



Interreg
Espanña - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÃO EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA

REHAB
Ind

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR E RUÍDO

COMPONENTE AMBIENTAL DO PROJETO REHABIND



ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	QUALIDADE DO AR EM ZONAS INDUSTRIAIS.....	3
2.1	PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	3
2.2	PRICIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS.....	4
2.2.1	MONÓXIDO DE CARBONO	5
2.2.2	ÓXIDOS DE AZOTO.....	5
2.2.3	COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS	5
2.2.4	OZONO TROPOSFÉRICO	6
2.2.5	MATERIAL PARTICULADO.....	7
2.2.6	EFEITOS SOBRE A SAÚDE.....	9
2.3	MEDIDAS DE CONTROLO E MINIMIZAÇÃO.....	9
2.4	ENQUADRAMENTO LEGAL.....	10
3	AMBIENTE ACÚSTICO EM ZONAS INDUSTRIAIS.....	12
3.1	PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO ACÚSTICA	12
3.2	MEDIDAS DE CONTROLO E MINIMIZAÇÃO	12
3.3	ENQUADRAMENTO LEGAL.....	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	16
4.2	DESCRIÇÃO METODOLÓGICA	17
4.3	MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR	18
4.4	MONITORIZAÇÃO DO ambiente Acústico	21
4.5	MONITORIZAÇÃO METEOROLÓGICA.....	22
5	PRINCIPAIS RESULTADOS.....	23
5.1	QUALIDADE DO AR.....	23
5.1.1	SÉRIES TEMPORAIS	23
5.1.2	CORRELAÇÃO ENTRE OS POLUENTES.....	25
5.1.3	NÍVEIS CRÍTICOS DE EXPOSIÇÃO AO OZONO.....	26
5.1.4	AMOSTRAGEM PASSIVA NO ₂ E O ₃	28
5.1.5	AMOSTRAGEM PASSIVA COVS	29
5.1.6	MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA PM _{2.5}	32
5.1.7	MEDIÇÕES MÓVEIS PM _{2.5}	33
5.2	RUÍDO AMBIENTE.....	34
5.2.1	AMOSTRAGEM CONTÍNUA.....	34
5.2.2	CAMPANHAS E MAPAS DE RUÍDO.....	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
7	REFERÊNCIAS	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA DA PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COM A INDICAÇÃO DOS PROCESSOS QUE INFLUENCIAM CADA UM DOS ELEMENTOS. ADAPTADO [26].	4
FIGURA 2 - MECANISMOS DE FORMAÇÃO DO OZONO TROPOSFÉRICO. ADAPTADO [5, 49].	7
FIGURA 3 – ESQUEMA IDEALIZADO DA DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS NA ATMOSFERA COM INDICAÇÃO DOS PRINCIPAIS MECANISMOS DE FORMAÇÃO E REMOÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO. ADAPTADO [25].	8
FIGURA 4 - ELEMENTOS BÁSICOS DA POLUIÇÃO ACÚSTICA	13
FIGURA 5 – ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA.	16
FIGURA 6 – ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DO PARQUE INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA.	17
FIGURA 7 – DIAGRAMA METODOLÓGICO DO PROJETO REHABIND	17
FIGURA 8 – SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DE GASES. (ESQUERDA) TOMA DE AR RESPONSÁVEL PELO SUPORTE E PROTEÇÃO DAS TUBAGENS DE ASPIRAÇÃO DO AR AMBIENTE ATÉ AOS ANALISADORES; (CENTRO) ARMÁRIO DO TIPO RACK DOS ANALISADORES;(DIREITA) DISPOSIÇÃO DOS ANALISADORES DE GASES NO INTERIOR DO ARMÁRIO	18
FIGURA 9 – MÉTODO UTILIZADO DURANTE AS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE PARTÍCULAS, MOSTRANDO O MONITOR DE PARTÍCULAS THERMO ADR-1200S (EM DESTAQUE) MONTADO SOBRE UMA CARRINHA.	19
FIGURA 10 –MONITOR CONTINUO DE MATERIAL PARTICULADO PM _{2.5}	20
FIGURA 11 – MÉTODO DE AMOSTRAGEM PASSIVA; (ESQUERDA) ABRIGO FIXADO NUM DOS LOCAIS DE MEDIÇÃO; (CENTRO) VISÃO DO ABRIGO EM DETALHE; (DIREITA) ABRIGO SEM A TAMPA SUPERIOR MOSTRANDO A FORMA COMO OS TUBOS PASSIVOS SÃO COLOCADOS NO SEU INTERIOR.	20
FIGURA 12 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA AS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE RUÍDO. (ESQUERDA) SONÓMETRO JUNTO AO CONJUNTO DE ACESSÓRIOS UTILIZADOS; (DIREITA) ILUSTRAÇÃO D A APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO.	21
FIGURA 13 – SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DE RÚIDO. (ESQUERDA) SENSOR DE RÚIDO COM AS RESPATIVAS COMPONENTES CONSTITUINTES; (DIREITA) SISTEMA INSTALADO EM CAMPO.	21
FIGURA 14 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA INSTALADA COM A INDICAÇÃO DOS PRINCIPAIS SENSORES.	22
FIGURA 15 – SÉRIE TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES AO LONGOS DOS MESES ESTUDADOS.	23
FIGURA 16 – PERFIS SEMANAIS DOS POLUENTES MONITORADOS PARA CADA ZONA INDUSTRIAL.	24
FIGURA 17 – NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO ACUMULADA AO OZONO ACIMA DE UM LIMIAR DE 40 PPB OU 80 µG/M ³ (AOT40) PARA FLORESTA E VEGETAÇÃO.	27
FIGURA 18 – NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO ACUMULADA AO OZONO ACIMA DE UM LIMIAR DE 60 PPB OU 120 µG/M ³ (AOT60) PARA MIRANDELA.	27
FIGURA 19 – NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO ACUMULADA AO OZONO ACIMA DE UM LIMIAR DE 60 PPB OU 120 µG/M ³ (AOT60) PARA ZAMORA	28
FIGURA 20 – AMOSTRAGEM PASSIVA DE OZONO E DIÓXIDO DE AZOTO. (ESQUERDA) MAPAS CORRESPONDENTES ÀS AMOSTRAGENS REALIZADAS NA ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA; (DIREITA) MAPAS CORRESPONDENTES ÀS AMOSTRAGENS REALIZADAS NO POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA. OS MAPAS SUPERIORES APRESENTAM AS CONCENTRAÇÕES DE OZONO, ENQUANTO QUE OS INFERIORES OS RESULTADOS PARA O DIÓXIDO DE AZOTO. A PRIMEIRA CAMPANHA ENCONTRA-SE EM AZUL E A SEGUNDA EM VERDE.	29
FIGURA 21 – AMOSTRAGEM PASSIVA DE COVs REALIZADA EM MIRANDELA COM A IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO E OS PRINCIPAIS COVs E CONCENTRAÇÕES OBSERVADAS	30

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 22 – AMOSTRAGEM PASSIVA DE COVs REALIZADA EM ZAMORA COM A IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO E OS PRINCIPAIS COVs E CONCENTRAÇÕES OBSERVADAS	31
FIGURA 23 – CONCENTRAÇÕES DE PM _{2,5} OBSERVADAS DURANTE A MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA EM MIRANDELA. (EM CIMA) PERFIL DIÁRIO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS HORÁRIAS; (EM BAIXO) CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS.	33
FIGURA 24 –MEDIÇÕES MÓVEIS DE PM _{2.5} . (ESQUERDA) MAPAS CORRESPONDENTES ÀS MEDIÇÕES REALIZADAS NA ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA; (DIREITA) MAPAS CORRESPONDENTES ÀS MEDIÇÕES REALIZADAS NO POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA. OS MAPAS SUPERIORES APRESENTAM AS CONCENTRAÇÕES DE PM _{2.5} DURANTE O DIA, ENQUANTO QUE OS INFERIORES AS CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS DURANTE O PERÍODO NOTURNO.	34
FIGURA 25 – INDICADORES DE RUÍDO NOTURNO (L _N) E DIURNO-ENTARDECER-NOTURNO (L _{DEN}) ENTRE OS MESES DE FEVEREIRO E SETEMBRO DE 2019 PARA MIRANDELA E ZAMORA, RESPETIVAMENTE.....	35
FIGURA 26 – PERFIL SEMANAL DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA. O GRÁFICO SUPERIOR APRESENTA OS VALORES PARA MIRANDELA ENQUANTO QUE O GRÁFICO INFERIOR OS VALORES DE ZAMORA	36
FIGURA 27 – INDICADORES DE RUÍDO NOTURNO (L _N) E DIURNO-ENTARDECER-NOTURNO (L _{DEN}) OBTIDOS A PARTIR DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE RUÍDO PARA DIVERSOS PONTOS DAS ZONAS INDUSTRIAIS. (ESQUERDA) MAPAS CORRESPONDENTES AOS INDICADORES DE RUÍDO PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA; (DIREITA) MAPAS CORRESPONDENTES AOS INDICADORES DE RUÍDO PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA.	37
FIGURA 28 – L _{DEN} GLOBAL PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	40
FIGURA 29 – L _N GLOBAL PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	41
FIGURA 30 – L _{DEN} TRÁFEGO PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA	42
FIGURA 31 – L _N TRÁFEGO GLOBAL PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA	43
FIGURA 32 – L _{DEN} GLOBAL COM AS INTERVENÇÕES PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	44
FIGURA 33- L _N GLOBAL COM AS INTERVENÇÕES PARA A ZONA INDUSTRIAL DE MIRANDELA	45
FIGURA 34- L _{DEN} GLOBAL PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA.....	46
FIGURA 35 - L _N GLOBAL PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA.....	47
FIGURA 36 - L _{DEN} TRÁFEGO PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA	48
FIGURA 37 - L _N TRÁFEGO PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA	49
FIGURA 38 - L _{DEN} GLOBAL COM AS INTERVENÇÕES PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA.....	50
FIGURA 39 - L _N GLOBAL COM AS INTERVENÇÕES PARA O POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EM ZAMORA	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LIMITES ESTABELECIDOS PARA OS POLUENTES ESTUDADOS.....	10
TABELA 2 – PERÍODO DE REFERÊNCIA PARA A MEDIÇÃO DOS INDICADORES DIURNO, ENTARDECER E NOTURNO	15
TABELA 3 – LIMITES LEGAIS ESTABELECIDOS PARA CADA UMA DAS REGIÕES INDUSTRIAIS ESTUDADAS	15
TABELA 4 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS MONITORIZADAS	25

FICHA TÉCNICA

AUTORES

Artur Gonçalves	Instituto Politécnico de Bragança
Manuel Feliciano	Instituto Politécnico de Bragança
Leonardo Campestrini Furst	Instituto Politécnico de Bragança
Pedro Henrique Presumido	Instituto Politécnico de Bragança

APOIO TÉCNICO

Rafaela Alves	Instituto Politécnico de Bragança
Milena Ianela	Instituto Politécnico de Bragança
Kelly Fiorino	Instituto Politécnico de Bragança
Arsénio Araújo	Instituto Politécnico de Bragança

FINANCIAMENTO

Este projeto foi desenvolvido no âmbito do Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha - Portugal financiado com fundos do FEDER, através do programa Interreg V-A Espanha-Portugal (POCTEP) 2014-2020.

PARCEIROS

ICCL: Instituto de la Construcción de Castilla y León.	www.iccl.es/
FPNCyL: Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León.	www.patrimonionatural.org/
IPB: Instituto Politécnico de Bragança.	www.ipb.pt/
INCOSA: Investigación y Control de Calidad, S.A.	www.incosa.es/
Ayuntamiento de Zamora	www.zamora.es/
Município de Mirandela	www.cm-mirandela.pt/

Contacto através de formulário via <https://www.rehabind.com/contacto>

A reprodução parcial ou total desta publicação para uso educacional ou não comercial é permitida sem a prévia autorização dos editores desde que seja explicitamente citada a fonte completa.

As opiniões expressas nesta publicação são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. A Comissão Europeia e as Autoridades do Programa não são responsáveis pela utilização que possa ser feita da informação aqui contida.

VISÃO GERAL



Interreg
Espanña - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA

REHAB
Ind

O projeto RehabInd foi concebido com o objetivo de promover a reabilitação sustentável e a revitalização de zonas industriais. Para tal, o projeto contou com a cooperação de diversas entidades de iniciativa privada, universidade e órgãos públicos, responsáveis por caracterizar e analisar os aspetos ambientais, económicos e sociais relacionados as zonas industriais de Mirandela (Portugal) e Zamora (Espanha) e, assim, permitir o desenvolvimento de ações direcionadas para a sustentabilidade ambiental, eficiência energética, melhoria do ambiente urbano e regeneração do tecido empresarial.

O presente documento reporta a componente ambiental do projeto RehabInd, expondo publicamente as ações desenvolvidas no decorrer do projeto, voltadas para a monitorização da qualidade do ar e dos níveis de ruído nas zonas industriais de Mirandela e Zamora.



1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial associado à elevada urbanização estão na origem de impactes no solo, água e ar e aceleram o consumo de recursos naturais, a partir da necessidade do aumento da produção de bens e serviços para atendimento às necessidades mundiais. Face a esta realidade, o aumento do tráfego rodoviário, a expansão industrial e a supressão da vegetação são fatores de degradação da qualidade ambiental muito importantes nos centros urbanos.

Nesse contexto, surgiram as zonas industriais ou parques industriais, que concentram num espaço limitado, atividades humanas que potencialmente apresentam impactes ambientais significativos [1]. De acordo com a UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial), um parque industrial é definido como uma porção de terra subdividida em lotes, fornecendo infraestrutura viária e serviços públicos para um grupo de indústrias. Ao mesmo tempo que a concentração de indústrias num único local favorece a poluição ambiental, também facilita a monitorização e aplicação de medidas de controlo dos impactes ambientais, uma vez que as fontes estão concentradas dentro de um espaço limitado e conhecido.

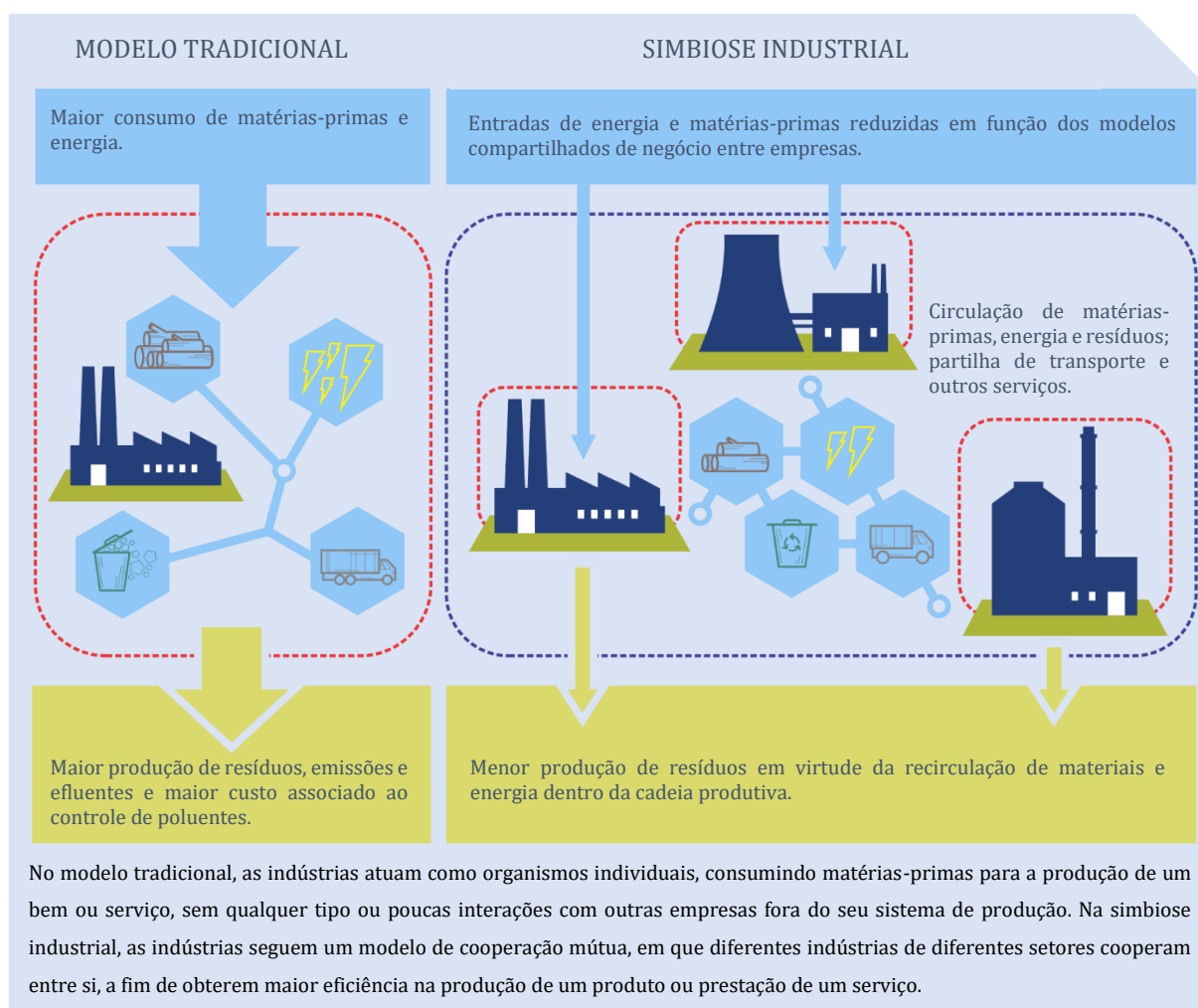
Dos diversos tipos de impactes ambientais associados aos parques industriais, a poluição do ar e ruído são duas das componentes que mais prejudicam a qualidade de vida [2]. Assim, a monitorização dessas variáveis é de extrema importância para a avaliação dos riscos associados e para o desenvolvimento de medidas de controlo. Nos parques industriais a monitorização da qualidade do ar e ruído torna-se ainda mais importante, visto que os diversos processos e atividades industriais podem contribuir para o aumento das emissões atmosféricas e dos níveis de ruído, tanto no interior como na envolvente da zona industrial [3, 4].

A poluição atmosférica e ruído ambiente apresentam diversos efeitos adversos sobre a saúde humana, entre os quais os induzidos pela exposição a material particulado e, em especial, ao ozono troposférico por ser um forte oxidante químico. O ozono é um poluente secundário, uma vez que a sua presença na atmosfera é maioritariamente resultante de reações fotoquímicas que envolvem óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis na presença de luz solar [5]. Assim, o controlo da produção de ozono depende do controlo de seus precursores, que normalmente em regiões urbanas advêm de emissões rodoviárias e industriais.

