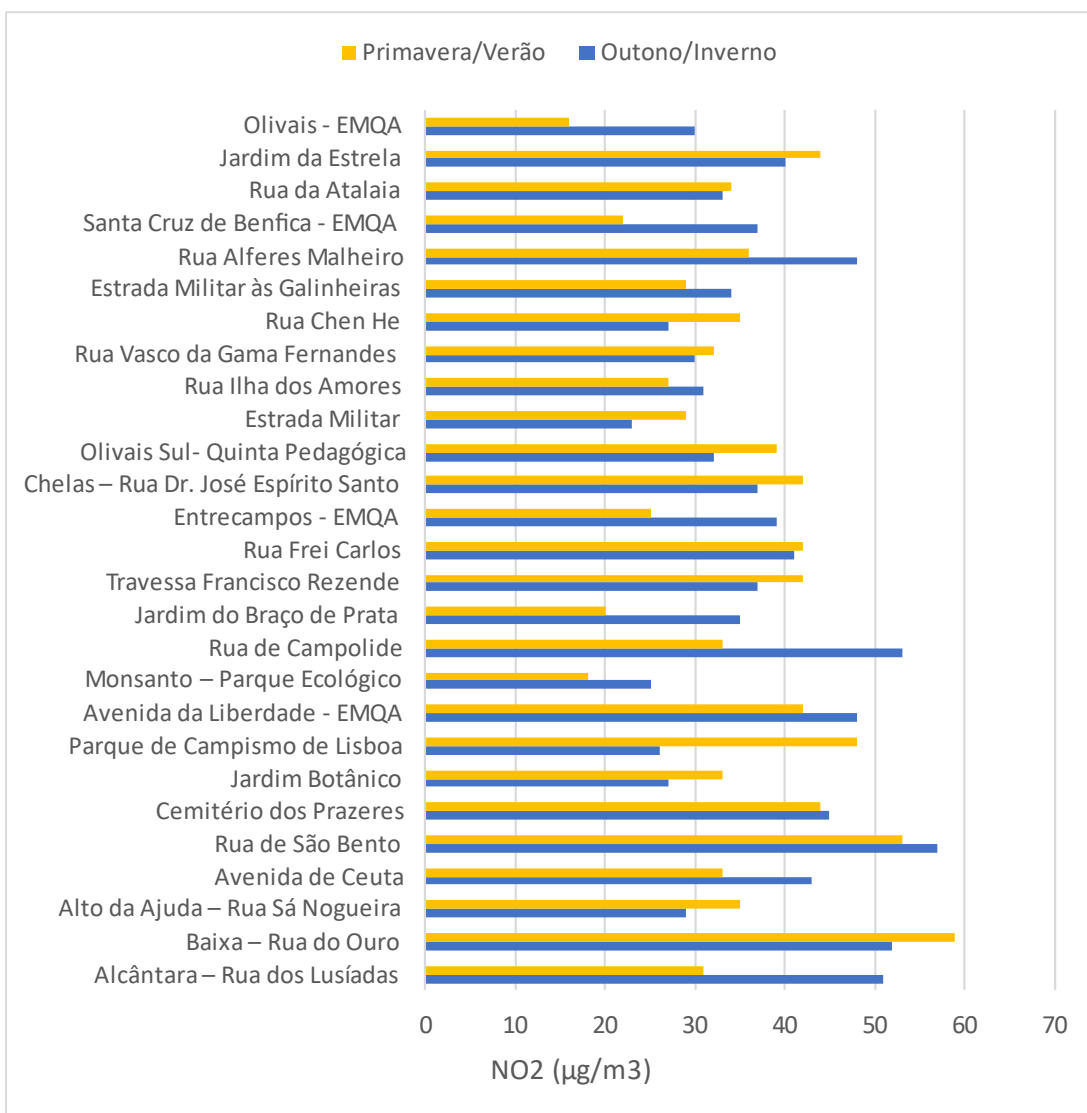


Gráfico 22 - Média do poluente NO<sub>2</sub> nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão.

Em alguns locais, a diferença entre as médias observadas para os dois períodos prende-se sobretudo com a afluência de tráfego ao local em questão, em determinada altura do ano. Exemplificando, a afluência ao Parque de Campismo de Lisboa é superior durante o período de Primavera/Verão, justificando o valor médio mais elevado registado nesta altura do ano. Em outros locais, as diferenças observadas prendem-se sobretudo com o comportamento dos parâmetros meteorológicos nas diferentes estações verifica-se existência de condições favoráveis à ocorrência de estabilidade atmosférica no Inverno.

O Gráfico 23 variação horária do poluente NO<sub>2</sub>, calculada com base nos dados registados ao longo do ano 2022, nas estações CML ID04 (Tipo 1), CML ID10 (Tipo 3), CML ID11 (Tipo 3), CML ID16 (Tipo 2), CML ID50 (Tipo 2).