Uma das maneiras de diminuir os impactes gerados por um parque industrial é a transição para um parque eco industrial (PEI). Os parques eco industriais utilizam o conceito

de simbiose industrial como modelo de organização, cooperação e sustentabilidade. A simbiose industrial, assim como na biologia, refere-se a diferentes organismos que estabelecem uma associação para a obtenção de benefícios que não seriam possíveis caso estivessem separados, no setor industrial, envolve a alteração dos fluxos lineares para fluxos circulares para a obtenção de vantagens competitivas como partilhas de energia, água, matérias-primas e transformação de resíduos em subprodutos [6–8]. Essa transição pode ser executada através da aplicação da sustentabilidade ambiental dentro das zonas industriais, ou seja, os autores devem promover a interação e desenvolvimento industrial com o sistema ambiental e social, visando aumentar o sucesso do negócio, preservar o ambiente e levar em consideração a comunidade local [7].

Este relatório compreende a componente ambiental do projeto RehabInd apresentando as ações desenvolvidas e resultados obtidos. O objetivo central do componente ambiental foi a avaliação da qualidade do ar e ruído na Zona Industrial de Mirandela e no Parque Industrial de Hiniesta em Zamora, de modo a identificar e avaliar as principais fontes de poluentes primários e avaliar os fatores que afetam os níveis locais de ozono, de material particulado e o ambiente acústico.



2 QUALIDADE DO AR EM ZONAS INDUSTRIAIS

A qualidade do ar em muitos países sofreu uma elevada degradação, devido ao aumento da urbanização e industrialização das cidades. Este rápido desenvolvimento tem potencial de resultar em alterações climáticas e afetar a saúde das pessoas, quer nas zonas que estão na envolvente próxima, quer nas mais afastadas das fontes de poluição atmosférica [9].

A poluição do ar é definida como uma condição em que uma ou mais substâncias se encontram presentes na atmosfera em concentrações acima dos níveis ambientais normais ou num intervalo de tempo suficientemente longo para produzir efeitos adversos sobre a saúde humana, animais e plantas. Deste modo, se reconhece que apesar de existirem poluentes apenas produzidos por atividades antropogénicas, muitos resultam de processos naturais, cujas concentrações na atmosfera foram elevadas em virtude de ações humanas [10, 11].

Por isso, um planeamento de estratégias de controlo das emissões atmosféricas é essencial para minimizar os efeitos prejudiciais na população humana e no ambiente em geral. As políticas de gestão da qualidade do ar, que tentam diminuir os efeitos negativos das emissões atmosféricas, têm como principais objetivos a manutenção da qualidade do ar, recorrendo a inventários e monitoração de emissões, monitoração e modelação de qualidade do ar, estratégias de controlo e participação pública [12].

2.1 PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Para compreender melhor a dinâmica de um poluente na atmosfera e o seu potencial de causar algum efeito adverso é necessário conhecer as relações existentes entre a fonte, o transporte e o recetor, os três elementos básicos da problemática da poluição atmosférica [13]. Na Figura 1 encontram-se os principais elementos dessa problemática.

A fonte de poluição atmosférica representa todo elemento capaz de emitir algum poluente atmosférico, podendo ser natural ou antropogénica, estacionária ou móvel. Numa zona industrial são identificadas tanto fontes estacionárias como fontes móveis, relativas aos sistemas de produção e a circulação de veículos, respetivamente.

O recetor é qualquer organismo biótico ou abiótico que sofre os efeitos adversos da poluição atmosférica, incluindo o ser humano, animais, plantas, água e solo. Em organismos vivos os efeitos variam desde pequenas alergias até graves doenças crónicas. Nos materiais ocorre a deposição de poeiras e gotículas ácidas, bem como o contacto com poluentes gasosos

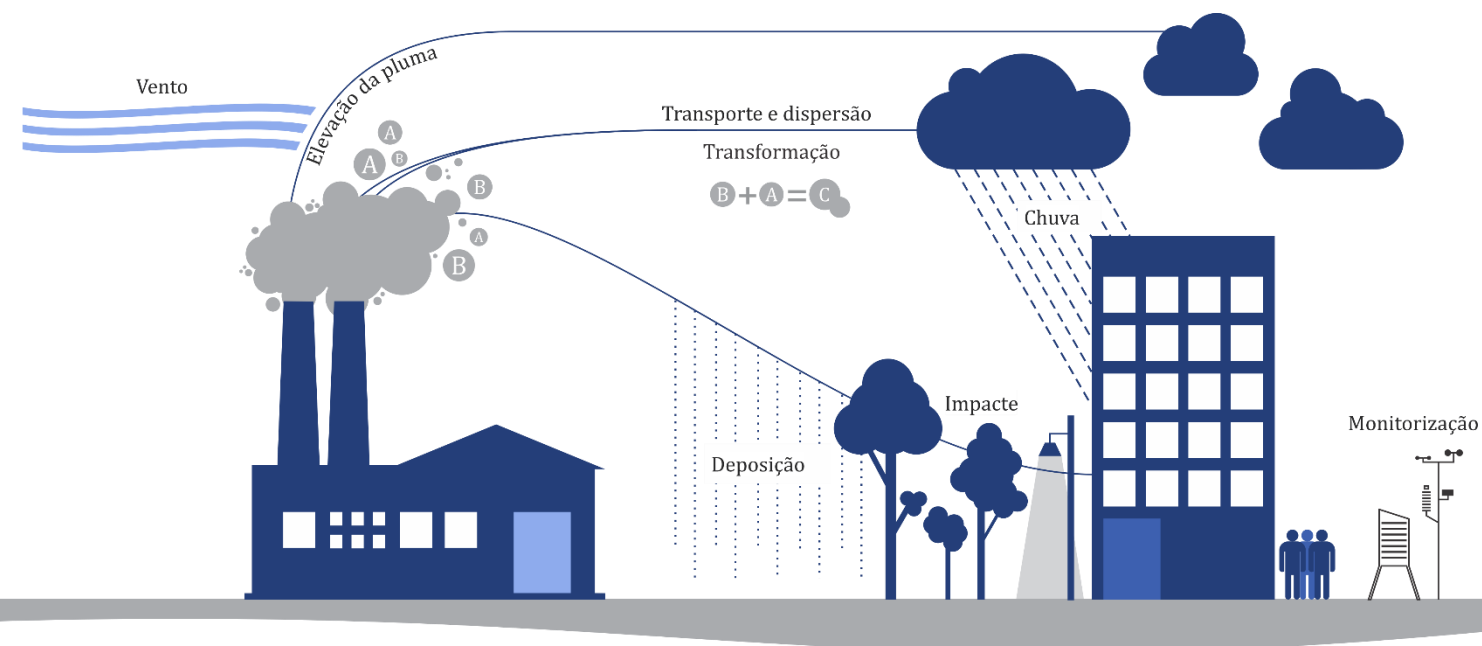


Figura 1 - Esquema da problemática da poluição atmosférica com a indicação dos processos que influenciam cada um dos elementos. Adaptado [26].

ácidos e oxidantes que podem degradar a superfície, além de que corpos hídricos e o solo podem sofrer problemas de acidificação em decorrência da deposição ácida. O transporte corresponde aos mecanismos que movimentam o poluente da fonte até o receptor, onde os poluentes sofrem a influência de diversos fatores meteorológicos. Ao longo da trajetória percorrida, um poluente pode sofrer diversas alterações que irão definir o seu destino final, podendo ainda reagir na atmosfera produzindo outros poluentes, ou depositarem-se por ação das chuvas, neve, e transporte turbulento da baixa atmosfera.

2.2 PRICIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários e secundários de acordo com a sua origem. Os primários são poluentes emitidos diretamente pela fonte e que normalmente estão presentes na atmosfera, como o monóxido de carbono, os óxidos de azoto, os compostos orgânicos voláteis (COVs) e o material particulado em suspensão na atmosfera. Os poluentes secundários, como o ozono, são formados na atmosfera em resultado de reações fotoquímicas entre poluentes primários, nomeadamente óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis [14]. Uma grande fração do dióxido de azoto, muitos compostos orgânicos voláteis e parte do material particulado também têm origem em reações que ocorrem na atmosfera.

2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e insípido, emitido principalmente de processos de queima incompleta de qualquer combustível carbonáceo (i.e., combustão com concentração de oxigênio inferiores às proporções estequiométricas). As principais fontes de monóxido de carbono estão ligadas a veículos com motor de combustão interna, processos industriais e queima de biomassa [15]. Assim como observado nas reações com o COVs, o monóxido de carbono provoca a formação do radical hidroperóxilo (HO_2), levando à formação de ozono.

2.2.2 ÓXIDOS DE AZOTO

Entre os óxidos de azoto existentes, apenas o monóxido (NO) e o dióxido de azoto (NO_2) são libertados para a atmosfera, ainda que este último tenha uma origem predominantemente secundária. Os óxidos de azoto são emitidos por todo processo de combustão que recorre a ar como comburente ou cujo combustível contenha azoto na sua composição. Também são libertados para a atmosfera a partir de processos naturais, como a queima da biomassa, atividade microbiana nos solos e uma pequena contribuição de descargas elétricas e da oxidação do óxido nítrico (N_2O) na estratosfera [16, 17].

Os óxidos de azoto favorecem a produção de ozono, mas, de per si, não conduzem a situações de elevadas concentrações deste poluente, uma vez que o ozono formado é facilmente destruído na presença do óxido nítrico. No entanto, na presença de outros gases percursores, como o monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis, são formadas outras espécies químicas muito reativas que substituem o ozono na interação com o NO e desencadeiam uma produção mais intensificada de ozono. Além do ozono, o dióxido de azoto favorece a formação de radicais hidroxilo e, conseqüentemente, a síntese de ácido nítrico (HNO_3), sendo este o principal mecanismo de remoção de dióxido de azoto da atmosfera [16, 17].

2.2.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Os compostos orgânicos voláteis são emitidos tanto por fontes naturais [18, 19] como antropogénicas [20]. A Diretiva 2004/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, define COV como “um composto orgânico cujo ponto de ebulição inicial, à pressão normal de 101,3 kPa, seja inferior ou igual a 250 °C”.

O metano é o COV mais simples existente e as reações 1 a 7 representam a sua degradação na troposfera e formação do ozono. Conforme abordado anteriormente, os óxidos de azoto estabelecem uma relação de equilíbrio na atmosfera que é afetada na presença dos

COVs. Os COVs participam em reações fotoquímicas que conduzem à formação de radicais hidroperóxido (HO_2) e organoperóxido (RO_2), os quais ao reagirem com o NO, como referido anteriormente, convertem-no em NO_2 que é foto-dissociado e, conseqüentemente, levado à formação de ozono segundo o mecanismo reativo que se segue envolvendo o metano [21].



2.2.4 OZONO TROPOSFÉRICO

O ozono (O_3) é um poluente atmosférico secundário e um forte oxidante fotoquímico, quando presente na troposfera. A sua presença na camada superficial da atmosfera está condicionada à presença de outros gases que por meio de uma série de reações químicas e fotoquímicas o originam. Os principais gases precursores do ozono são os compostos orgânicos voláteis não metano, os óxidos de azoto e o metano, que apesar de ser menos reativo que os outros COVs, devido à sua elevada concentração na atmosfera, contribui significativamente para a formação do ozono troposférico [22].

Na Figura 2 são expostas as principais reações de formação do ozono na troposfera, onde o quadro superior apresenta a formação do ozono na presença de NO_x e CO, e no quadro inferior a sua formação da presença de COVs e NO_x .

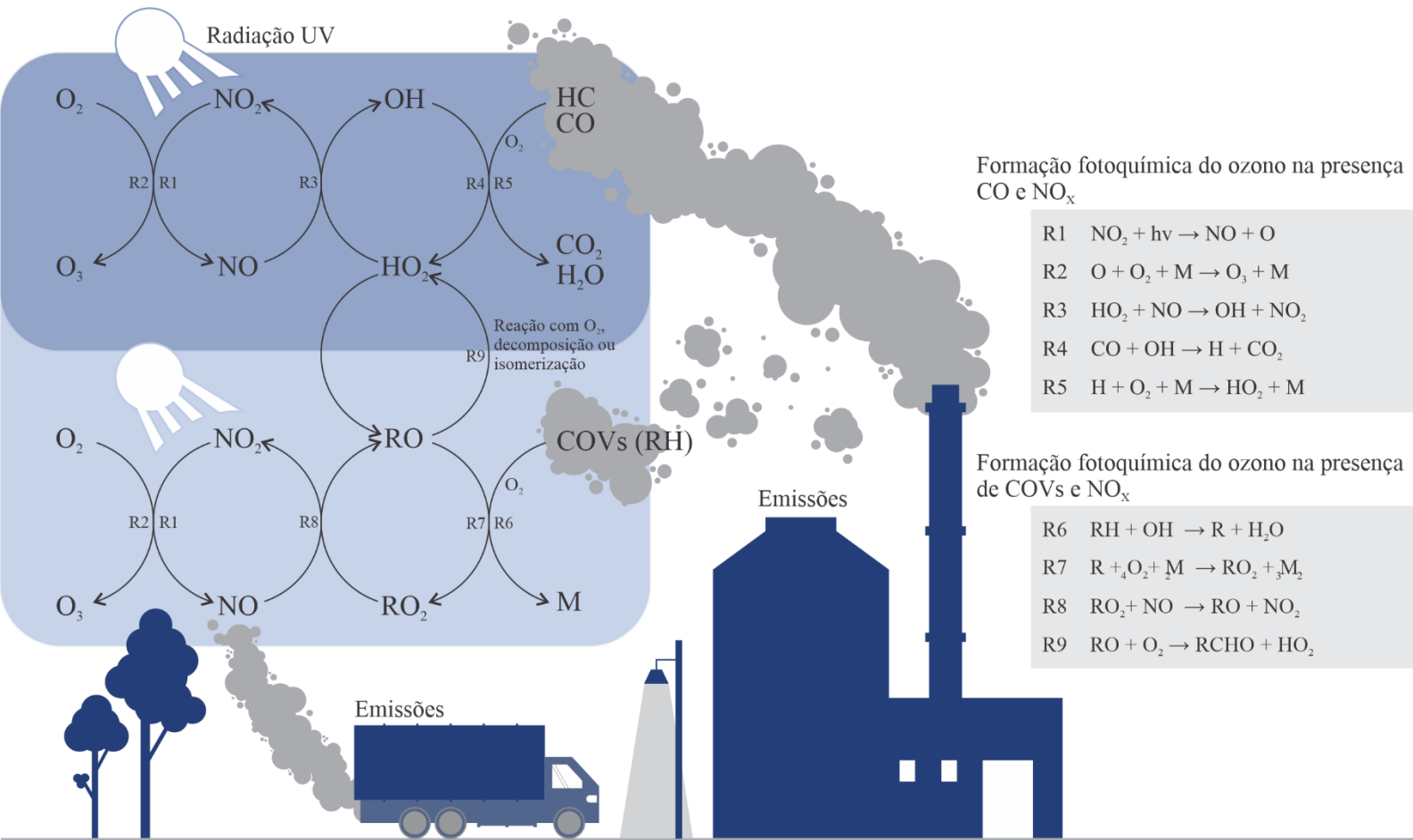


Figura 2 - Mecanismos de formação do ozono troposférico. Adaptado [5, 49]

2.2.5 MATERIAL PARTICULADO

O material particulado, conhecido também por aerossol atmosférico, é um conjunto complexo de partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera cujas características físicas e químicas tendem a variar no espaço e no tempo [23]. As principais fontes de material particulado suspenso na atmosfera integram diversos fenômenos naturais e atividades antropogênicas como a queima de biomassa, processos de combustão de combustíveis fósseis, erupções vulcânicas, suspensões de partículas do solo, poeiras minerais, sal marinho e material biológico. Além dessas fontes de emissão de material particulado, pode ocorrer a sua formação na atmosfera por meio de mecanismos de conversão de gases em partículas como a nucleação, condensação, reações químicas heterogêneas [24]. Assim, na Figura 3 é apresentado o esquema idealizado da distribuição de partículas na atmosfera.

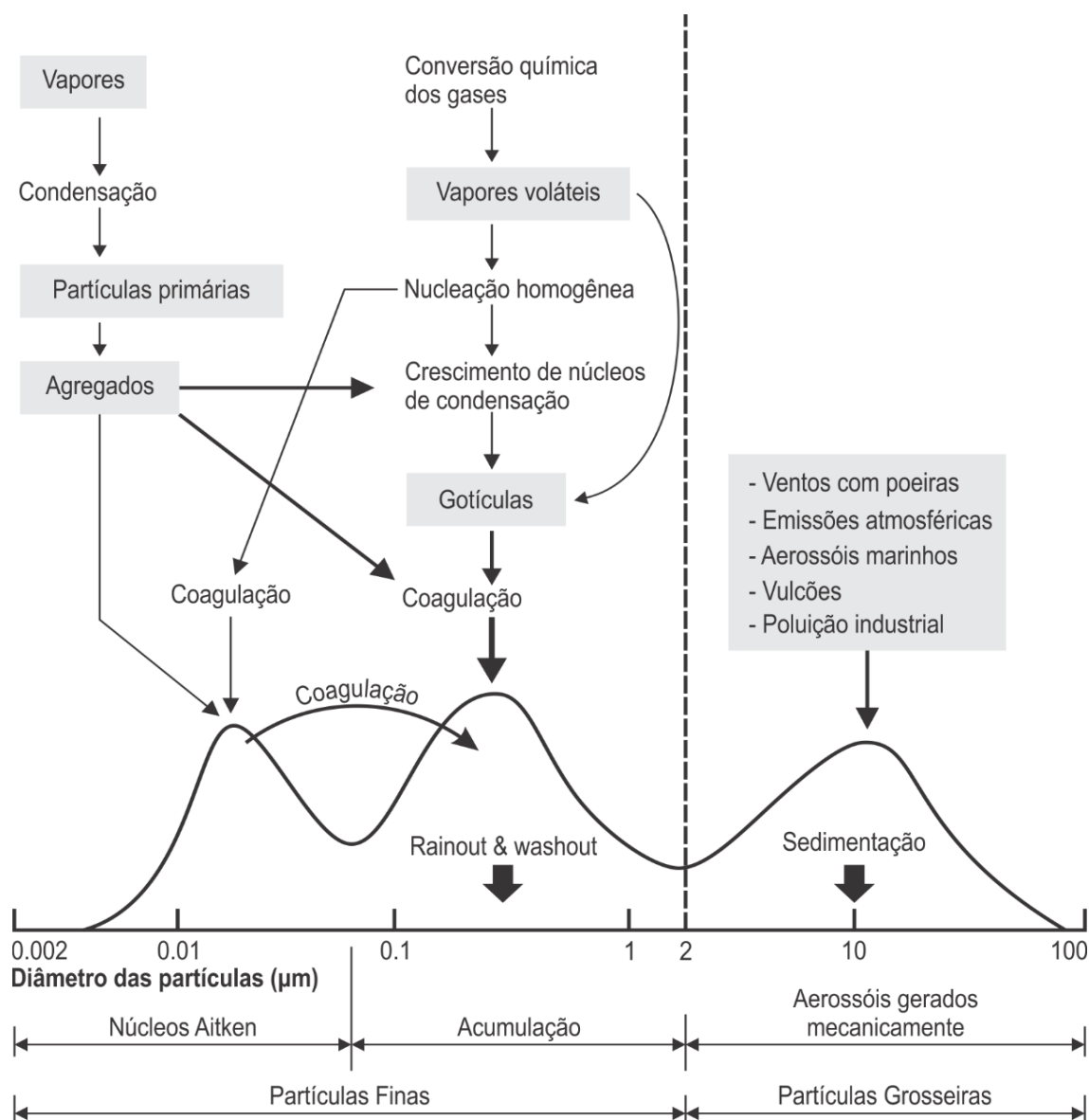


Figura 3 – Esquema idealizado da distribuição de partículas na atmosfera com indicação dos principais mecanismos de formação e remoção do material particulado. Adaptado [25].