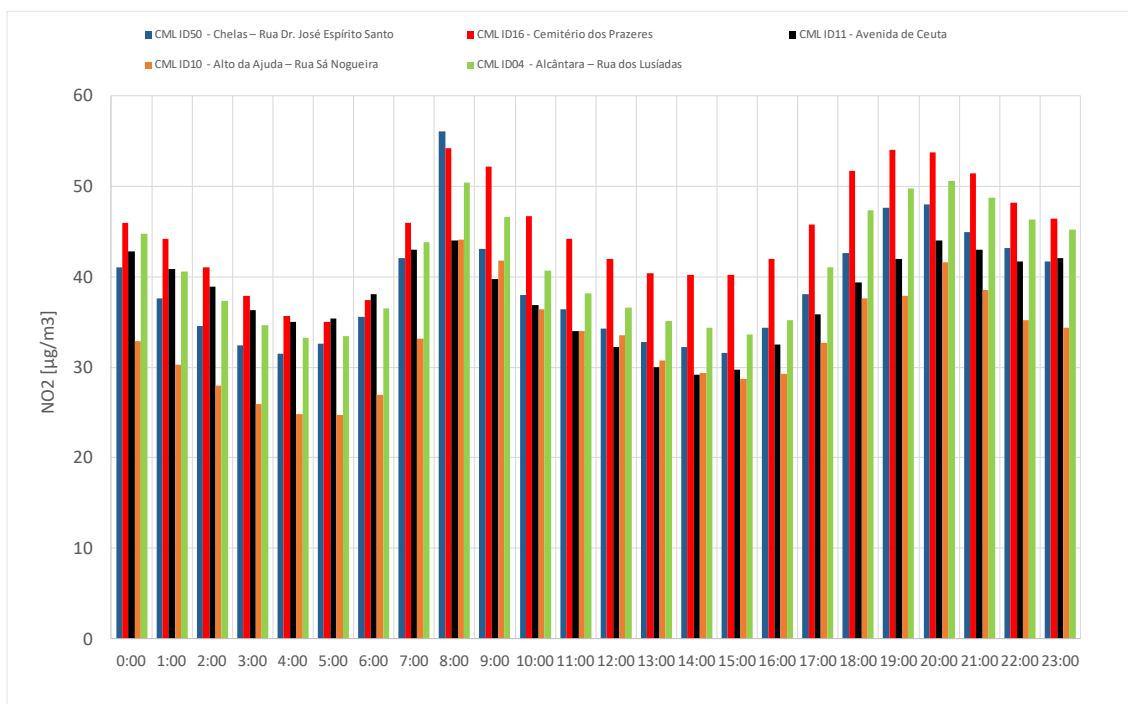


Gráfico 23 - Variação horária do poluente NO<sub>2</sub> ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos.

Identificam-se dois períodos do dia em que as concentrações de NO<sub>2</sub> são mais elevadas. O primeiro período ocorre entre as 06h e as 10h, e o segundo período ocorre a partir das 17h, mantendo concentrações mais elevadas até às 03h. Estes períodos coincidem com os períodos em que o tráfego é mais intenso, evidenciando-o como uma fonte importante de NO<sub>2</sub>.

O decréscimo de concentração verificado entre as 10h e as 17h ocorre fundamentalmente devido às boas condições e dispersão e ao decréscimo do volume de tráfego, ocorrendo menos emissão de NO<sub>2</sub>, aliado ao seu consumo por via fotoquímica que resulta na formação de O<sub>3</sub>. No entanto, no período de final de tarde/noite, a concentração de NO<sub>2</sub> mantém-se em concentrações mais elevadas, sobretudo devido às más condições de dispersão observadas neste período do dia. Além disso, a ausência de radiação solar impede a dissociação fotoquímica do NO<sub>2</sub>, o que diminuiu o seu consumo neste período.

### 5.4.3 CO

Não foram registadas quaisquer excedências ao Valor Limite das Médias Octo-horárias (10 mg/m<sup>3</sup>) definido no RJAGQAR, ao valor alvo diário (4 mg/m<sup>3</sup>) nem ao valor

alvo horário ( $30 \text{ mg/m}^3$ ) recomendados pela OMS. A evolução tecnológica da indústria automóvel e as cada vez mais restritas normas de emissão para veículos automóveis, tem conduzido à diminuição significativa das concentrações de CO no ar ambiente.

Ainda assim, é importante analisar a sua distribuição espacial, sazonal e horária, por forma a melhor caracterizar as suas fontes e a qualidade do ar na cidade de Lisboa.

Os mapas da Figura 11 mostram a distribuição espacial das concentrações de CO observadas durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão.

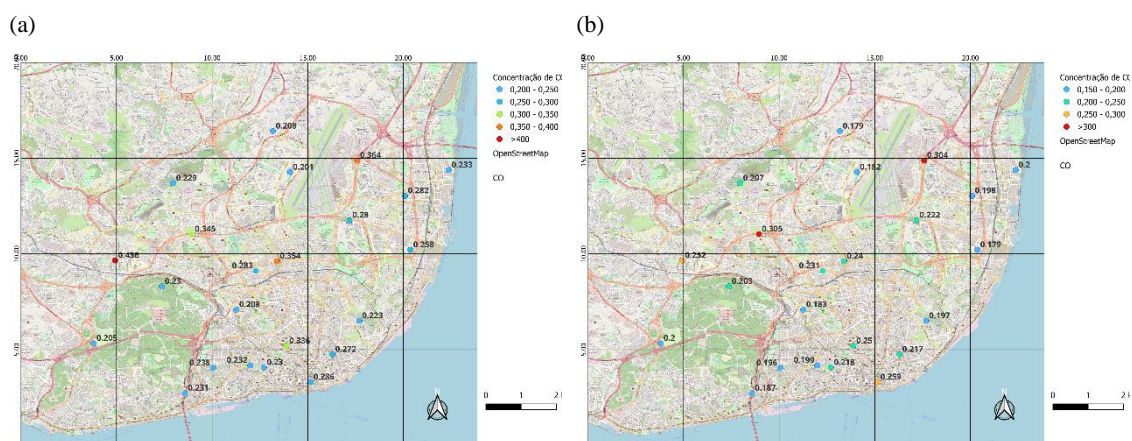


Figura 11 - Distribuição espacial das concentrações de CO observadas durante (a) o período de Outono/Inverno e durante (b) o período Primavera/Verão.

Não se observam zonas em que a concentração de CO seja mais elevada, destacando-se apenas as estações Avenida General Norton de Matos e Laboratório de Bromatologia e Águas, ambas do Tipo 1, em que se verificam concentrações mais elevadas tanto no período Outono/Inverno como no período Primavera/Verão, ainda que muito inferiores ao VLO.

O Gráfico 24 representa a diferença entre a concentração média do poluente CO durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão.

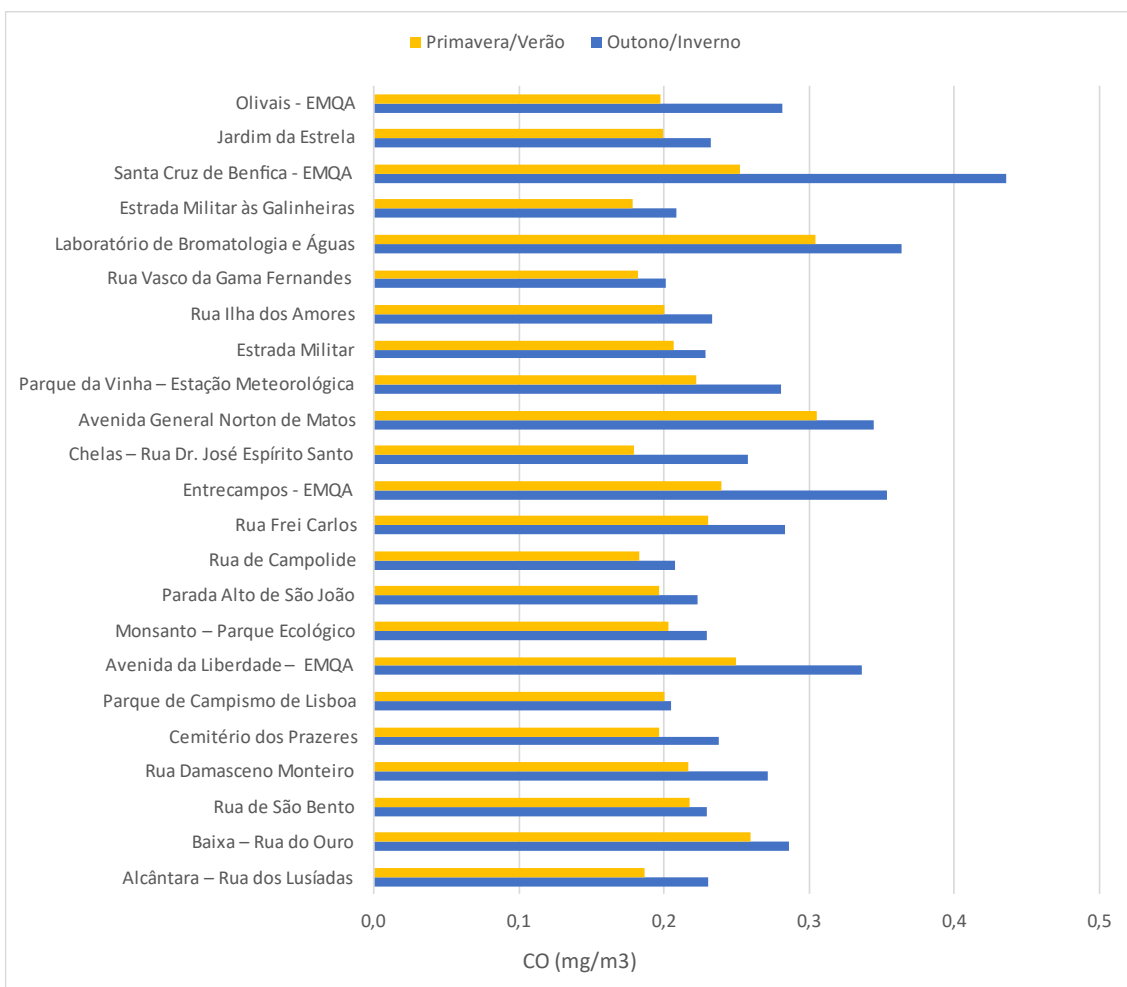


Gráfico 24 - Média da concentração do poluente CO nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão.

Conclui-se que a concentração de CO é mais elevada durante o período de Outono/Inverno, devido às condições de estabilidade atmosférica e menor altura da camada limite.

O Gráfico 25 variação horária do poluente CO, calculada com base nos dados registados ao longo do ano 2022, nas estações CML ID04 (Tipo 1), CML ID08 (Tipo 1), CML ID18 (Tipo 2), CML ID25 (Tipo 3), CML ID32 (Tipo 2) e CML ID63 (Tipo 3).

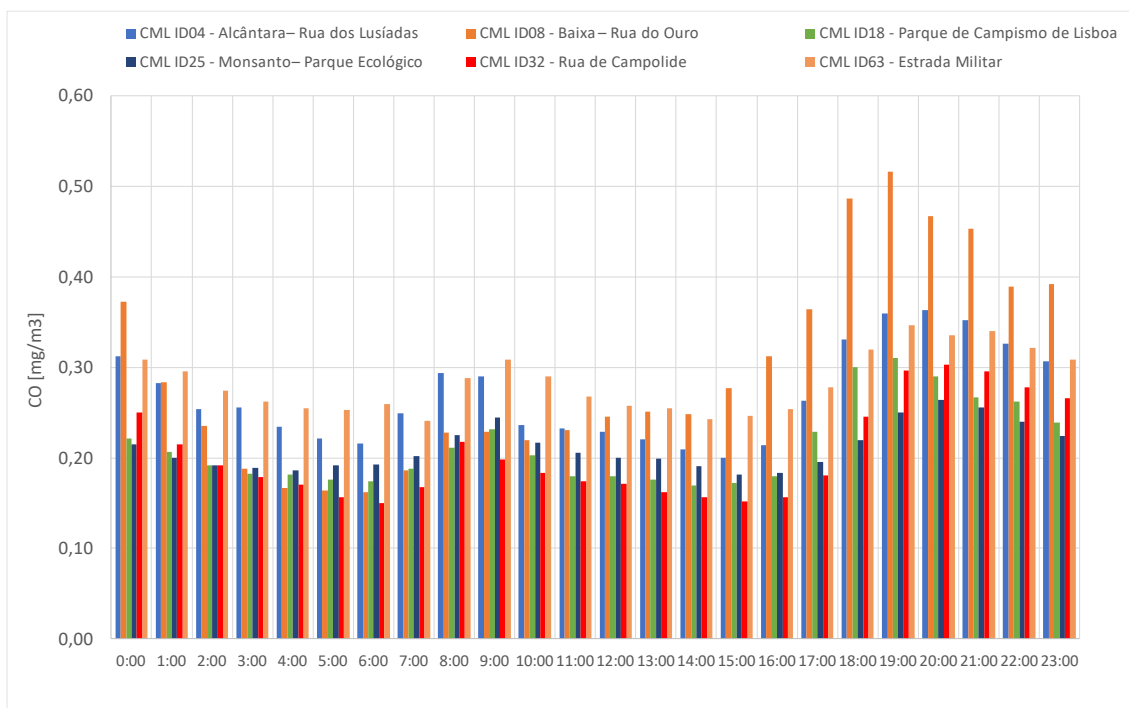


Gráfico 25 - Variação horária do poluente CO ao longo do ano 2022, em estações de diferentes tipos.