As características do material particulado presente na atmosfera estão relacionadas com os processos físicos e químicos de formação dessas partículas e com os processos atmosféricos que conduzem à sua evolução. O material particulado grosseiro, com diâmetro superior a 2,5 µm e inferior a 10 µm, é gerado na sua grande maioria por processos físicos, enquanto que as partículas finas, com diâmetro inferior a 2,5 µm são formadas por processos químicos. As partículas finas são distribuídas de acordo com a rota química que as produzem. Com diâmetro entre 0,2 µm e 2,5 µm, são chamadas de partículas do modo de acumulação e correspondem a condensação de compostos orgânicos e inorgânicos secundários. Inferiores a 0,2 µm de diâmetro, encontram-se as partículas do modo de nucleação, formadas pela nucleação homogênea de vapores que formam partículas secundárias [11, 26].

2.2.6 EFEITOS SOBRE A SAÚDE

Diversos estudos apontam os efeitos adversos da poluição atmosférica sobre a saúde, os quais, em virtude do tempo de exposição e da concentração do poluente podem variar desde pequenas irritações e dificuldades para respirar, até doenças respiratórias e cardiovasculares mais graves. Os efeitos mais imediatos e pronunciados da poluição atmosférica são observados sobre o sistema respiratório e cardiovascular. Relativamente aos poluentes abordados neste relatório, os óxidos de azoto tendem a promover a irritação das vias respiratórias principalmente em indivíduos asmáticos, enquanto que o material particulado e o ozono podem iniciar inflamações pulmonares em virtude de sua entrada nos alvéolos pulmonares e capacidade de oxidação respetivamente. Esses são efeitos mais imediatos da exposição a estes poluentes, no entanto a exposição crônica ao ozono pode causar a redução da capacidade respiratório e estimular doenças respiratórias como a asma e o cancro [27–29].

Os efeitos do monóxido de carbono são mais acentuados sobre o sistema circulatório, devido a ligação do monóxido de carbono a hemoglobina reduzindo a capacidade de troca de oxigénio e, resultando na diminuição da capacidade de concentração. Além disso as inflamações nos pulmões alteram a coagulação sanguínea, podendo gerar obstrução de vasos sanguíneos e doenças cardíacas [27–29].

2.3 MEDIDAS DE CONTROLO E MINIMIZAÇÃO

Existem algumas medidas que procuram minimizar ou mitigar os efeitos nocivos das emissões atmosféricas nas zonas de cidades e industriais [30]. Estas medidas podem ser, por exemplo, políticas que reduzam o consumo de energia ou a utilização de energias alternativas para minimizar os impactes nos transporte e nas indústrias [31].

Younger *et al.* [32] reportam que os ambientes construídos (infraestrutura de transporte, edifícios, planeamento de uso do solo), poluição atmosférica e a saúde pública estão interligadas. A construção de edifícios ecologicamente corretos poderia diminuir o consumo de energia elétrica através da utilização de materiais isolantes, orientação do local e ventilação natural e com a o uso de medidas de eficiência energética.

Outra medida interessante citada na literatura é a monitoração e alerta da qualidade do ar. Na cidade de Santiago no Chile, nos dias em que as condições climáticas são favoráveis a uma ventilação fraca (portanto, favoráveis ao aumento das concentrações de poluentes atmosféricos), as autoridades ambientais responsáveis impõem restrições ao uso de veículos e algumas atividades industriais nas zonas de maior risco na tentativa de reduzir os níveis de

poluição [33]. A implantação de florestas urbanas próximo aos locais de maiores concentrações de poluentes torna-se também uma medida auxiliar interessante, uma vez que apesar da vegetação não possuir efeitos significativos diretos na remoção de poluentes, a presença da vegetação tende a influenciar a temperatura local e conseqüentemente afetar a produção de poluentes atmosféricos localmente.

2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL

Diversos órgãos apresentam limiares de exposição para os diversos poluentes monitorizados ao longo deste projeto. Na Tabela 1 foram reunidos os diferentes limites de exposição em diferentes países e órgãos.

Tabela 1 – Limites estabelecidos para os poluentes estudados

Local/Órgão	Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de azoto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monóxido de Carbono (mg/m^3)	Material particulado $2.5 \mu\text{m}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Portugal ¹	8h máx - 120	Anual - 40 1h - 200	8h máx - 10	Anual - 25
Espanha ²	8h máx - 120	Anual - 40 1h - 200	8h máx - 10	Anual - 25
EPA-USA ³	8h máx - 140	Anual - 100 1h - 188	1h máx - 40 8h máx - 10	Anual primário - 12 Anual secundário - 15 24h - 35
WHO ⁴	8h máx - 100	Anual - 40 1h - 200	15min - 100 30min - 60 1h - 30 8h - 10	Anual - 10 24h - 25

1 - Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro

2 - Real Decreto 102/2011, de 28 de enero

3 - Clean Air Act

4 - WHO Air quality guidelines

Para o ozono, além da monitorização, foram calculados os níveis críticos - AOT40, AOT60 e NET60. O AOT40 (Exposição Acumulada ao Ozono acima de um limiar de 40 ppb ou $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi estabelecido pela Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa sob a Convenção sobre a Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância (UNECE-CLRTAP). Por definição, AOT40 é a soma das diferenças entre as concentrações horárias de ozono e 40 ppb quando a concentração excede 40 ppb durante o período de maio a julho para vegetação e de abril a setembro para floresta e representa o limite acima do qual ocorrem efeitos adversos na flora [23]. Para a vegetação, a União Europeia estabeleceu para o AOT40 um valor-alvo de 9000 ppb.h e um objetivo a longo prazo de 3000 ppb.h [23], enquanto que para a floresta o valor de referência é de 10000 ppb h [24] com um valor crítico de 5000 ppb h [25]. A avaliação deve ter por base a média do AOT40 para um período de 5 anos, quando possível. No entanto,

para os fins deste estudo, foi realizada a análise apenas tendo em consideração o ano 2019 para verificar a situação atual dentro dos limites estabelecidos.

Para a proteção da saúde humana, utilizam-se os indicadores AOT60 e NET60. O AOT60 - Exposição Acumulada ao Ozono acima de um limite de 60 ppb ou $120 \mu\text{g} / \text{m}^3$ - é o valor acumulado da diferença entre o valor máximo das médias octo-horárias, obtidas para cada dia, acima de 60 ppb, possuindo um limiar anual de 2900 ppb.h [23, 26, 27]. O NET60 - Número de excedências acima de um limite de 60 ppb ou $120 \mu\text{g} / \text{m}^3$ - contabiliza os dias para os quais o indicador AOT60 é ultrapassado. A valor alvo para o NET60 é 25 dias por ano tendo por base a média para um período de 3 anos. A longo prazo, a União Europeia pretende reduzir este valor para 0 dias [23, 26]. Percebe-se que, como a determinação dos níveis críticos de ozono requer a monitorização a médio prazo do poluente, os resultados obtidos neste estudo servem apenas para nos darem uma imagem da atual situação para cada uma das zonas industriais.

3 AMBIENTE ACÚSTICO EM ZONAS INDUSTRIAIS

Devido ao rápido aumento da industrialização, da urbanização e de outros sistemas de comunicação e transporte, a poluição sonora atingiu um nível perturbador ao longo dos anos [35]. O som é definido como uma onda mecânica que se propaga através de um meio material, produzida por variações de pressão, enquanto que o ruído, segundo a Diretiva Europeia, corresponde qualquer som indesejado ou conjunto de sons que causem incómodo ou tenham impacto sobre a saúde humana, sendo emitido por atividades antropogénicas como tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e zonas industriais [34].

A poluição sonora distingue-se de outras categorias de poluição de natureza mássica, como a poluição do ar, água e do solo. Enquanto estes tipos de poluição, envolve resíduos mássicos que se mantêm no ambiente por longos períodos, a poluição sonora envolve resíduos energéticos que desaparecem rapidamente no tempo, com efeitos frequentemente subtis e insidiosos que acabam por prejudicar a saúde pública e a qualidade do ambiente urbano.

3.1 PROBLEMÁTICA DA POLUIÇÃO ACÚSTICA

Antes de tentar resolver ou solucionar o problema da poluição sonora, deve levar-se em consideração alguns elementos básicos: (i) o som surge de uma fonte emissora, a fonte pode consistir num ou mais dispositivos mecânicos que irradiam ruído ou vibração; (ii) desloca-se através de um dado meio, de um ponto para outro através de qualquer percurso ou combinação de percursos; (iii) afeta um recetor ou um ouvinte, o ouvinte pode ser uma pessoa, um grupo de pessoas, uma zona residencial, escolas ou hospitais [36].

Como na poluição atmosférica, a problemática da poluição acústica envolve três elementos básicos: fonte, meio de propagação (percurso) e recetor [36]. Na Figura 4 encontra-se uma representação simples desses elementos.

3.2 MEDIDAS DE CONTROLO E MINIMIZAÇÃO

Numa zona industrial o processo de controlo de ruído deve-se iniciar com a identificação das fontes ruidosas e classificação de acordo com a contribuição de cada uma para o nível de ruído global. Além disso, deve-se determinar os percursos de propagação do som da fonte ao recetor. Com essas informações é possível estabelecer as soluções mais aceitáveis para a realidade local em termos económicos e de eficácia [37].

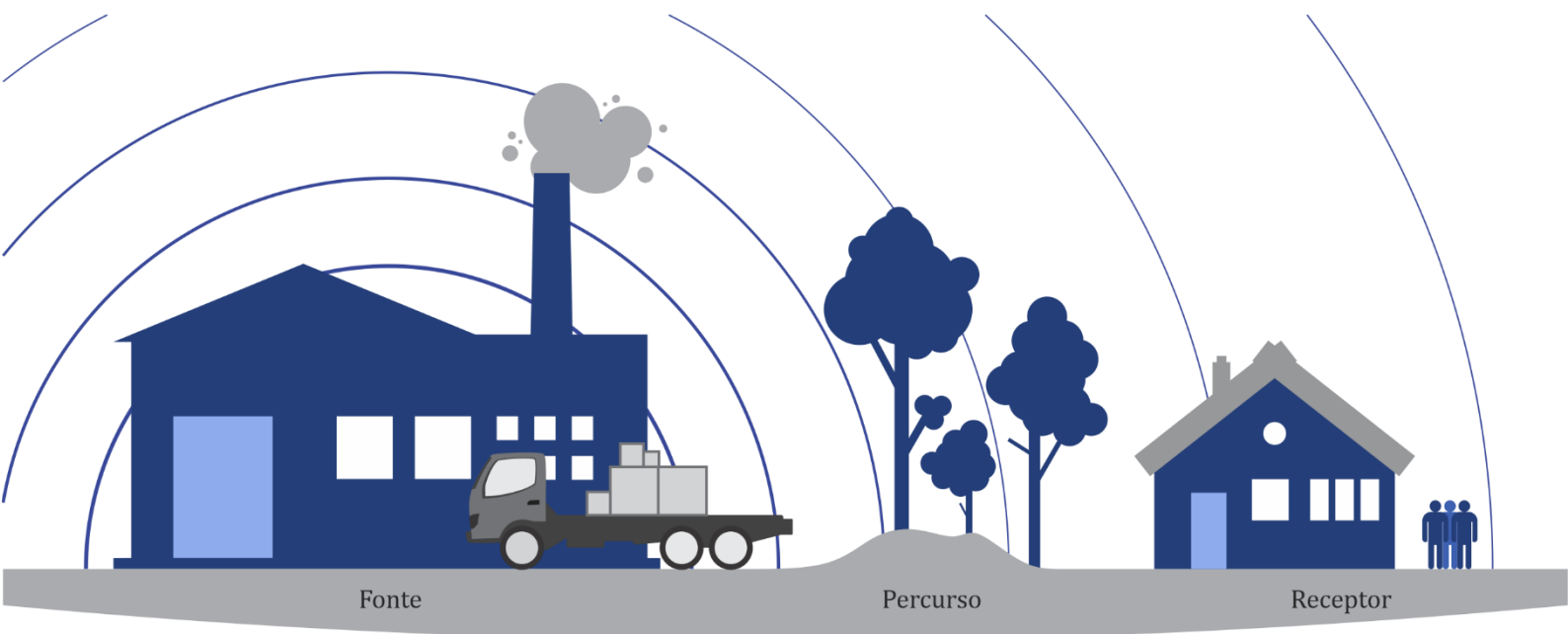


Figura 4 - Elementos básicos da poluição acústica

Assim, Muralikrishna e Manickam [36] reportaram que a solução do problema de poluição acústica pode exigir uma alternância ou modificação de um ou mais dos elementos básicos – fonte, meio de propagação e receptor.

A solução mais rápida e mais eficiente na minimização dos impactes causados pela poluição sonora é a modificação ou troca da fonte sonora. A emissão do ruído pode sofrer uma alteração significativa apenas com a troca de uma peça do equipamento ou troca da máquina. Além disso, em alguns casos, o uso de duas unidades combinadas, com a mesma capacidade de produção, pode reduzir o ruído gerado por uma unidade maior. Contudo, mais informações devem ser retiradas para verificar a viabilidade dos projetos de mitigação ou minimização da poluição sonora [38]. No entanto, quando a modificação da fonte do ruído não é possível, não é exequível do ponto de vista técnico ou economicamente inviável, modificar o percurso do ruído é uma outra opção. Portanto, para fontes que ficam em zonas ao ar livre, uma possibilidade seria aumentar a distância entre a fonte e o receptor. Para fontes localizadas ou em ambientes fechados, o percurso de propagação poderia ser modificado inserindo uma parede ou uma barreira acústica entre a fonte e o receptor [38].

Por fim, uma última possibilidade envolve modificações no receptor. A fim de minimizar os danos causados pela exposição à poluição sonora industrial dos trabalhadores, deve limitar-se o tempo de exposição a elevados níveis de ruído e fornecer equipamentos adequados para proteção auricular [36]. Todavia, essas soluções são aplicadas à indústria, de modo que zonas residenciais afetadas por ruído, com a impossibilidade da modificação da fonte e do meio de

propagação, se faz uso da acústica de edifícios, campo da ciência que estuda soluções aplicadas à construção de edifícios com o objetivo de assegurar aos ocupantes proteção contra ruído e vibrações exteriores, além de assegurar os requisitos de isolamento acústico e de reverberação adequados nos vários compartimentos da edificação. Usualmente os requisitos mínimos de isolamento acústico residencial seguem leis europeias ou estabelecidas pelos próprios países. Para Portugal, o Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de junho estabelece esses requisitos através da atualização do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), enquanto que na Espanha, os valores alvo são definidos pelo *Documento Básico de Protección contra el Ruido (DB-HR)*.

As soluções no campo de acústica de edifícios geralmente envolvem a aplicação de materiais para o isolamento ou absorção dos sons. Para sons exteriores ao edificado, as soluções são aplicadas às fachadas, portas e janelas do edificado. As soluções mais comuns para paredes envolvem a aplicação de materiais que confirmam um bom índice de isolamento sonoro. Nas janelas utilizam-se vidros duplos ou triplos com caixa de ar ou gás e vedação de frinchas.

Portanto, o controlo da poluição acústica pode ser sintetizado pelos seguintes níveis de prioridade, cuja aplicação depende da viabilidade técnica e económica de cada caso, podendo ser aplicadas soluções individuais ou conjuntas [37].

- | | |
|---|------------------------|
| 1- Remover a fonte de ruído | modificação da fonte |
| 2- Substituir o processo/equipamento por um mais silencioso | modificação da fonte |
| 3- Reduzir o ruído por meio do design | modificação da fonte |
| 4- Aplicação de barreiras físicas ou silenciadores | modificação do caminho |
| 5- Mudar a rotina de trabalho (indústria) | modificação do recetor |
| 6- Fornecer equipamento de proteção individual (indústria) | modificação do recetor |
| 7- Aplicação de soluções de acústica de edifícios (residencial) | modificação do recetor |

3.3 ENQUADRAMENTO LEGAL

Em Portugal a legislação que rege o ruído ambiente é o Regulamento Geral de Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro. Todavia, este diploma não estabelece limites de ruído para zonas exclusivamente industriais. Fora do perímetro industrial, no entanto, deve-se respeitar os valores estabelecidos pelo RGR de acordo com a classificação estabelecida no Plano Diretor Municipal. O RGR define duas classes de acordo com o tipo de recetor, zona mista e zona sensível:

Zona mista: a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;

Zona sensível: a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno.

Em Espanha, a Junta de Castilla y León, região autónoma onde se situa Zamora, o ruído ambiente é regido pela Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, a qual possui limites específicos para zonas industriais. Na proposta de zonamento acústico de 2018, o Parque Industrial de Hiniesta encontra-se classificado como Tipo 4 (área ruidosa), com uma pequena parcela na região sudeste identificada como Tipo 1 (área de silencio). A Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León define a área de Tipo 4 como:

Tipo 4. Área ruidosa: zona de baixa sensibilidade acústica, que compreende os setores do território que não requerem nenhuma proteção especial contra o ruído. Nela estão incluídas as zonas com predomínio de uso industrial.

Assim, as campanhas de ruído foram realizadas nos três períodos estipulados legalmente para cada local (diurno, entardecer, noturno). Na Tabela 2 são expostos os horários correspondentes a cada um dos períodos e na Tabela 3 os limites legalmente estipulados para cada uma das zonas classificadas. Considerando que Portugal não define limites específicos para zonas industriais, utilizaram-se os limites legais da lei espanhola como base de comparação entre as duas zonas industriais.

Tabela 2 – Período de referência para a medição dos indicadores diurno, entardecer e noturno

Portugal ¹		Espanha ²	
Diurno	07:00 – 20:00h	Diurno	07:00 – 19:00h
Entardecer	20:00 – 23:00h	Entardecer	19:00 – 23:00h
Noturno	23:00 – 07:00h	Noturno	23:00 – 07:00h

1 - Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro 2 - Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León

Tabela 3 – Limites legais estabelecidos para cada uma das regiões industriais estudadas

Limite (dBA)	Zona Sensível Portugal ¹	Zona Mista Portugal ¹	Zona Ruidosa Espanha ²
Ld - Diurno	-	-	70
Le - Entardecer	-	-	70
Ln - Noturno	45	55	60
Lden - Diurno/Entardecer/Noturno	55	65	71

1 - Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro 2 - Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A zona industrial de Mirandela (Figura 5) encontra-se situada no município de Mirandela, pertencente ao distrito de Bragança e localizada no nordeste de Portugal na região conhecida como Trás-os-Montes. Ocupa uma área de aproximadamente 44,5 ha com 123 lotes no seu interior. Entre as diversas atividades existentes, as indústrias alimentares possuem maior destaque em virtude da sua grande dimensão. Também estão situadas na região oficinas e comércio de automóveis, centro de inspeções, armazéns de construção e materiais agrícolas, lagar de azeite, uma empresa de produção de betão, oficinas da câmara municipal, serviços de carpintaria, serviços de apoio às empresas e um ecocentro. A envolvente da zona industrial é composta principalmente por terrenos agrícolas.