Identificam-se dois períodos do dia em que as concentrações de CO são mais elevadas, nomeadamente entre as 7h e as 11h e entre as 17h e as 21h. Estes períodos do dia são coincidentes com os horários em que o volume de tráfego é superior, evidenciando o tráfego como uma das principais fontes deste poluente.

#### 5.4.4 O<sub>3</sub>

A Tabela 53 exhibe o número de excedências ao Limiar de Informação de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ao Limiar de Alerta de 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e ao Valor Limite das Médias Octo-horárias de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e ao Valor Alvo estabelecido pela OMS, observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML consideradas, ao longo do ano 2022.

Tabela 53 - Número de excedências aos limiares e valores alvo estabelecidos para o O<sub>3</sub> observadas nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML.

ID	Designação da Estação	Nº de Excedências			
		Limiar de Informação (180µg/m <sup>3</sup> )	Limiar de Alerta (240 µg/m <sup>3</sup> )	Valor Limite das Médias Octo-horárias (120 µg/m <sup>3</sup> )	Valor Alvo das Médias Octo-horárias - OMS (100 µg/m <sup>3</sup> )
45	Rua Frei Carlos	0	0	52	467
59	Parque da Vinha – Estação Meteorológica	0	0	125	577
RR	<sup>2</sup> Entrecampos	0	0	2 <sup>1</sup>	128
RR	Olivais	0	0	5 <sup>1</sup>	232

RR – Rede de Referência da APA/CCDR LVT

<sup>1</sup>Média dos últimos 3 anos

<sup>2</sup>A eficiência foi inferior a 85%, pelo que não se avalia o cumprimento do valor alvo.

A estação de referência situada nos Olivais registou uma média de cinco excedências ao VLO nos últimos três, pelo que se considera o cumprimento deste valor limite.

Para as estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, não é possível estabelecer a média dos últimos três anos. De acordo com o RJAGQAR, se não for possível determinar as médias de períodos de três anos com base num conjunto completo e consecutivo de dados anuais, os dados mínimos necessários à verificação da observância do valor alvo para a proteção da saúde humana, isto é, o VLO, são os dados válidos respeitantes a um ano.

Assim, considera-se não cumprido o valor alvo para proteção da saúde humana nas estações CML ID75 - Rua Frei Carlos (Tipo 2) e CML ID59 - Parque da Vinha – Estação Meteorológica (Tipo 3), tendo sido largamente excedido o limite de 25 excedências permitidas por ano civil. Salienta-se o número de excedências muito elevado verificado na estação Parque da Vinha – Estação Meteorológica. Também o valor alvo estabelecido pela OMS foi frequentemente ultrapassado em ambas as estações em análise.

Sendo as concentrações deste poluente bastante influenciadas pelas condições meteorológicas observadas, verifica-se que em anos com maior ocorrência de ondas de calor se registou normalmente um maior número de ultrapassagens ao limiar de informação e ao valor alvo. Atendendo a que o ano 2022 registou médias de temperaturas superiores à Normal Climatológica 1981-2010 para a Cidade de Lisboa, considera-se que foi um ano favorável à formação de O<sub>3</sub> troposférico.

Não existe nenhuma estação do Tipo 1 da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML que efetue a medição de O<sub>3</sub>, pelo que não é possível relacionar as concentrações de O<sub>3</sub> com o tráfego.

O Gráfico 26 representa a diferença da concentração média do poluente O<sub>3</sub> durante o período de Outono/Inverno e durante o período Primavera/Verão.

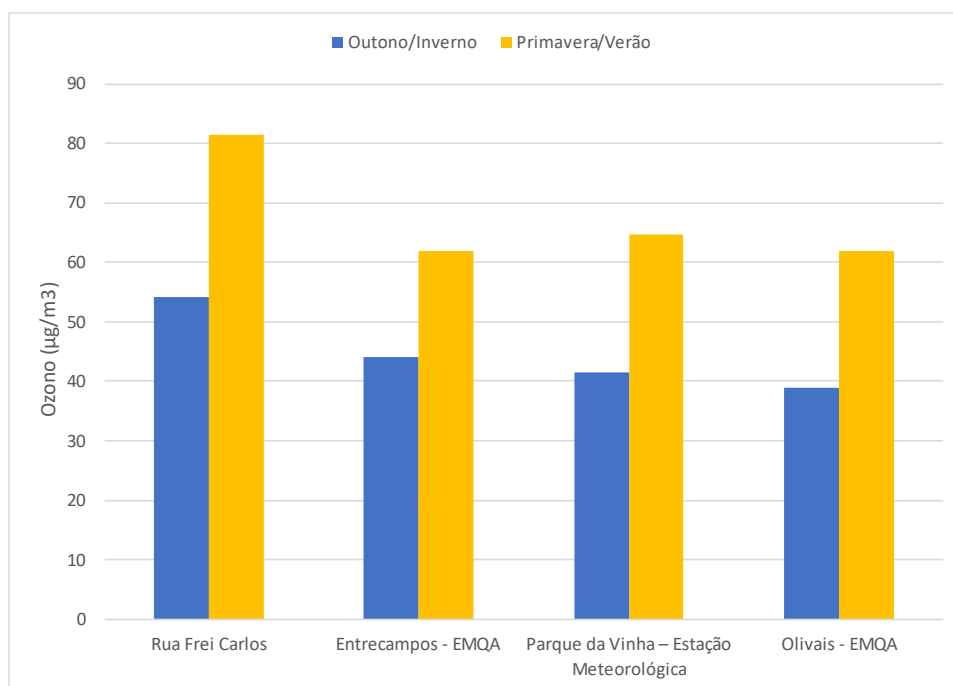


Gráfico 26 - Média da concentração do poluente O<sub>3</sub> nos períodos de Outono/Inverno e Primavera/Verão.