O parque industrial de Hiniesta (Figura 6) está situado no município de Zamora, na comunidade autónoma de Castilla y León, ocupando uma área de aproximadamente 22 ha e com 76 lotes no seu interior. Encontram-se instaladas no parque oficinas e comércio de automóveis, serviços de carpintaria, metalurgia e pintura, serviços de saneamento, empresas de construção civil, e venda de móveis. Na envolvente, na direção oeste e sul, encontram-se predominantemente terrenos agrícolas, a norte situa-se a zona de expansão do parque industrial de Hiniesta, e a Este encontram-se lotes residenciais.

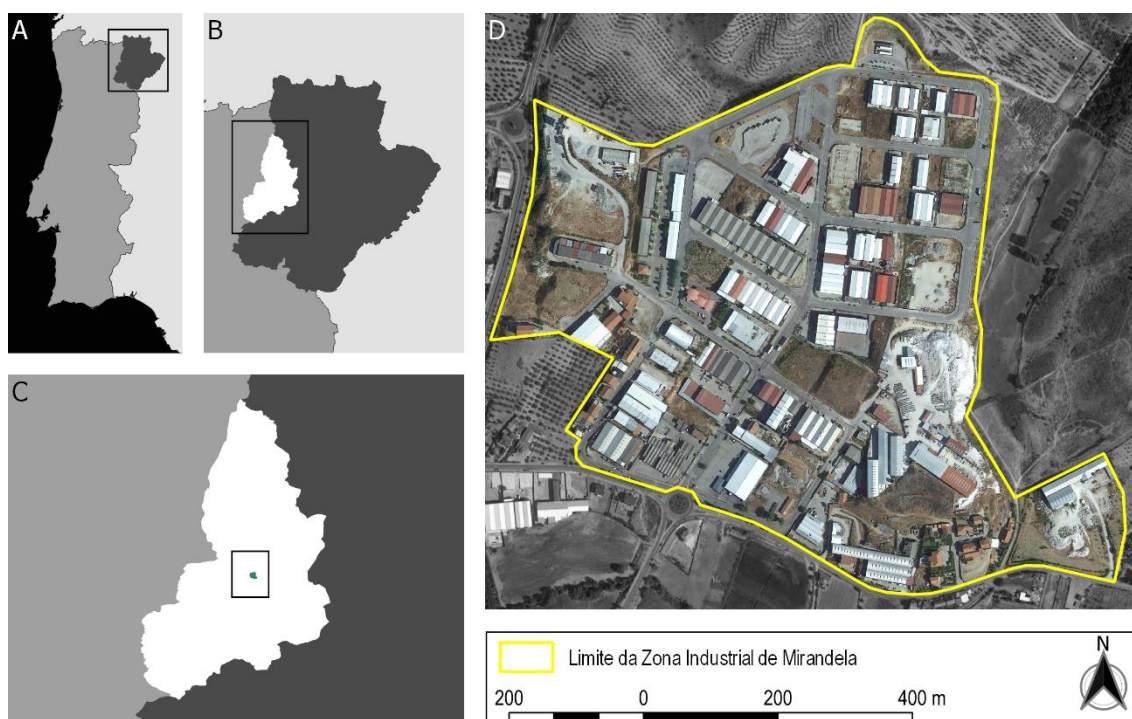


Figura 5 – Enquadramento geográfico da Zona Industrial de Mirandela

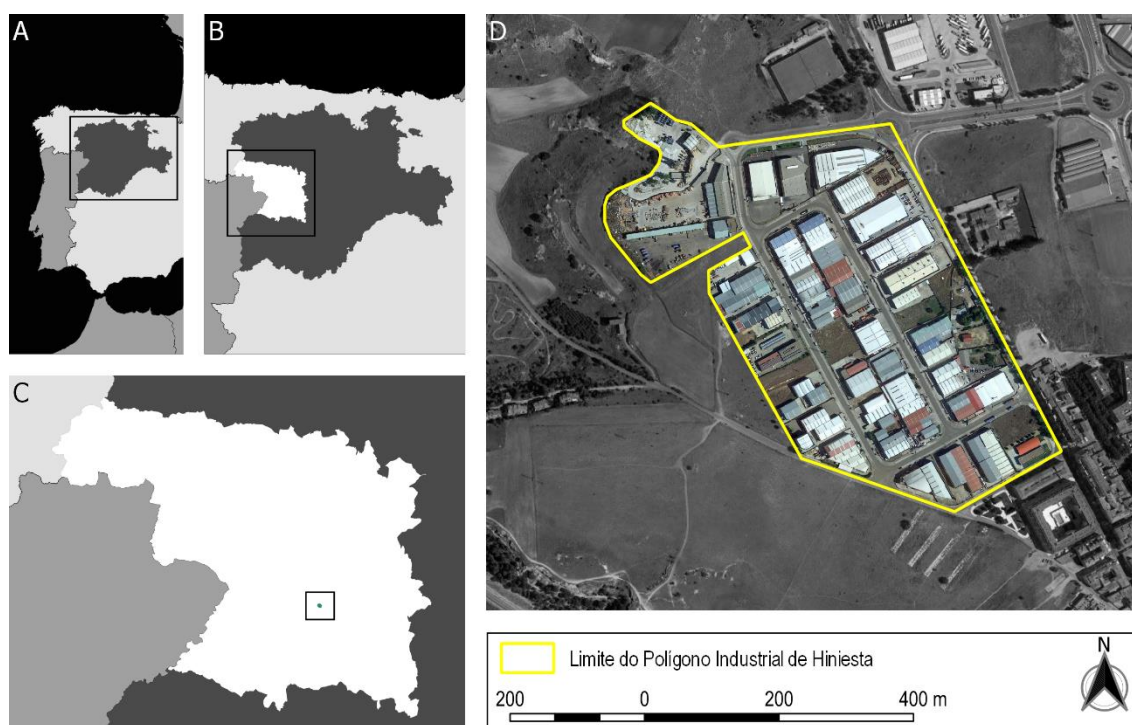


Figura 6 – Enquadramento geográfico do Parque Industrial de Hiniesta em Zamora

4.2 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

Na Figura 7 encontra-se sintetizada em um diagrama de blocos a metodologia do projeto Rehabind. Nas próximas sessões deste relatório serão expostas as ações apresentadas no diagrama metodológico.

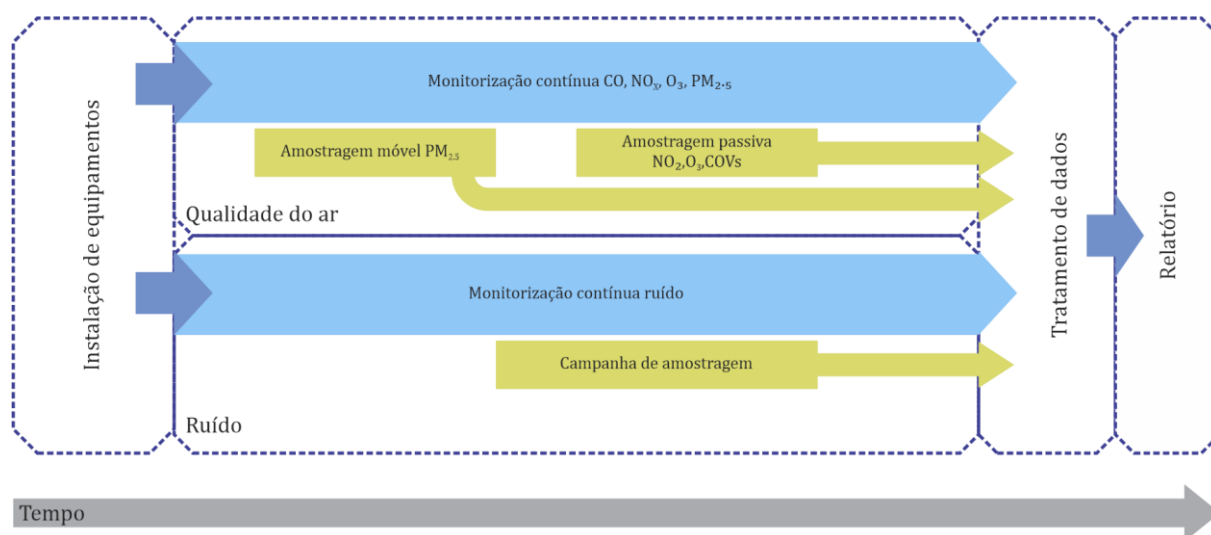


Figura 7 – Diagrama metodológico do projeto Rehabind

4.3 MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

Em cada um dos parques industriais foram instalados um conjunto de analisadores de gases em conformidade com os métodos de referência descritos pela Diretiva 2008/50/EC do Parlamento Europeu e Conselho. Em Mirandela instalou-se um analisador de ozono HORIBA APOA-370 (absorção ultravioleta não dispersiva), um analisador de óxidos de azoto HORIBA APNA-370 (quimiluminescência) e um analisador de monóxido de carbono HORIBA APMA-370 (absorção infravermelha não dispersiva). No Parque Industrial de Hiniesta em Zamora foram instalados os analisadores de gases HORIBA APOA-370 e APNA-370 para monitorização de ozono e óxidos de azoto respetivamente.

Na Figura 8 pode observar-se o sistema de monitorização de gases utilizado no projeto. O sistema é basicamente composto por um armário móvel, o qual contém no seu interior os analisadores de gases e todos os componentes necessários para a sua operação. Cada um dos analisadores possui uma bomba de sucção integrada, responsável por realizar a sucção do ar exterior para cada um dos analisadores. A tomada de ar é constituída por uma estrutura protetora da entrada das tubagens de teflon - material não reativo ao ozono e outros compostos – que conduz o ar ambiente até aos analisadores.

A partir das concentrações horárias de poluentes e das condições atmosféricas locais criaram-se perfis semanais e diários para observação do comportamento das diferentes variáveis ao longo da semana e do dia. Esses perfis foram criados considerando que as atividades operantes nas zonas industriais possuem regimes de funcionamento diferentes para os dias úteis e fim de semana e também as variáveis meteorológicas variam de acordo com a estação do ano.



Figura 8 – Sistema de monitorização de gases. (esquerda) toma de ar responsável pelo suporte e proteção das tubagens de aspiração do ar ambiente até aos analisadores; (centro) armário do tipo rack dos analisadores;(direita) disposição dos analisadores de gases no interior do armário

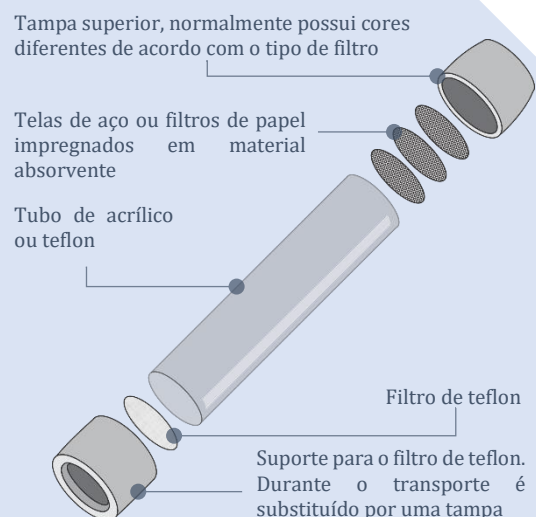


Figura 9 – Método utilizado durante as campanhas de medição de partículas, mostrando o monitor de partículas THERMO ADR-1200S (em destaque) montado sobre uma carrinha

Além disso, realizou-se a correlação das variáveis meteorológicas locais com os poluentes monitorados, a fim de verificar as variáveis locais com maior influência sobre a produção do ozono localmente. Ainda, foram medidas as concentrações de partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) em campanhas utilizando o monitor de partículas THERMO ADR-1200S (princípio de operação por fotometria de dispersão), montado sobre a carroceria de uma carrinha para facilitar a deslocação entre pontos. Em cada ponto foram realizadas amostragens de 10 minutos com resolução temporal de 1 minuto nos períodos diurno e noturno para verificar a concentração de partículas dentro e fora do período de laboração das atividades locais. Na Figura 9 pode ser visualizado o sistema montado sobre a carrinha e também a vista mais detalhada do monitor de partículas, com a indicação de cada um dos seus componentes.

TUBOS DE DIFUSÃO

Tubos de difusão são amostradores passivos, que não utilizam nenhum meio ativo, como bombas de sucção para o transporte de ar até o meio absorvente. A configuração básica de um tubo de difusão do tipo *Palms* consiste num cilindro de acrílico, no qual a extremidade inferior contém um meio de filtragem do ar e a extremidade superior uma tampa contendo filtros de papel ou telas de aço inoxidável impregnadas com material absorvente para fixação do poluente.



Também, em Mirandela, fez-se a monitorização contínua de $PM_{2,5}$, utilizando o monitor de partículas VEREWA F-701-20, baseado em absorção de radiação beta (método equivalente), em conformidade com a Diretiva 2008/50/EC do Parlamento Europeu e Conselho). O equipamento foi instalado no exterior (Figura 10) integrado num armário para proteção contra as intempéries climáticas. Assim como o THERMO ADR-1200S, o monitor é composto por uma cabeça de amostragem, uma bomba de sucção e um detetor.



Figura 10 – Monitor contínuo de material particulado $PM_{2,5}$

Além da monitorização contínua dos gases, também foram realizadas campanhas com amostragem passiva utilizando tubos de difusão do tipo *Palms* (Figura 11). Neste caso, os tubos foram deixados expostos ao ar ambiente durante um determinado tempo conhecido na área de interesse. Durante esse período, ocorre o transporte do poluente por difusão molecular do ar ambiente para o interior do cilindro e a fixação do poluente num filtro impregnado com material absorvente. O material absorvente depende do gás-alvo que se deseja monitorar. As campanhas de amostragem passiva foram realizadas para determinar a concentração média de ozono e dióxido de azoto, além da identificação dos dez principais compostos orgânicos voláteis em diversos pontos distribuídos nas áreas de estudo.



Figura 11 – Método de amostragem passiva; (esquerda) abrigo fixado num dos locais de medição; (centro) visão do abrigo em detalhe; (direita) abrigo sem a tampa superior mostrando a forma como os tubos passivos são colocados no seu interior

4.4 MONITORIZAÇÃO DO AMBIENTE ACÚSTICO

Os níveis de ruído ambiental nas zonas industriais foram avaliados em campanhas de medição utilizando um sonómetro portátil e analisador de espectro classe 1 CESVA-SC420 com um tripé para apoiar o dispositivo e posicioná-lo a uma altura adequada de medição (Figura 12). O sonómetro foi configurado para realizar as medições usando a curva de ponderação A. As campanhas foram realizadas para os três períodos estipulados legalmente para cada local.



Figura 12 – Equipamentos utilizados para as campanhas de medição de ruído. (esquerda) sonómetro junto ao conjunto de acessórios utilizados; (direita) ilustração da aplicação do sistema de medição.

Medições contínuas também foram realizadas utilizando o sensor de ruído fixo CESVA-TA120, capaz de realizar medições 24h / 7d com precisão de classe 1 (Figura 13). Para cada zona industrial instalou-se um sensor de ruído CESVA-TA120, ambos equipados com um modem GPRS/3G, o que permitiu o envio de dados remotamente para a *NoisePlatform*. A *NoisePlatform* é uma plataforma online dos mesmos fabricantes dos sensores do ruído, que permite a visualização e análise dos dados em tempo real.



Figura 13 – Sistema de monitorização contínua de ruído. (esquerda) sensor de ruído com as respetivas componentes constituintes; (direita) sistema instalado em campo.

4.5 MONITORIZAÇÃO METEOROLÓGICA

Utilizaram-se também estações meteorológicas para caracterizar as variáveis meteorológicas prevalentes nos locais, durante o período de amostragem, medindo a direção e velocidade do vento, radiação solar, pluviosidade, temperatura e humidade relativa do ar. As estações foram compostas pela integração de diversos sensores no *datalogger* CR300 da *Campbell Scientific*, responsável pelo controlo dos sensores, recolha, armazenamento e transmissão de dados. As informações foram armazenadas a cada 10 minutos com posterior integração a 1 hora para análise conjunta com os dados horários dos analisadores de gases.

Para a aquisição dos dados de temperatura e humidade relativa utilizou-se o sensor digital CS215 da *Campbell Scientific*, o qual é fixado no interior de um abrigo meteorológico. A radiação solar foi monitorizada com o piranómetro CS300 da *Campbell Scientific*, capaz de medir o espectro solar total. Além desses sensores também se utilizou o conjunto anemómetro e anemoscópio ORA da *Lambrecht* para medição da velocidade e direção do vento respetivamente. O último sensor incorporado foi o pluviómetro com sistema de báscula versão 15189 *Lambrecht* para medição da pluviosidade local. A estação montada pode ser observada na Figura 14, com a indicação de cada um dos sensores mencionados anteriormente.

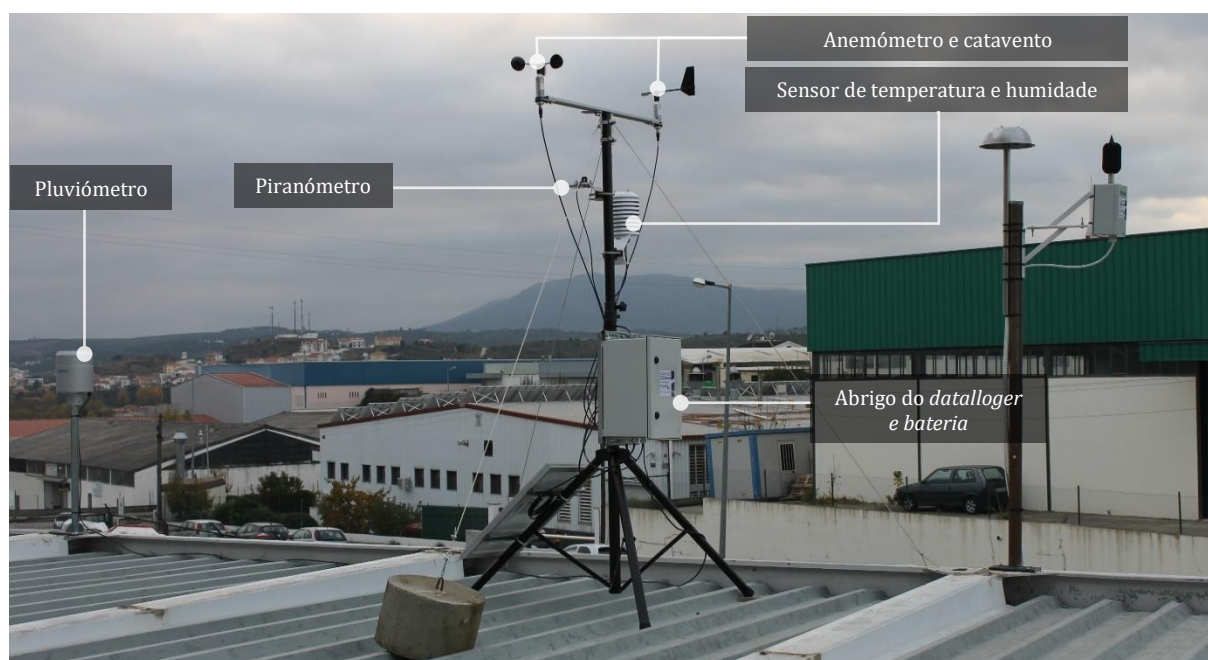


Figura 14 – Estação meteorológica instalada com a indicação dos principais sensores.

5 PRINCIPAIS RESULTADOS

5.1 QUALIDADE DO AR

5.1.1 SÉRIES TEMPORAIS

A Figura 15 apresenta a série temporal dos gases monitorados de janeiro a setembro de 2019. Da análise da figura constata-se que concentrações mais elevadas de ozono ocorreram nos meses mais quentes, em particular nas estações da primavera e verão, em parte devido aos valores mais elevados de temperatura e radiação solar que favorecerem os mecanismos fotoquímicos de formação do ozono. Nos meses mais frios constata-se que se destacam as concentrações dos poluentes primários, em resultado das emissões mais intensas nesse período e de condições atmosféricas que não são tão favoráveis à sua remoção pela via fotoquímica.

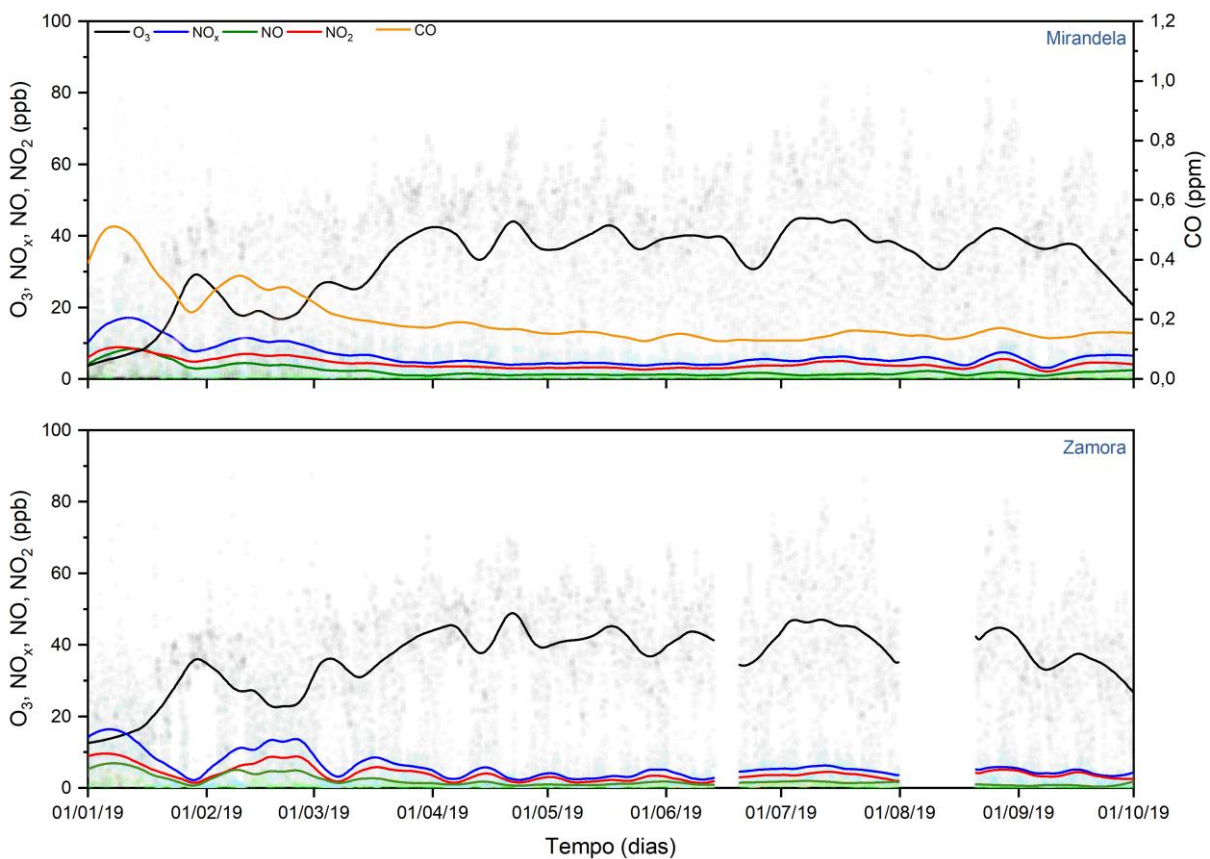


Figura 15 – Série temporal da concentração dos poluentes ao longo dos meses estudados

A partir das concentrações horárias analisou-se também o perfil semanal dos gases monitorados, a fim de se visualizar a evolução das concentrações ao longo dos dias e a

influência das atividades industriais nas concentrações desses poluentes. O perfil semanal de cada região encontra-se plasmado na Figura 16.

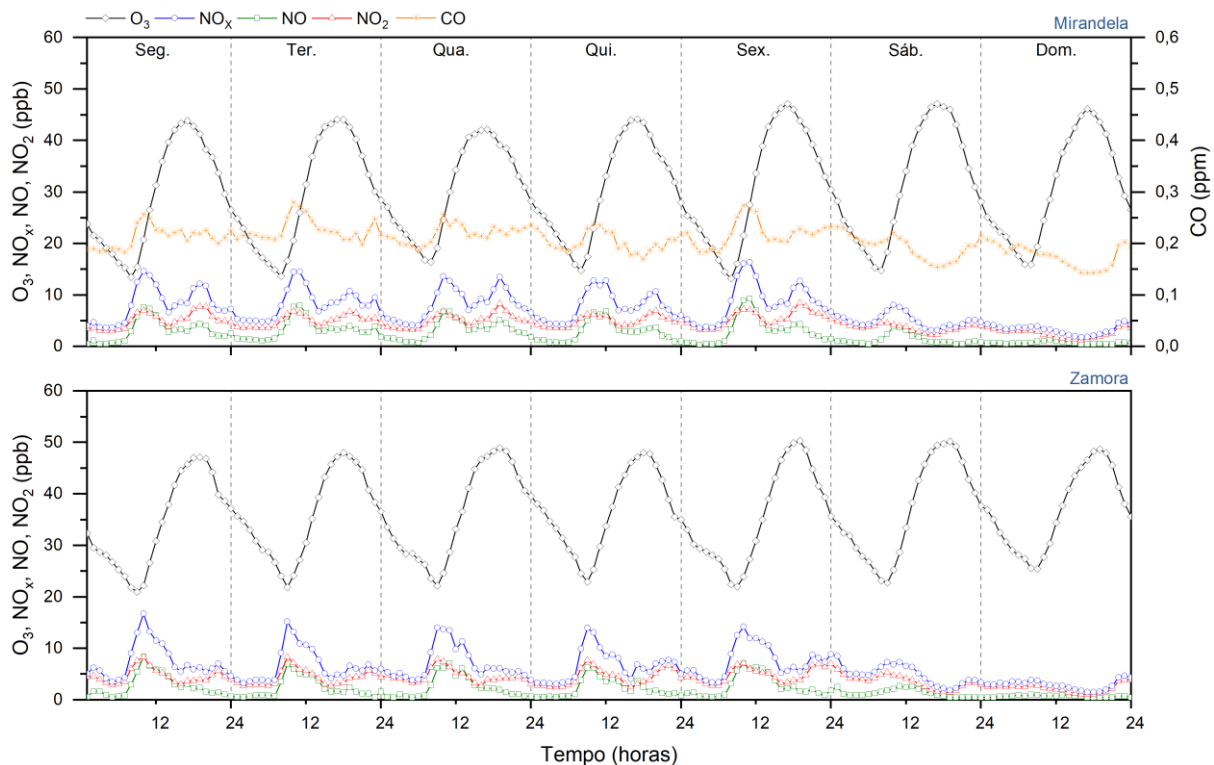


Figura 16 – Perfis semanais dos poluentes monitorados para cada zona industrial.

Os gráficos da Figura 16 mostram que ambas as zonas industriais possuem um perfil semanal de emissão de poluentes e formação de ozono semelhantes. Entre segunda e sexta-feira as concentrações dos poluentes primários apresentam um primeiro pico entre as 7 e as 10 horas, relacionado com o início das atividades industriais e a maior circulação de automóveis. Depois de lançados na atmosfera, estes poluentes promovem as reações de formação de ozono na presença de luz solar, de tal forma que à medida que os níveis dos precursores de ozono diminuem (logo após as 10 horas), os níveis de ozono aumentam até atingir concentrações horárias máximas de aproximadamente 45 ppb, entre as 15 e 17 horas. A partir das 17 horas inicia-se o declínio da concentração de ozono em virtude da diminuição da radiação solar incidente. A segunda elevação dos poluentes primários ocorre entre as 17 e 19 horas com o encerramento das atividades na zona industrial, mas considerando a baixa radiação solar não interferem de forma visível nos níveis de ozono.

Muitas empresas da zona industrial não operam aos sábados, sendo visível que a elevação dos poluentes primários é inferior ao observado durante os dias semanais. Ao domingo a concentração desses poluentes permanece constante na maior parte do dia.

5.1.2 CORRELAÇÃO ENTRE OS POLUENTES

Para entender melhor as variáveis que influenciam a produção de ozônio localmente realizou-se a análise de correlação de *Spearman*, aplicando o teste bilateral com um nível de significância de 0,05. A Tabela 4 exibe os valores encontrados para Mirandela e Zamora, respectivamente, onde os valores assinalados com um asterisco apresentam uma correlação significativa.

Tabela 4 – Coeficientes de correlação de *Spearman* entre as médias horárias de CO, NO, NO₂, NO_x, O₃ e os parâmetros meteorológicos para cada uma das zonas industriais estudadas

Mirandela									
Variáveis	CO	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	T	HR	RS	V
CO	1,000	0,556*	0,683*	0,685*	-0,409*	-0,513*	0,425*	0,004	-0,264*
NO		1,000	0,757*	0,885*	-0,266*	-0,091*	0,159*	0,383*	-0,024*
NO ₂			1,000	0,967*	-0,406*	-0,269*	0,328*	-0,005	-0,346
NO _x				1,000	-0,401*	-0,244*	0,307*	0,123*	-0,263*
O ₃					1,000	0,753*	-0,886*	0,447*	0,715*
T						1,000	-0,844*	0,445*	0,554*
HR							1,000	-0,505*	-0,653*
RS								1,000	0,545*
V									1,000
Zamora									
Variáveis		NO	NO ₂	NO _x	O ₃	T	HR	RS	V
NO		1,000	0,629*	0,752*	-0,316*	-0,476*	0,206*	0,292*	-0,347*
NO ₂			1,000	0,981*	-0,463*	-0,211*	0,045*	-0,011	-0,675*
NO _x				1,000	-0,461*	-0,265*	0,074*	0,056*	-0,645*
O ₃					1,000	0,655*	-0,617*	0,295*	0,537*
T						1,000	-0,803*	0,364*	0,263*
HR							1,000	-0,436*	-0,144*
RS								1,000	0,165*
V									1,000

T – Temperatura HR – Humidade Relativa RS – Radiação Solar V – Velocidade do Vento

Visualiza-se uma correlação positiva entre os óxidos de azoto e o monóxido de carbono, semelhante ao trabalho realizado por Agudelo–Castaneda et al. [39], indicando que ambos os gases possuem a mesma fonte de emissão, relacionada principalmente com o tráfego rodoviário e outros processos de combustão industrial.

O ozônio apresentou uma correlação significativa positiva com a temperatura e radiação solar, uma correlação esperada, posto que o aumento da radiação solar incidente e elevadas temperatura favorecem as reações fotoquímicas de síntese do ozônio. Além disso, constata-se a existência de uma correlação negativa entre o ozônio e os poluentes primários, que conforme

esclarecido no Capítulo 2, ocorre o consumo dos óxidos de azoto e monóxido de carbono em favor da produção do ozono. Também ocorre uma forte correlação negativa entre a humidade relativa e concentração de ozono, fenómeno este explicado pelo facto de que maiores percentagens de humidade relativa estão relacionadas com dias de menor incidência solar, ou seja, dias com maior cobertura de nuvens, dias chuvosos ou dias de nevoeiro [40, 41].

A velocidade do vento apresenta uma correlação positiva com a concentração de ozono e uma correlação negativa com óxidos de azoto e monóxido de carbono e a análise horária dos dados apresentou uma associação do aumento da concentração de ozono tanto para baixas como para altas velocidades de vento. Isso pode ser explicado uma vez que baixas velocidades de vento favorecem a acumulação dos precursores do ozono, contribuindo para a produção local de ozono, enquanto que velocidades elevadas facilitam a dispersão dos precursores, mas podem favorecer o transporte de ozono de outros locais [42, 43].

5.1.3 NÍVEIS CRÍTICOS DE EXPOSIÇÃO AO OZONO

Utilizando também as concentrações de ozono se calcularam os níveis críticos de exposição ao ozono, AOT40, AOT60 e NET60. Na Figura 17 encontram-se organizados os dados para AOT40 para proteção da vegetação e florestas.

Cada um dos gráficos da Figura 17 contempla uma das zonas industriais estudadas, indicando os limites de AOT40 vegetação e floresta, assim como os meses que foram considerados no cálculo destes índices. Para ambos os parques industriais, os valores alvo de AOT40 foram excedidos, atingindo em Mirandela 20.000 ppb.h para AOT40 floresta, e valores acima dos 11.000 ppb.h para AOT vegetação. Em Zamora, mesmo com a lacuna na série de dados, ocorreu excedência dos valores limites, chegando acima dos 17.000 ppb.h para AOT40 floresta e ultrapassando os 10.000 ppb.h para AOT40 vegetação.

Em relação ao níveis de exposição para proteção da saúde humana, apresentam-se nas Figura 18 e Figura 19 os resultados para o AOT60 e NET60 para Mirandela e Zamora, respetivamente. Ambos os parques industriais ficaram muito abaixo do limite de 2.800 ppb.h para AOT60, no entanto, o número de dias em que os valores máximos diários das médias octo-horárias de ozono ultrapassaram os 60 ppb aos 25 dias anuais estabelecidos pela União Europeia, e pela legislação de cada estado membro, chegando aos 38 dias em Mirandela e 33 em Zamora. Importa, todavia, ressaltar que em muitos dos dias em que esse limite foi ultrapassado, os valores máximos diários das médias octo-horárias de ozono apenas excederam ligeiramente os 60 ppb.

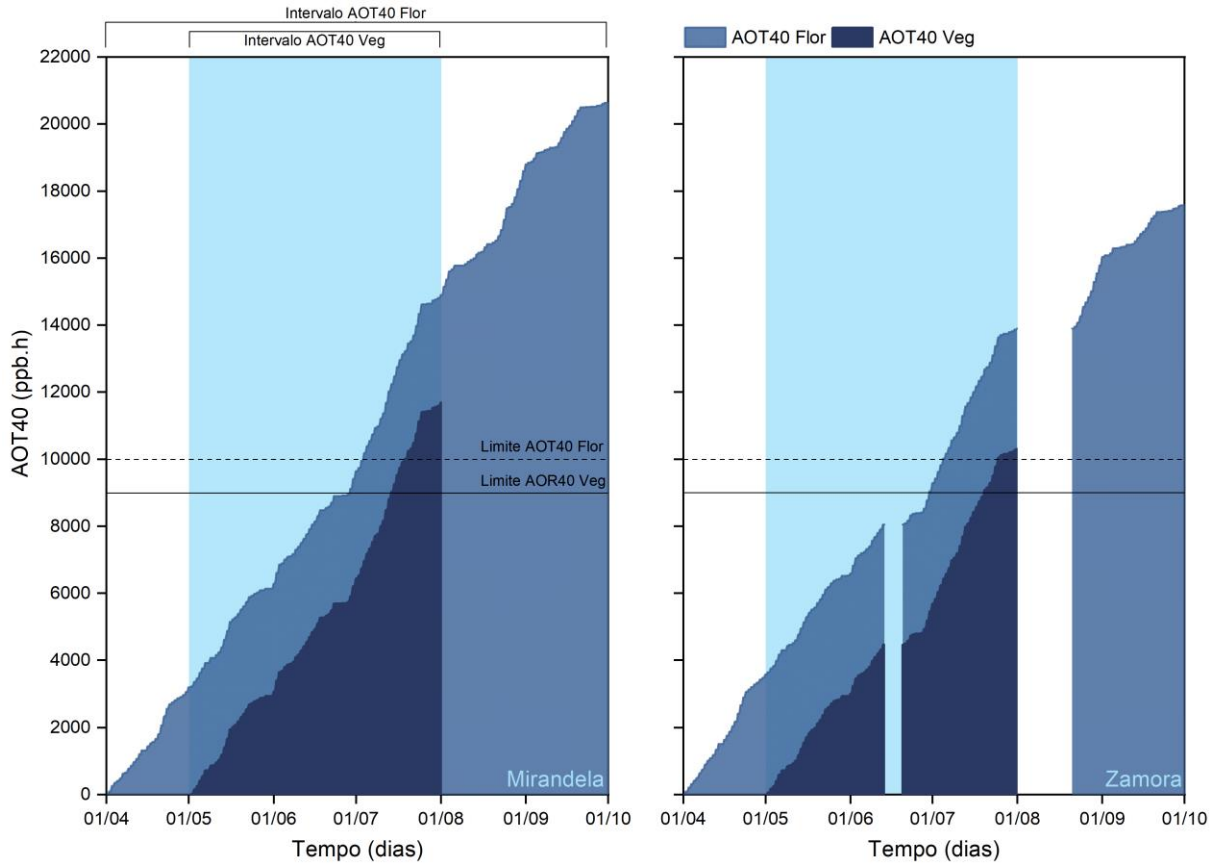


Figura 17 – Níveis de Exposição Acumulada ao Ozono acima de um limiar de 40 ppb ou 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT40) para floresta e vegetação.