Os valores de O<sub>3</sub> registado no período Primavera/Verão foram muito superiores aos registados no período de Outono/Inverno. A formação de O<sub>3</sub> troposférico está dependente da existência de radiação solar, pelo que é natural que a sua concentração seja mais elevada nos períodos do ano em que a radiação solar é mais intensa, isto é, nos meses de abril a setembro.

O Gráfico 27 variação horária do poluente O<sub>3</sub>, calculada com base nos dados registados ao longo do ano 2022.

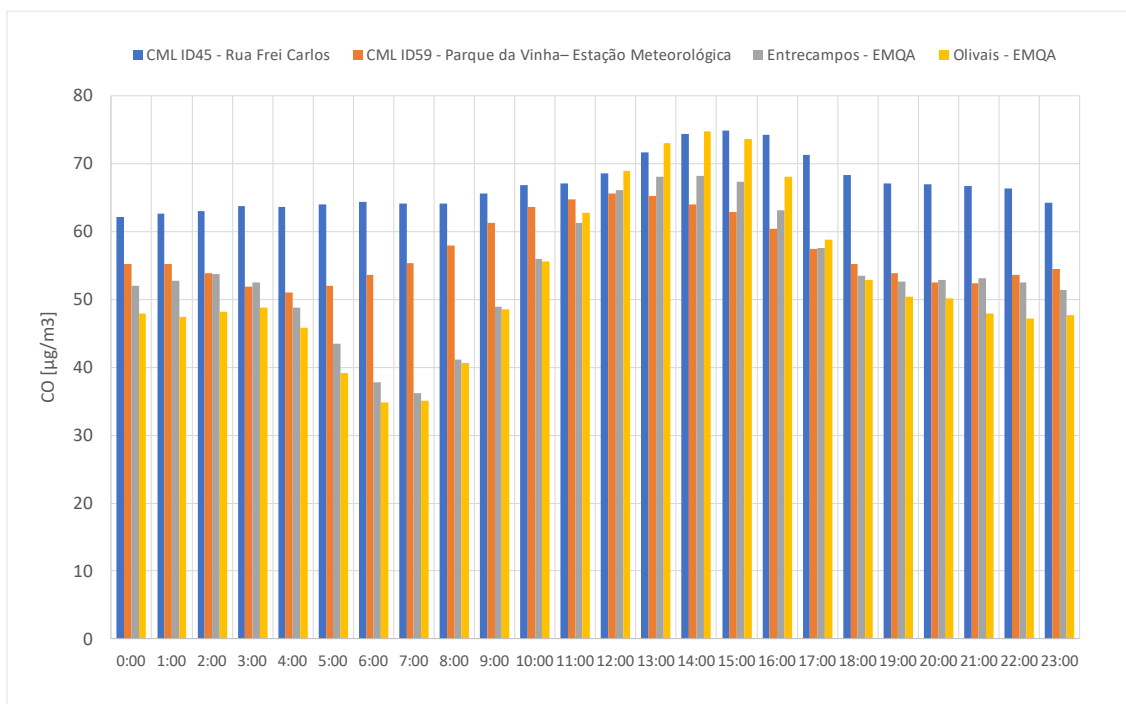


Gráfico 27 - Variação horária do poluente O<sub>3</sub> ao longo do ano 2022.

Verifica-se um período em que a concentração de O<sub>3</sub> é mais elevada, entre as 12h e as 16h, coincidente com o período de maior intensidade de radiação solar. Neste período, a taxa de foto dissociação do NO<sub>2</sub> é mais elevada, potenciando a formação de O<sub>3</sub> troposférico. O O<sub>3</sub> apresenta também uma relação inversa com o volume de tráfego ao longo do dia. Isto ocorre porque, nos períodos em que o volume de tráfego é superior, ocorre maior emissão de NO, que consome o O<sub>3</sub> numa reação química que resulta na formação de NO<sub>2</sub>.

## 6 CONCLUSÃO

A presente dissertação avaliou o desempenho e a qualidade dos dados recolhidos pelas estações de monitorização da qualidade do ar implementada pela Câmara Municipal de Lisboa e, simultaneamente, avaliou a qualidade do ar na cidade de Lisboa no ano de 2022.

Por forma a avaliar o desempenho das estações portáteis que constituem a Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, efetuou-se a comparação direta dos valores medidos pelas estações portáteis colocadas nos edifícios das estações de referência situadas na Avenida da Liberdade, Entrecampos, Santa Cruz de Benfica e Olivais com os valores medidos pela estação de referência correspondente. A análise foi realizada para o ano de 2022.

### Avaliação do desempenho das estações portáteis (tecnologia Monitarsense):

Para a avaliação do desempenho das estações portáteis utilizou-se o coeficiente de determinação, o declive da reta de regressão e o critério de incerteza máxima como critérios.

A análise do declive e da interceção permitiu identificar uma grande variabilidade na resposta ao longo do tempo. Para todos os poluentes, ao longo do ano de 2022, se verificaram períodos em que uma dada estação deu um resultado muito satisfatório e outras situações em que o desempenho foi insatisfatório. No que toca ao desempenho das estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, concluiu-se que as estações apresentam um bom desempenho na medição de partículas em suspensão, em especial para  $PM_{10}$ . Para as  $PM_{10}$  foram obtidos os seguintes resultados de coeficiente de determinação médio para o ano de 2022 considerando médias diárias:  $R^2$  de 0,75 para a estação da Avenida da Liberdade;  $R^2$  de 0,59 para a estação de Entrecampos;  $R^2$  de 0,61 para a estação de Benfica e  $R^2$  de 0,62 para a estação dos Olivais.