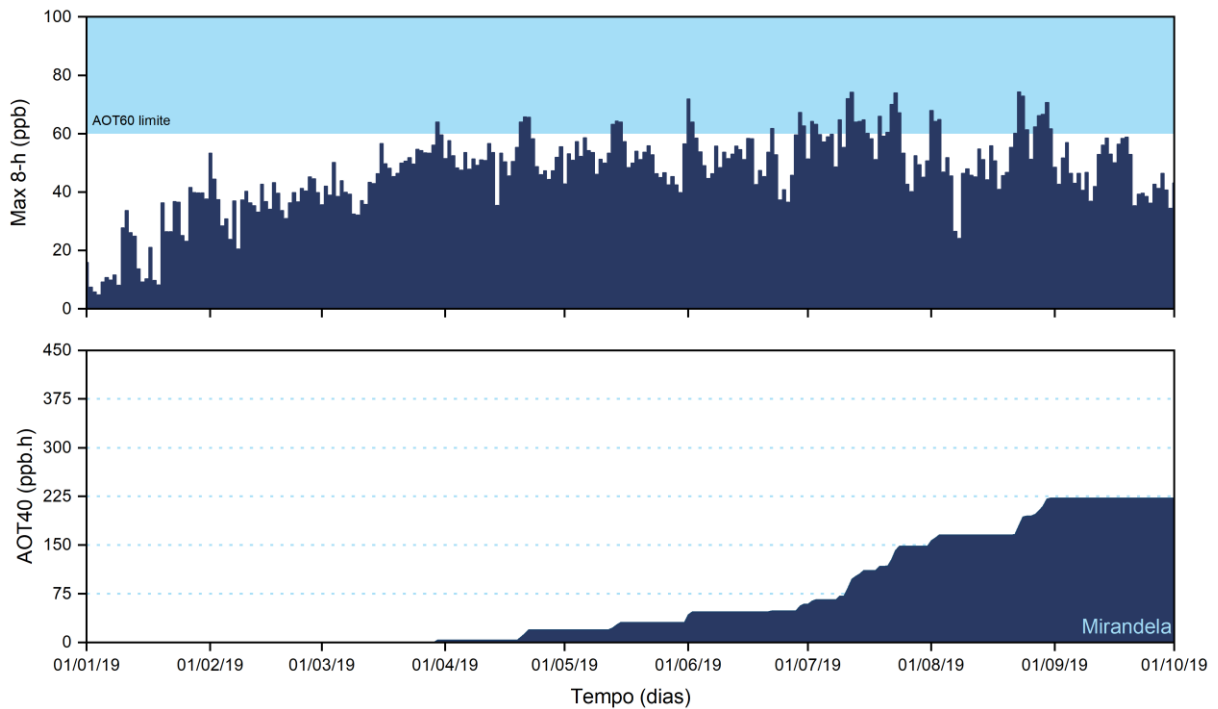


Figura 18 – Níveis de Exposição Acumulada ao Ozono acima de um limiar de 60 ppb ou 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT60) para Mirandela

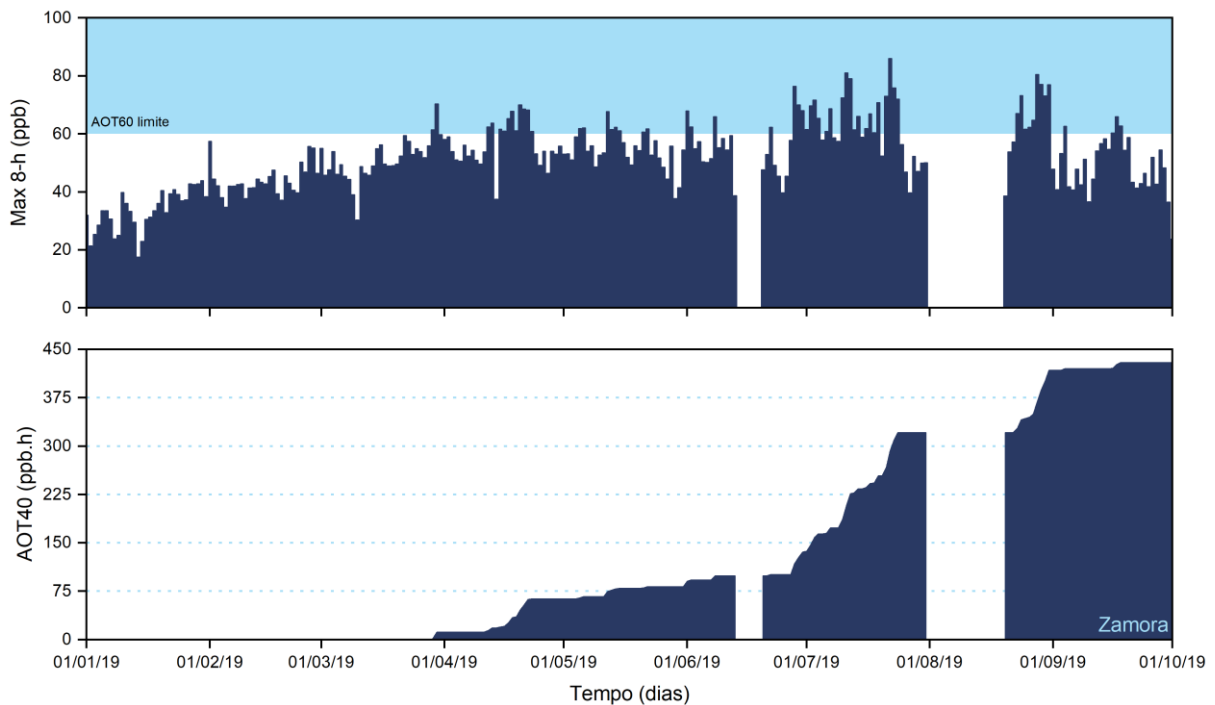


Figura 19 – Níveis de Exposição Acumulada ao Ozono acima de um limiar de 60 ppb ou 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT60) para Zamora

5.1.4 AMOSTRAGEM PASSIVA NO_2 E O_3

Na Figura 20 apresentam-se os resultados das amostragens passivas de ozono e dióxido de azoto para ambos os parques industriais. Tais poluentes apresentaram uma tendência inversamente proporcional, como pode ser observado nos mapas da Figura 20, onde os locais com concentrações mais elevadas de ozono, apresentam as menores concentrações de dióxido de azoto. Esse fenómeno foi explicado no Capítulo 2 deste relatório, onde há a indicação das reações existentes entre tais poluentes.



Figura 20 – Amostragem passiva de ozono e dióxido de azoto. (esquerda) Mapas correspondentes às amostragens realizadas na zona industrial de Mirandela; (direita) Mapas correspondentes às amostragens realizadas no polígono industrial de Hiniesta em Zamora. Os mapas superiores apresentam as concentrações de ozono, enquanto que os inferiores os resultados para o dióxido de azoto. A primeira campanha encontra-se em azul e a segunda em verde.

5.1.5 AMOSTRAGEM PASSIVA COVs

Na Figura 21 e Figura 22 encontram-se os resultados obtidos para a amostragem passiva dos COVs. A análise dessas amostras resultou nos dez COVs mais presentes em cada um dos pontos, sendo identificados ao todo 42 espécies de COVs, das quais, 8 foram excluídas em por possivelmente resultar de reações envolvendo o material absorvente. A grande maioria dos COVs identificados são provenientes de atividades antrópicas, relacionadas com emissões industriais, tráfego automóvel, uso de solventes e de fitossanitários.



Mirandela										
COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K
Ácido acético	0,8	0,6	1,45		0,95	0,9	1,9	1,1	1,2	0,95
Benzeno						<0,3		0,4		0
Ácido benzoico	1,3	1	2,5	7,8	3,7	<0,4				
Etilbenzeno	9,8						1,4	4,8	2,7	
Hexano	9,5	0,4	1,6	1,9			1,7	2,75		0,4
Ácido 3,5,5-trimetilhexanóico	16,7	13	2,3	4,8		2,7			2,8	4,3
m/p-Xileno	16,4	0,6		1,4		0,4	1,9	2,6	1,6	
Ácido octanóico	3,7	1,5	3,25	2,8	3,9		2,4	2,3		<0,5
o-Xileno	9,8						1,3	0,4	0,9	
2-metilpentano	8,7			2,7				5,7		
3-metilpentano	4,1		1,5	1,7			1,7	2,85		0,5
Fenol	4,45				0,5	0,7	1,2			1,2
Tolueno	6,3	1,35	4,5	4,95	1,65	1,05	5,2	26	3,85	2,3

Figura 21 – Amostragem passiva de COVs realizada em Mirandela com a identificação dos pontos de medição e os principais COVs e concentrações observadas



Zamora								
COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	A	B	C	D	F	G	H	I
Ácido acético	0,95	1,15	0,8	0,5	1,1	1,05	1,3	1,7
Benzeno								
Ácido benzoico	3,15	3,25	1,85	0,8	2,5	1,2		2,3
Etilbenzeno				1,3			0,8	4
Hexano				1,5		0,6	0,8	3,7
Ácido 3,5,5-trimetilhexanóico	11,65	1,6	18,9		0,7	4,6	3,5	
m/p-Xileno		0,6		1,55	0,7		0,85	3,05
Ácido octanóico	4,85		2,4	1	2,75	1	5,25	5,6
o-Xileno				1,3			0,5	2,8
2-metilpentano				2,5				6,7
3-metilpentano			0,9	1,6		1	1,1	3,25
Fenol	0,4	0,85		0,4	0,5			
Tolueno	4,4	2,3	3,4	5,85	3,5	1,5	3,15	20,3

Figura 22 – Amostragem passiva de COVs realizada em Zamora com a identificação dos pontos de medição e os principais COVs e concentrações observadas

Nas Figuras 21 e 22 são apresentados os COVs com as concentrações mais elevadas, assim como aqueles com maior incidência nos diferentes pontos. Considerando ainda que a maioria dos compostos orgânicos voláteis possuem diversos usos e podem ser emitidos para a atmosfera por diferentes vias, procurou-se relacionar o uso dos COVs com as atividades existentes em cada local.

O ácido acético pode ser produzido na atmosfera por reações fotoquímicas entre hidrocarbonetos e ozono, no entanto, a sua emissão para a atmosfera está relacionada com as emissões do tráfego rodoviário, processos de queima de biomassa e também emissões por espécies específicas de vegetação [44]. Nas amostragens passivas, as concentrações mais elevadas foram observadas nos pontos C e G em Mirandela e nos pontos G e H em Zamora. Esses pontos encontram-se perto de árvores e gramíneas, pelo que se pode inferir que as emissões biogénicas e do tráfego automóvel explicam em parte os valores mais elevados deste componente.

Os COVs tolueno, benzeno, etilbenzeno, xileno, fenol e hexano advêm geralmente do tráfego automóvel, principalmente nos centros urbanos [45, 46]. Além desses os isómeros do hexano 2-metilpentano e 3-metilpentano também são associados ao mesmo tipo de fonte. Essa relação pode ser confirmada ao observar os resultados obtidos, nos pontos A, D e H de Mirandela e nos pontos D e H de Zamora, nos quais se observa uma maior concentração dos poluentes mencionados.

Também foi detetado ácido octanóico em diversos pontos de ambas as zonas industriais. Uma das possíveis fontes de emissão desses compostos é a utilização de fitossanitários [47], no entanto, considerando que o mesmo ácido é também muito utilizado como desinfetante, existe a possibilidade da volatilização desses compostos resultar no aumento da sua concentração local [48]. O ácido 3,5,5-trimetilhexanóico é o principal componente do ácido isononanóico, em percentagens superiores a 90%, sendo este normalmente utilizado em produtos lubrificantes como agente anticorrosivo, em plastificantes, fungicidas e dessecantes. Considerando o elevado número de oficinas mecânicas e outras empresas que utilizam equipamentos hidráulicos, considera-se que as concentrações observadas de ácido 3,5,5-trimetilhexanóico estejam relacionadas com o uso de lubrificantes.

5.1.6 MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA PM_{2.5}

Os resultados da medição contínua de PM_{2.5} realizada em Mirandela são apresentados na Figura 23. Na parte superior encontram-se as médias horárias para o período de mediação e na parte inferior as médias diárias para efeitos de comparação legal.

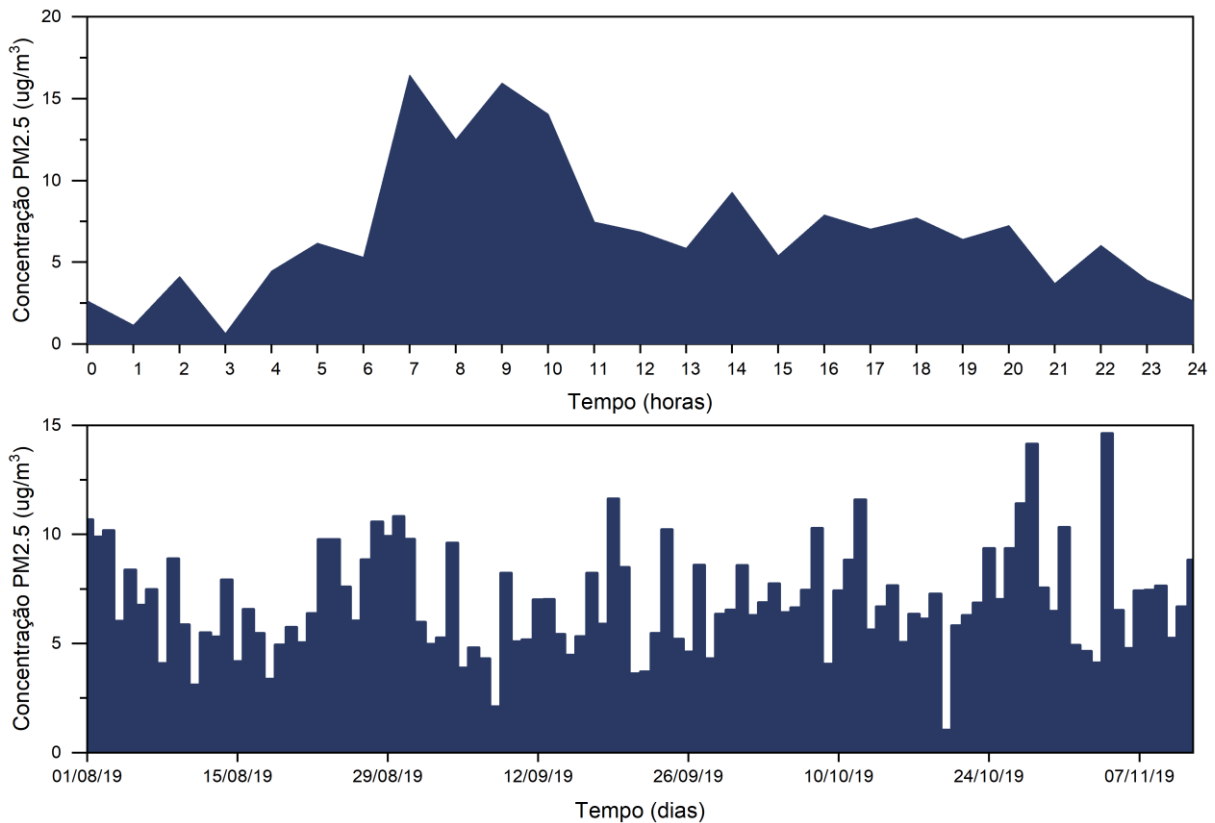


Figura 23 – Concentrações de PM_{2,5} observadas durante a monitorização contínua em Mirandela. (em cima) Perfil diário das concentrações médias horárias; (em baixo) Concentrações médias diárias.

O limite diário estipulado pela União Europeia é de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que não foi ultrapassado durante o período de observação. Também observando as médias horárias percebe-se que as maiores concentrações de partículas, próximas aos $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, encontram-se entre as 7 e 10 horas, período de início das atividades na zona industrial de Mirandela. Após as 20h00 observa-se uma diminuição da concentração de partículas, resultante do encerramento das atividades e menor trânsito automóvel.

5.1.7 MEDIÇÕES MÓVEIS PM_{2.5}

Na Figura 24 encontram-se apresentadas os resultados das medições móveis realizadas em diversos pontos de ambas as zonas industriais. As concentrações mais elevadas foram medidas próximas das vias com maior trânsito rodoviário, indicando que as emissões dos veículos têm uma forte influência na concentração deste poluente. Também se verifica a existência de uma maior variabilidade das concentrações de partículas durante o período diurno, enquanto que no período noturno se tem maior estabilidade. Em Mirandela, nos pontos exteriores do perímetro industrial, as concentrações noturnas de PM_{2,5} foram superiores às diurnas, de modo que uma das suposições levantadas sobre esse fenómeno se relaciona com o

deslocamento da população para a cidade durante o período diurno para trabalho e durante o período noturno com o regresso da população às suas residências.

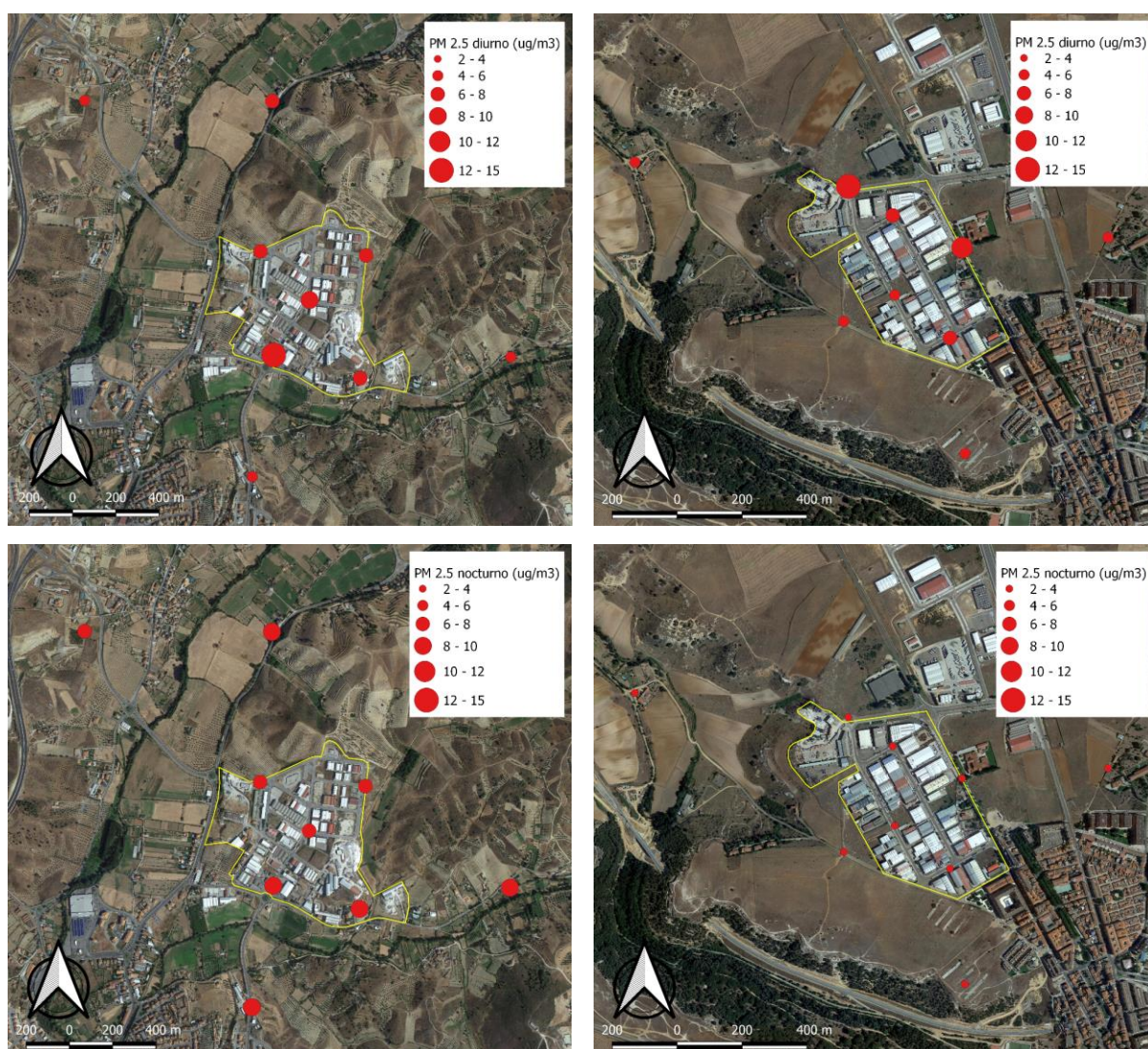


Figura 24 –Medições móveis de $PM_{2.5}$. (esquerda) Mapas correspondentes às medições realizadas na zona industrial de Mirandela; (direita) Mapas correspondentes às medições realizadas no polígono industrial de Hiniesta em Zamora. Os mapas superiores apresentam as concentrações de $PM_{2.5}$ durante o dia, enquanto que os inferiores as concentrações de partículas durante o período noturno.

5.2 RUÍDO AMBIENTE

5.2.1 AMOSTRAGEM CONTÍNUA

Na Figura 25 encontram-se reunidos os valores dos indicadores de ruído noturno (L_n) e diurno-entardecer-noturno (L_{den}) para Mirandela e Zamora. Conforme exposto na metodologia, para efeitos de comparação, utilizaram-se os limites legais estipulados pela Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, uma vez que Regulamento Geral de Ruído

(RGR), aprovado pelo Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro não especifica os limites de ruído para zonas industriais.

Ambas as zonas industriais cumprem os valores limites de 60 dBA para o Ln e 71 dBA para o Lden. Ressalta-se que em Mirandela houve um dia em que o valor Ln ultrapassou os 60 dBA e em Zamora foram observados dois dias com Ln acima do limite e um dia em que o limite para o Lden foi ultrapassado. Contudo, considerando que esses valores foram observados em poucas ocasiões, entende-se que foram produzidos por fenómenos isolados e que não são representativos do padrão de emissão de ruído.

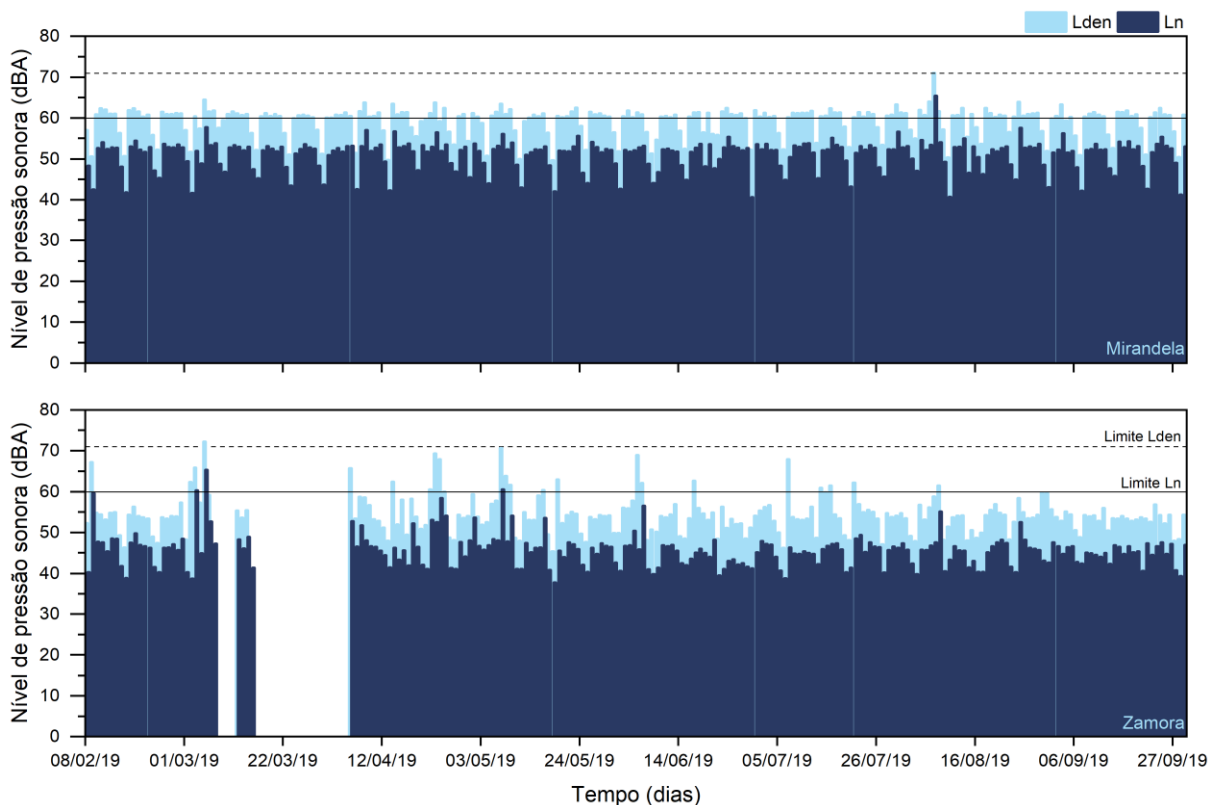


Figura 25 – Indicadores de ruído noturno (Ln) e diurno-entardecer-noturno (Lden) entre os meses de fevereiro e setembro de 2019 para Mirandela e Zamora, respetivamente

Além dos indicadores de ruído, também se avaliou o perfil semanal de ruído para cada um dos parques industriais, que pode ser observado na Figura 26. Observa-se que Mirandela possui um perfil de ruído mais estável, enquanto que Zamora possui maior variabilidade ao longo da semana. Uma das hipóteses levantadas para tal situação diz respeito às atividades de cada zona industrial, mais precisamente próximo ao ponto de medição. Em Mirandela existem muitas indústrias alimentares, as quais geram ruídos constantes ao longo do período de operação, enquanto que em Zamora em virtude das diversas oficinas e atividades de construção

civil próximas ao ponto de amostragem, se tem maior variabilidade nos níveis de ruído, uma vez que tais atividades não produzem ruído contínuo ao longo do dia.

As médias mais baixas de pressão sonora foram observadas entre a 1h00 e as 3h00 para ambas as zonas industriais. Entre as 7h00 e as 9h00 horas, quando se iniciam as atividades nas zonas industriais, os níveis sonoros sofrem um aumento substancial em ambas as zonas. Os valores de pressão sonora descerem somente no fim do período de trabalho das empresas, normalmente após as 18h00 horas. Durante o final de semana, os níveis de ruído são mais baixos do que nos dias úteis, embora os níveis registados aos sábados sejam mais elevados do que os registados aos domingos, em virtude de algumas atividades laborarem aos sábados e aos domingos estarem encerradas.

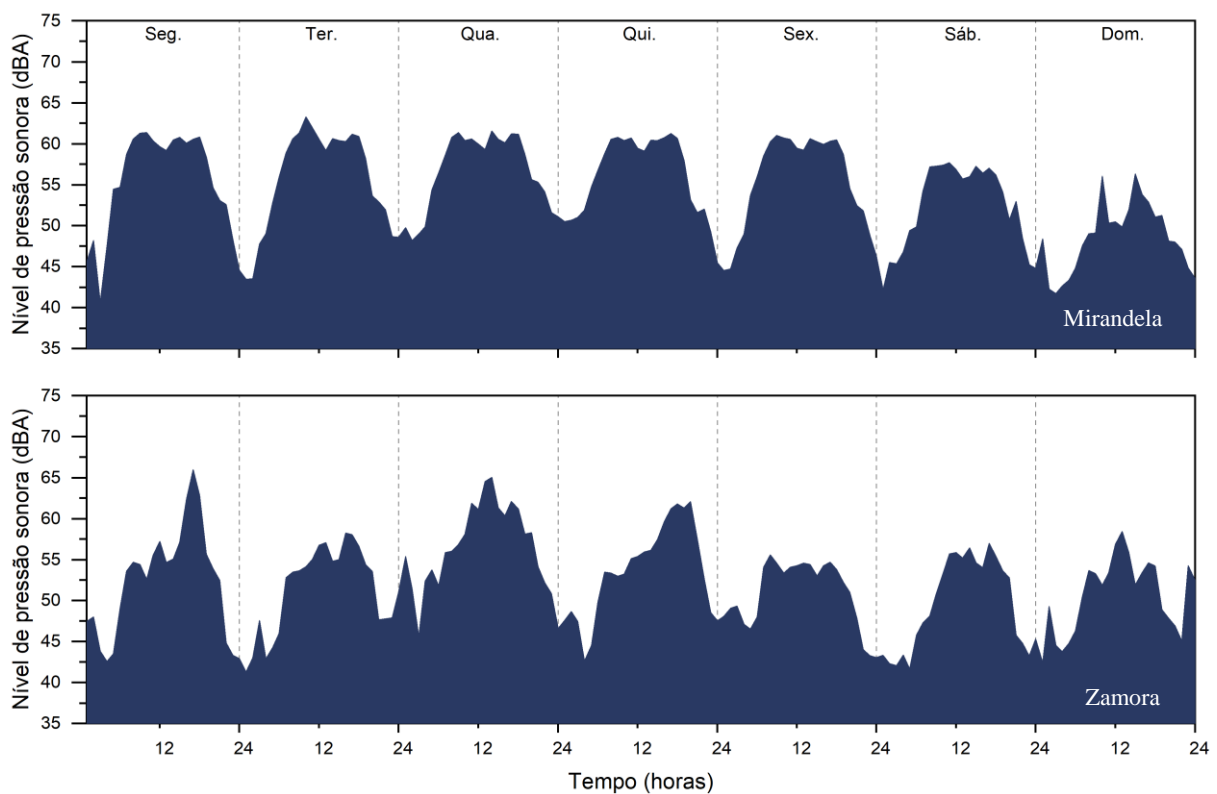


Figura 26 – Perfil semanal dos níveis de pressão sonora. O gráfico superior apresenta os valores para Mirandela enquanto que o gráfico inferior os valores de Zamora

5.2.2 CAMPANHAS E MAPAS DE RUÍDO

Na Figura 27 encontram-se os valores para os indicadores L_n e L_{den} para as campanhas de medição realizadas em diversos pontos de cada zona industrial. Os dados recolhidos durante essas campanhas também serviram como base para a construção de mapas de ruído situacionais e previsionais. Os mapas de ruído podem ser consultados nos anexos deste relatório, onde são

apresentados os indicadores L_{den} e L_n global que contabilizam as fontes ruidosas observadas e os indicadores L_{den} e L_n para o tráfego rodoviário, os quais apresentam somente a influência da circulação de automóveis para os níveis de ruído.



Figura 27 – Indicadores de ruído noturno (L_n) e diurno-entardecer-noturno (L_{den}) obtidos a partir de campanhas de medição de ruído para diversos pontos das zonas industriais. (esquerda) Mapas correspondentes aos indicadores de ruído para a zona industrial de Mirandela; (direita) Mapas correspondentes aos indicadores de ruído para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora.

De modo geral, tanto no período diurno como no noturno os níveis de pressão sonora mais elevados estão associados às vias de maior intensidade de tráfego rodoviário. Valores elevados que se encontram afastados de vias movimentadas, foram associados principalmente aos sistemas de refrigeração industrial e sistemas de compressão de ar que permanecem em operação 24h por dia.

Com as medições locais foram realizadas modelações para a construção de mapas de ruído apresentados nas Figuras 28, 29, 30 e 31. Os mapas apresentam um gradiente de cores representando a gama de ruído que se pode observar no perímetro de cada zona industrial.

A Figura 28 apresenta os níveis de Lden para o parque industrial de Mirandela, onde os níveis mais elevados de ruído são observados nas proximidades das vias e junto aos sistemas de refrigeração. Na Figura 29 encontra-se apenas o indicador Ln, notando-se que para o período noturno os níveis de ruído mais elevados surgem associados à influência das emissões sonoras dos sistemas de refrigeração. As vias de maior movimento também apresentam níveis de ruído consideráveis para o período noturno.

Nas Figuras 30 e 31 são exibidos os valores para os indicadores Lden e Ln considerando apenas a influências do tráfego local. Ambas as figuras são similares com as Figuras 28 e 29, indicando que o ruído produzido no parque industrial, é em grande parte produzido pela circulação de automóveis na região.

Também se realizaram simulações utilizando três propostas de intervenção, as quais resultaram na redução dos indicadores Lden e Ln. Aplicou-se as seguintes intervenções:

- I. Pavimento pouco ruidoso nas vias rodoviárias;*
- II. Encapsulamentos dos motores exteriores dos sistemas de refrigeração através de painéis acústicos;*
- III. Colocação de atenuadores acústicos nas chaminés.*

Com a aplicação dessas intervenções foram geradas as Figuras 32 e 33. A maior diferença é notada na Figura 32 que apresenta o indicador Lden, onde se observa uma redução global de aproximadamente 5 dBA. Para o indicador noturno Ln, a maior diferença é observada nos sistemas de refrigeração, os quais para o novo cenário apresentam pouquíssima influência nos níveis de ruído.

As mesmas modelações e simulações foram aplicadas para o parque industrial de Hiniesta. Nas Figuras 34 e 35 são apresentados os indicadores globais Lden e Ln respetivamente. De maneira semelhante ao parque industrial de Mirandela, a maior contribuição de ruído no parque industrial de Hiniesta é decorrente do tráfego local. Nas Figuras 36 e 37 apresentam-se os mesmos indicadores, mas considerando somente a circulação de automóveis e é possível perceber pouca diferença com as Figuras 34 e 35, isso ocorre em virtude do parque industrial de Hiniesta apresentar na sua maioria, empresas que não necessitam de sistemas de refrigeração a operarem vinte e quatro horas por dias.

Com a aplicação das intervenções mencionadas anteriormente também se percebe uma queda de 5 dBA nos indicadores Lden e Ln apresentados nas Figuras 38 e 39 respectivamente. Essas simulações também mostram que os maiores níveis de ruído estão condicionados a via localizada a leste do parque industrial, uma das principais vias de acesso a cidade de Zamora.