Para o  $NO_2$  foram obtidos os seguintes resultados de coeficiente de determinação médio para o ano de 2022 considerando médias horárias:  $R^2$  de 0,88 para a estação da Avenida da Liberdade;  $R^2$  de 0,70 para a estação de Entrecampos;  $R^2$  de 0,53 para a estação de Benfica e  $R^2$  de 0,84 para a estação dos Olivais. A análise de correlação considerando médias diárias apresenta resultados menos satisfatórios do que a análise de correlação utilizando médias horárias. Ainda assim, os resultados de coeficiente de determinação anual  $R^2$  demonstram um desempenho satisfatório das estações. Observaram-se resultados similares para o CO.

Os resultados obtidos na avaliação do desempenho da medição de O<sub>3</sub> foram similares aos obtidos para as partículas em suspensão, ainda que os valores de declive se tenham afastado mais de 1.

A análise de incerteza máxima, contrariamente à análise da correlação linear, permite eliminar a influência dos dados espúrios no desempenho da estação. Enquanto a análise da correlação linear mostrou um mau desempenho das estações em determinados períodos, a análise de incerteza máxima permitiu demonstrar que, em alguns desses períodos, uma percentagem muito elevada de valores se encontrava contida nos intervalos de referência, demonstrando o seu bom desempenho.

Considerando o critério de incerteza máxima, calculado considerando simultaneamente a incerteza máxima admitida para medições de referência e a incerteza máxima admitida para medições indicativas, verifica-se que, para os poluentes PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, os resultados obtidos foram muito satisfatórios, sendo que mais de 90% dos dados recolhidos durante o ano 2022, médias diárias, estão contidos neste intervalo, com exceção da estação de Entrecampos, para o poluente PM<sub>2,5</sub>.

Para o poluente NO<sub>2</sub>, considerando o critério de incerteza máxima, calculado considerando simultaneamente a incerteza máxima admitida para medições de referência e a incerteza máxima admitida para medições indicativas, verificou-se que cerca de 60% dos dados recolhidos durante o ano 2022, médias horárias, neste intervalo. A análise de incerteza máxima considerando médias diárias apresentou resultados superiores aos observados para na análise de incerteza máxima considerando médias horárias, sendo que a resposta das estações portáteis se encontra com um desempenho na entre 70% e 87% (dependendo da estação) de valores a cumprir a exigência para medições indicativas.

Para o poluente CO, médias octo-horárias, considerando o critério de incerteza máxima, calculado considerando simultaneamente a incerteza máxima admitida para medições de referência e a incerteza máxima admitida para medições indicativas, a resposta das estações portáteis se encontra com um desempenho na entre 65% e 82% (dependendo da estação) de valores a cumprir a exigência para medições indicativas.

Para o poluente ozono, médias horárias, considerando o critério de incerteza máxima, calculado considerando simultaneamente a incerteza máxima admitida para medições de referência e a incerteza máxima admitida para medições indicativas, verificou-se que cerca de 81% dos dados recolhidos durante o ano 2022, na estação dos Olivais, se encontram contidos neste intervalo. Para a estação localizada em Entrecampos o resultado foi de 67%.

Globalmente, considera-se que o desempenho das estações portáteis da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, tecnologia analisada (Monitarsense), é satisfatório e de qualidade próxima da exigida para medições indicativas. Salienta-se que estes resultados foram obtidos sem eliminação de dados espúrios ou períodos de mau funcionamento das estações por falta de manutenção ou outros fatores (*e.g.* entrada de insetos ou água na linha de amostragem, avaria da bomba de amostragem).

O facto de o desempenho das estações portáteis, para todos os poluentes analisados, possibilitar uma resposta muito satisfatória em períodos longos (mensais) indica que o problema do desempenho não está na tecnologia da estação, mas sim nas ações de manutenção, ajuste e calibração das mesmas. Estes resultados evidenciam assim um potencial de utilização muito elevado.

#### Avaliação da qualidade do ar na cidade de Lisboa no ano de 2022:

Assim, tendo em consideração os resultados obtidos na análise do desempenho das estações portáteis, tecnologia Monitarsense, pertencentes à Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, a presente dissertação utilizou os dados recolhidos por estas estações para complementar os dados recolhidos pelas estações da Rede de Referência, na análise qualidade do ar na Cidade de Lisboa, relativamente ao ano de 2022. No entanto, a análise foi efetuada de forma cuidada, tendo sido eliminados os dados espúrios ou suspeitos, dado o facto de se ter verificado que o desempenho das estações portáteis, cujo desempenho foi avaliado, não ser estável ao longo do período anual estudado indicando que este mesmo problema deverá ter ocorrido nas restantes estações.

No que toca à avaliação da qualidade do ar na Cidade de Lisboa realizado apenas com as estações de referência, considerando os resultados obtidos para as PM (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), verificou-se o cumprimento dos valores limite estabelecidos no RJAGQAR em todas as estações em avaliação. A maioria das excedências verificadas devem-se a eventos naturais, nomeadamente a influência de massas de ar com origem no norte de África, transportando na circulação partículas e poeiras em suspensão. Relativamente ao poluente NO<sub>2</sub>, a análise dos dados recolhidos nas estações de referência da cidade de Lisboa permitiu apenas identificar a ultrapassagem do limite de proteção da saúde humana na estação da Avenida da Liberdade.

Relativamente ao poluente CO, não foram registadas quaisquer excedências aos valores limite estabelecidos na legislação nacional. A evolução tecnológica da indústria automóvel e as cada vez mais restritas normas de emissão para veículos automóveis, tem conduzido à diminuição significativa das concentrações de CO no ar ambiente. A

avaliação da conformidade relativamente ao poluente  $O_3$  verificou-se o cumprimento do valor alvo de proteção da saúde humana pois não foram ultrapassadas as 25 excedências por ano (média de 3 anos).

A análise da variação horária permitiu verificar que, enquanto que, a variação horária da concentração de  $NO_2$  e  $CO$  é muito influenciada pela variação do tráfego rodoviário, a variação horária das concentrações de  $PM_{10}$  é menos influenciada com a variação do tráfego rodoviário, indicando a existência de outras fontes como contribuintes para as concentrações observadas. Verificou-se também que a concentração de  $PM$  e  $NO_2$  é tendencialmente mais elevada no período de Outono/Inverno. Este aumento de concentração está associado ao aumento da estabilidade atmosférica (implicando menor dispersão dos poluentes) e, no caso das  $PM$  também às emissões associadas à utilização de equipamentos de aquecimento a funcionar por queima de combustíveis (fosséis ou biomassa).

A análise da qualidade do ar com recurso a 36 estações portáteis, tecnologia Monitorsense, pertencentes à Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, permitiu efetuar uma análise complementar com maior abrangência espacial.

A análise dos dados recolhidos pelas 36 estações, em conjunto com os dados recolhidos pelas estações da rede de referência, permitiu identificar zonas da cidade, sobretudo na Baixa e Moscavide, em que a concentração de  $PM_{10}$  foi mais elevada designadamente na Avenida de Ceuta, Rua da Atalaia, Rua dos Lusíadas, Rua Sá Nogueira, Rua Ilha dos Amores e Rua Chen He e Rua Vasco da Gama Fernandes.

Verificou-se o cumprimento do VLH estabelecido para o  $NO_2$  em todas as estações em avaliação. Porém, o VLA não foi cumprido num total de 8 estações. Os locais onde ocorreram as excedências localizam-se junto de rodovias de tráfego elevado. Foi possível identificar que a zona da Baixa constitui um *hotspot* de poluição no que toca ao  $NO_2$ . A análise dos dados recolhidos por 36 estações da Rede Indicativa da Câmara Municipal de Lisboa permitiu identificar a ultrapassagem do valor limite de proteção da saúde humana para o  $NO_2$  em 7 locais, além da Avenida da Liberdade: Rua do Ouro, Rua de São Bento, Cemitério dos Prazeres, Rua de Campolide, Rua Frei Carlos, Rua Alferes Malheiro e Jardim da Estrela.

Em termos gerais, a qualidade do ar na Cidade de Lisboa é boa, atendendo aos valores limite impostos pela legislação nacional, com exceção do poluente  $NO_2$ , para o qual foram identificados diversos locais onde a concentração deste poluente excedeu o valor limite de proteção da saúde humana. No entanto ao considerar os valores alvo recomendados

pela OMS, verifica-se que ainda é necessário melhorar de forma muito significativa a qualidade do ar sendo necessário uma mudança de paradigma no transporte na cidade de Lisboa.

A implementação da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML, mesmo com as limitações apontadas, é uma mais valia como complemento à Rede de Estações de Referência, na medida em que permite mapear a qualidade do ar na cidade a uma escala de maior pormenor em alternativa aos estudos pontuais realizados com recurso a difusores passivos ou campanhas de curta duração realizadas com estações móveis dotadas de equipamentos de referência.

Recomendações para a melhoria do desempenho da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML:

Recomenda-se um aumento da frequência de manutenção realizada nas estações da Rede de Monitorização de Parâmetros Ambientais da CML. Recomenda-se, também, de modo a garantir o bom funcionamento de todas as estações da Rede, que a localização das estações portáteis deve ser rotativa, sendo que todas devem ser periodicamente colocadas junto a estações de referência, para que o seu desempenho possa ser avaliado e se proceda às ações de manutenção e calibração necessárias. Identificou-se também a necessidade de os dados disponibilizados no Portal da CM de Lisboa serem validados e disponibilizados após essa mesma validação de forma a serem eliminados os dados espúrios ou em períodos de mau funcionamento de uma dada estação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Europeia do Ambiente. (2023, fevereiro 28). *Air quality in Europe 2022*.  
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>
- Alphasense. (2014). *AAN 104: How electrochemical gas sensors work*.  
[https://ametekcdn.azureedge.net/mediafiles/project/oneweb/oneweb/alphasense/products/application%20notes/aan\\_104\\_app-note\\_v0\\_en\\_1.pdf?revision:217c547e-3447-4c26-b001-a473f75a950e](https://ametekcdn.azureedge.net/mediafiles/project/oneweb/oneweb/alphasense/products/application%20notes/aan_104_app-note_v0_en_1.pdf?revision:217c547e-3447-4c26-b001-a473f75a950e)
- Alves, C. A., Scotto, M. G., & Freitas, M. D. C. (2010). Air pollution and emergency admissions for cardiorespiratory diseases in Lisbon (Portugal). *Química Nova*, 33(2), 337–344. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000200020>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2022). *Poluição do Ar*.  
<https://apambiente.pt/index.php/ar-e-ruído/poluicao-do-ar>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2022a). *Ar e Ruído*. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2022b). *Eventos Naturais—QualAr*.  
[https://qualar.apambiente.pt/node/eventos\\_naturais](https://qualar.apambiente.pt/node/eventos_naturais)
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. (2023a). *Avaliação da qualidade do ar ambiente na região de Lisboa e Vale do Tejo em 2022*.
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. (2022b). *Avaliação da Qualidade do Ar na RLVT*. <https://www.ccdr-lvt.pt/ambiente/qualidade-do-ar/avaliacao-da-qualidade-do-ar-na-rlvt/>
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. (2023). *Competências das CCDR – Qualidade do Ar*. <https://www.ccdr-lvt.pt/ambiente/qualidade-do-ar/competencias-das-ccdr-qualidade-do-ar/>

- Câmara Municipal de Lisboa & Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. (2021). *Caracterização da Qualidade do Ar (NO<sub>2</sub>) na cidade de Lisboa—Campanhas de monitorização de 7 a 21 de novembro de 2020*.
- Concas, F., Mineraud, J., Lagerspetz, E., Varjonen, S., Liu, X., Puolamäki, K., Nurmi, P., & Tarkoma, S. (2021). Low-cost outdoor air quality monitoring and sensor calibration: A survey and critical analysis. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 17(2), 1–44.
- Ferreira, F., Tente, H., Torres, P., Cardoso, S., & Palma-Oliveira, J. M. (2000). Air Quality Monitoring and Management in Lisbon. Em R. S. Sokhi, R. San José, N. Moussiopoulos, & R. Berkowicz (Eds.), *Urban Air Quality: Measurement, Modelling and Management* (pp. 443–450). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0932-4\\_48](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0932-4_48)
- Gurudath, S., & Srinivasa, K. G. (2021). Air Quality Measurement Using Low-Cost Sensors—A Review. Em A. Abraham, O. Castillo, & D. Virmani (Eds.), *Proceedings of 3rd International Conference on Computing Informatics and Networks: ICCIN 2020* (Vol. 167, pp. 505–516). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-9712-1>
- Idrees, Z., & Zheng, L. (2020). Low cost air pollution monitoring systems: A review of protocols and enabling technologies. *Journal of Industrial Information Integration*, 17, 100123.
- Instituto Nacional de Estatística. (2021). *Censos 2021*. <https://censos.ine.pt/>
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2023). *Área educativa—CLIMA DE PORTUGAL CONTINENTAL*. <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>

- Karagulian, F., Barbieri, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., Redon, N., Crunaire, S., & Borowiak, A. (2019). Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. *Atmosphere*, *10*(9), 506.
- Liu, X., Jayaratne, R., Thai, P., Kuhn, T., Zing, I., Christensen, B., Lamont, R., Dunbabin, M., Zhu, S., Gao, J., Wainwright, D., Neale, D., Kan, R., Kirkwood, J., & Morawska, L. (2020). Low-cost sensors as an alternative for long-term air quality monitoring. *Environmental Research*, *185*, 109438. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109438>
- Miguéis, S. (2022). *Utilização de sensores da gestão da qualidade do ar—Caso de estudo da Cidade de Lisboa*. Nova de Lisboa.
- Monjardino, J., Barros, N., Ferreira, F., Tente, H., Fontes, T., Pereira, P., & Manso, C. (2018). Improving Air Quality in Lisbon: Modelling emission abatement scenarios. *Elsevier*, *51*(5), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.211>
- Organização Mundial de Saúde. (2021). *National Air Quality Standards. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. ISBN 978-92-4-003422-8.
- Organização Mundial de Saúde. (2022). *Air Pollution*. [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_2](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2)
- Regime Jurídico de Avaliação e Gestão da Qualidade do Ar, Pub. L. No. Diário da República n.º 130/2017, Série I, 47 2229 (2017).
- Rodrigues, A. (2013). *Avaliação da Qualidade do Ar a longo prazo da cidade de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

- Schneider, P., Bartonova, A., Castell, N., Dauge, F. R., Gerboles, M., Hagler, G. S., Huglin, C., Jones, R. L., Khan, S., & Lewis, A. C. (2019). *Toward a unified terminology of processing levels for low-cost air-quality sensors*.
- Spinelle, L., Gerboles, M., Aleixandre, M., & Bonavitacola, F. (2016). Evaluation of metal oxides sensors for the monitoring of O<sub>3</sub> in ambient air at ppb level. *Chemical Engineering Transactions*, 54, 319–324.
- Zaidan, M. A., Hossein Motlagh, N., Fung, P. L., Lu, D., Timonen, H., Kuula, J., Niemi, J. V., Tarkoma, S., Petaja, T., Kulmala, M., & Hussein, T. (2020). Intelligent Calibration and Virtual Sensing for Integrated Low-Cost Air Quality Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 20(22), 13638–13652. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3010316>

## **Anexos**

## Anexo A

### Princípios dos métodos de referência para PM10/PM2,5, NO2 e O3.

#### Princípio de Medição

EN 12341:2014

A amostra de ar entra no equipamento de medição, através de uma entrada que apenas permite a passagem de partículas com um diâmetro igual ou inferior a um valor estabelecido, a um fluxo constante e conhecido. A fração de PM em estudo é recolhida num filtro, durante 24h. A massa de PM é determinada através do cálculo da diferença de peso do filtro antes e depois da sua utilização, sendo o valor considerado a média entre as duas últimas pesagens consecutivas.

EN 14211:2012

A quimiluminescência consiste na emissão de radiação durante uma reação química. Este princípio de medição baseia-se na reação do NO com o ozono, em que é emitida radiação com intensidade proporcional à concentração de NO, quando o produto de reação NO<sub>2</sub> excitado (NO<sub>2</sub>\*) decai para um estado menos energético. A reação emite radiação próxima da região infravermelha, entre os 600nm e os 3000nm, com um máximo situado nos 1200nm.

A amostra de ar atravessa um filtro, de modo a evitar a contaminação do equipamento, sendo depois conduzida, a um fluxo constante, a uma câmara de reação onde é misturado com um excesso de ozono, de forma a determinar a concentração de NO. A radiação emitida, isto é, a quimiluminescência, é proporcional à concentração de NO presente na amostra de ar.

O princípio de determinação da concentração de NO<sub>2</sub> é similar, sendo que, neste caso, o NO<sub>2</sub> é previamente reduzido a NO. A quimiluminescência é proporcional à concentração de óxidos de azoto na amostra, ou seja, à soma das concentrações de NO e de NO<sub>2</sub>. A diferença entre esta concentração e a concentração de NO previamente determinada resulta na concentração de NO<sub>2</sub> na amostra.

EN 14625:2012

A amostra de ar atravessa continuamente uma célula ótica de absorção, onde é irradiada por um feixe monocromático na ordem dos 253,7nm, proveniente de uma lâmpada de mercúrio estabilizada a baixa pressão. A radiação ultravioleta que atravessa a célula de absorção é medida por um fotodiodo ou por um fotomultiplicador, sendo convertida para um sinal elétrico mensurável. A absorção desta radiação pela amostra de ar que atravessa a célula de absorção permite determinar a concentração de ozono no ar ambiente.

Atualmente, a Fotometria Ultravioleta pode ser utilizada em dois sistemas de medição distintos. Num deles, a absorção da radiação ultravioleta pelo ozono é determinada através da diferença entre a absorção observada numa célula de amostragem e numa célula de referência.

O outro sistema permite determinar a absorção da radiação ultravioleta pelo ozono através da passagem alternada, pela célula de absorção, da amostra de ar a analisar e de ar livre de ozono (branco). O branco é obtido através da passagem de ar por um conversor catalítico de ozono, em que este é destruído.