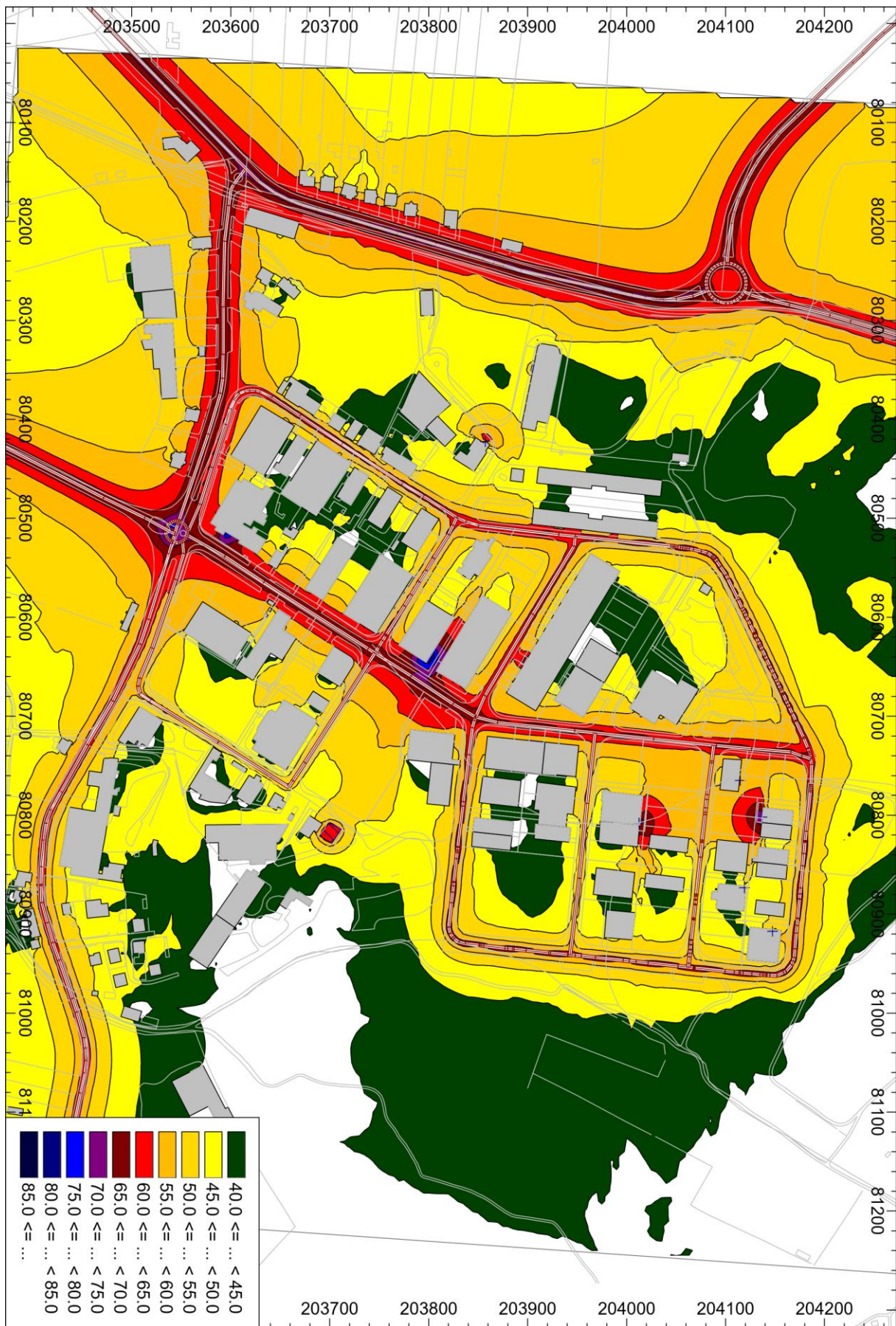


Figura 28 – Lden global para a zona industrial de Mirandela



Figura 29 – Ln global para a zona industrial de Mirandela

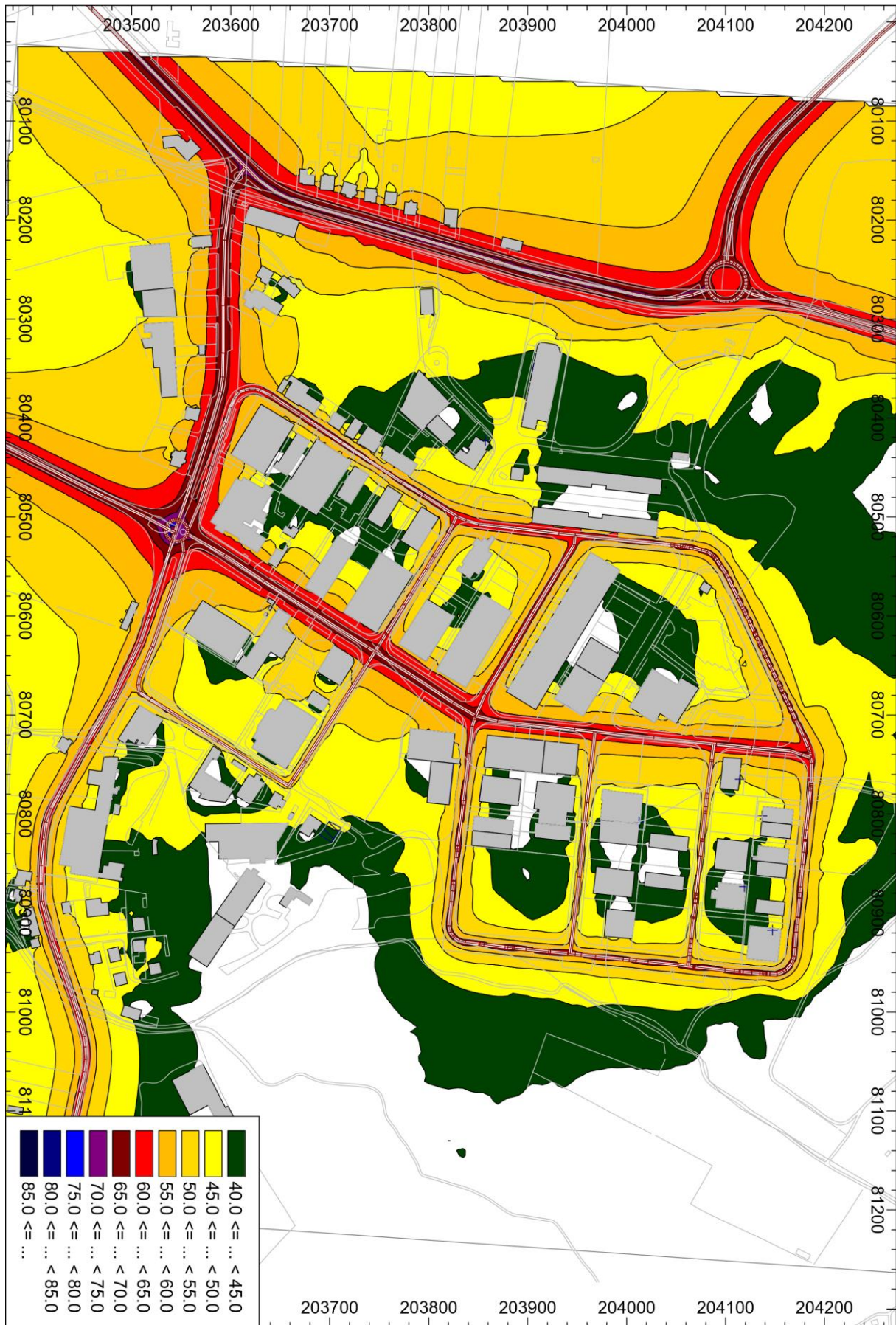


Figura 30 – Lden tráfego para a zona industrial de Mirandela

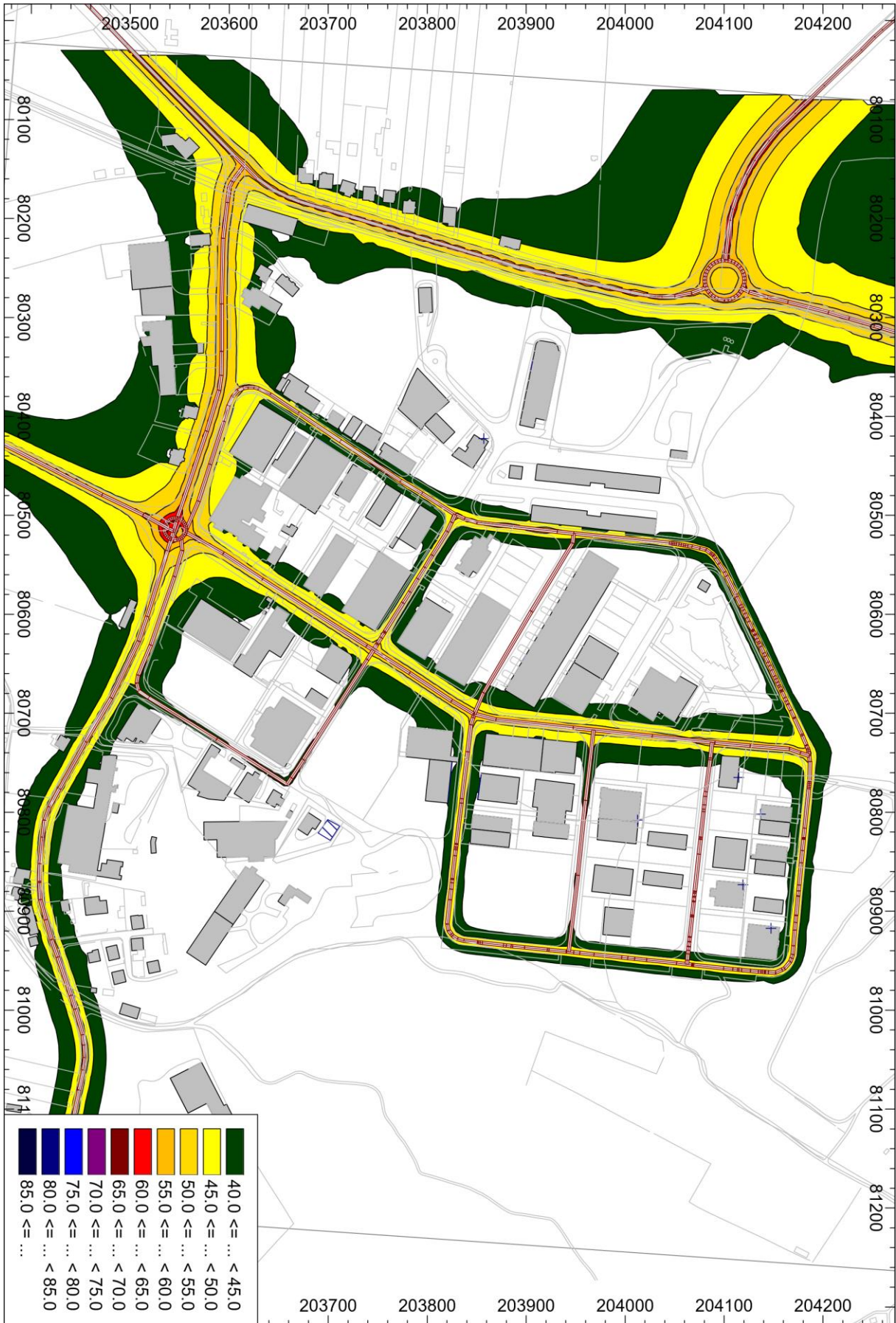


Figura 31 – Ln tráfego global para a zona industrial de Mirandela

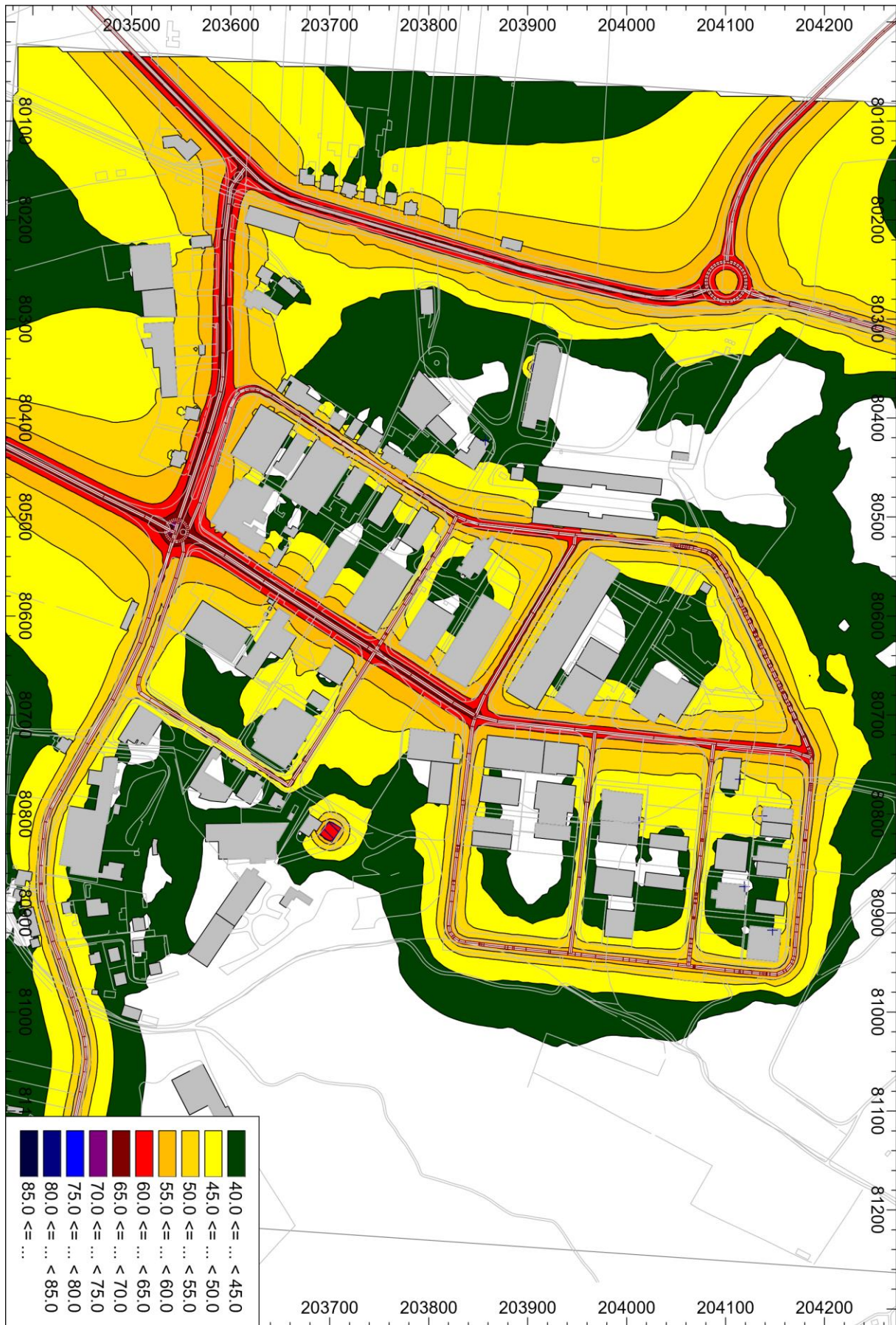


Figura 32 – Lden global com as intervenções para a zona industrial de Mirandela



Figura 33- Ln global com as intervenções para a zona industrial de Mirandela



Figura 34- Lden global para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora



Figura 35 - Ln global para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora



Figura 36 - Lden tráfico para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora



Figura 37 - Ln tráfego para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora



Figura 38 - Lden global com as intervenções para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora



Figura 39 - Ln global com as intervenções para o polígono industrial de Hiniesta em Zamora

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto RehabInd contou com uma extensa recolha e análise de dados que permitiram obter um conhecimento mais profundo sobre as principais fontes de poluição atmosférica e acústica nas zonas industriais de Mirandela e Zamora. Além disso, permitiu uma investigação mais detalhada dos fatores que influenciam as concentrações locais de ozono troposférico e de material particulado, assim como, o ambiente acústico de cada uma das zonas.

Apesar de serem duas zonas industriais separadas cerca de 100 km entre si e localizadas em países diferentes e realidades geográficas com características orográficas e climáticas diferentes, do ponto de vista de qualidade do ar e de ambiente acústico apresentam grande similaridade entre si.

Em relação a qualidade do ar, a principal fonte de emissão dos precursores do ozono foi associada às emissões automóveis, sendo observado um aumento desses poluentes nas horas de maior tráfego. Quanto aos níveis críticos de exposição ao ozono AOT40 vegetação e floresta, os valores de referência foram ultrapassados em ambas as zonas industriais, enquanto que os valores de AOT60 permaneceram dentro do valor alvo estabelecido pela União Europeia. Também sobre o NET60 foram observados valores acima dos 60 ppb em mais de 25 dias do ano. Apesar do valor alvo para NET60 ser ultrapassado, os valores observados aproximam-se muito dos 60 ppb, deixando antever que a implementação de medidas de controlo de ozono pode resultar numa diminuição eficaz desse número de excedências.

Na análise dos COVs, os automóveis possuem uma grande influência nas concentrações observadas, no entanto não foram as únicas fontes identificadas, uma vez que muitos dos COVs presentes originam-se do uso de fitossanitários, de lubrificantes, solventes e desinfetantes. Deste modo, considerando que muitas das indústrias presentes nas zonas industriais utilizam esses produtos, percebe-se que além dos automóveis as atividades industriais influenciam as emissões de COVs, as suas concentrações na atmosfera e também a concentração de ozono e de outro foto oxidante.

No que concerne ao ambiente acústico, o tráfego automóvel e aos sistemas de refrigeração foram consideradas as principais fontes de emissão de ruído em Mirandela, sendo bem perceptível a diferença entre os níveis diurnos e noturnos. Em Zamora, os maiores níveis de ruído foram associados as emissões veiculares. Os níveis de pressão sonora mais elevados foram registados nas horas de pico – abertura e fecho das empresas. Nenhuma situação crítica

foi observada em relação aos limites legais, no entanto, entende-se que o ambiente acústico pode ser melhorado conforme demonstrado com os resultados dos cenários estudados.

Com este trabalho foi possível reunir informação importante referente as emissões atmosféricas e aos níveis de ruídos em ambas as zonas industriais, a qual pode fornecer uma base estratégica para ações que visem o melhoramento da qualidade ambiental localmente.

7 REFERÊNCIAS

1. Fujita M, Thisse JF (2002) *Economics of agglomeration: cities, industrial location, and regional growth*. Cambridge. Cambridge University Press
2. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim T-A, Conrad A, Rappolder M, Carrer P, Fanetti A-C, Kim R, Buekers J, Torfs R, Iavarone I, Classen T, Hornberg C, Mekel OCL (2014) Environmental Burden of Disease in Europe: Assessing Nine Risk Factors in Six Countries. *Environ Health Perspect* 122:439–446 . doi: 10.1289/ehp.1206154
3. Zheng H, Kong S, Yan Y, Chen N, Yao L, Liu X, Wu F, Cheng Y, Niu Z, Zheng S, Zeng X, Yan Q, Wu J, Zheng M, Liu D, Zhao D, Qi S (2020) Compositions, sources and health risks of ambient volatile organic compounds (VOCs) at a petrochemical industrial park along the Yangtze River. *Sci Total Environ* 703:135505 . doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.135505
4. Pierrette M, Marquis-Favre C, Morel J, Rioux L, Vallet M, Viollon S, Moch A (2012) Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison. *J Environ Psychol* 32:178–186 . doi: 10.1016/J.JENVP.2012.01.006
5. Jacob DJ (2000) Heterogeneous chemistry and tropospheric ozone. *Atmos Environ* 34:2131–2159 . doi: 10.1016/S1352-2310(99)00462-8
6. Bellantuono N, Carbonara N, Pontrandolfo P (2017) The organization of eco-industrial parks and their sustainable practices. *J Clean Prod* 161:362–375 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.082>
7. Chertow MR (2007) “Uncovering” industrial symbiosis. *J Ind Ecol* 11:11–30 . doi: 10.1162/jiec.2007.1110
8. Valenzuela-Venegas G, Salgado JC, Díaz-Alvarado FA (2016) Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection. *J Clean Prod* 133:99–116 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.113>
9. Yang Z, Wang J (2017) A new air quality monitoring and early warning system: Air quality assessment and air pollutant concentration prediction. *Environ Res* 158:105–117 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.002>
10. Seinfeld JH, Pandis SN (2016) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd ed. Wiley
11. IARC (2013) *Outdoor Air Pollution*. IARC Library Cataloguing in Publication Data
12. Gulia S, Nagendra SMS, Barnes J, Khare M (2018) Urban local air quality management framework for non-attainment areas in Indian cities. *Sci Total Environ* 619–620:1308–1318 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.123>
13. Schnelle KB, Ternes ME, Dunn R (2017) *Air pollution control technology handbook*
14. De la Guardia M, Armenta S (Sergio) (2016) *The Quality of air*. Elsevier
15. WHO (1999) *Environmental Health Criteria 213: Carbon Monoxide*. World Health Organization, Geneva
16. Wallace JM, Hobbs PV (2006) *Atmospheric science: an introductory survey*. Elsevier Academic Press
17. Hewitt CN, Jackson A V. (2009) *Atmospheric science for environmental scientists*. Wiley-Blackwell
18. Kesselmeier J, Staudt M (1999) Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): An Overview on Emission, Physiology and Ecology. *J Atmos Chem* 33:23–88 . doi: 10.1023/A:1006127516791
19. Guenther A, Hewitt CN, Erickson D, Fall R, Geron C, Graedel T, Harley P, Klinger L, Lerdau M, McKay WA, Pierce T, Scholes B, Steinbrecher R, Tallamraju R, Taylor J, Zimmerman P (1995) A global model of natural volatile organic compound emissions. *J Geophys Res* 100:8873 . doi: 10.1029/94JD02950
20. Placet M, Mann C., Gilbert R., Niefer M. (2000) Emissions of ozone precursors from stationary sources: a critical review. *Atmos Environ* 34:2183–2204 . doi: 10.1016/S1352-2310(99)00464-1
21. Atkinson R (2000) Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmos Environ* 34:2063–2101 . doi: 10.1016/S1352-2310(99)00460-4
22. WHO (2006) *Air Quality Guidelines: Global Update 2005*. World Health Organization, Regional Office for Europe
23. WHO (2013) *Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. World Health Organization, Regional Office for Europe
24. Hallquist M, Wenger JC, Baltensperger U, Rudich Y, Simpson D, Claeys M, Dommen J, Donahue NM, George C, Goldstein AH, Hamilton JF, Herrmann H, Hoffmann T, Iinuma Y, Jang M, Jenkin ME, Jimenez JL, Kiendler-Scharr A, Maenhaut W, McFiggans G, Mentel TF, Monod A, Prévôt ASH, Seinfeld JH, Surratt JD, Szmigielski R, Wildt J (2009) The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues. *Atmos Chem Phys* 9:5155–5236 . doi: 10.5194/acp-9-5155-2009
25. Whitby KT (1978) The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmos Environ* 12:135–159 . doi: 10.1016/0004-6981(78)90196-8
26. Vallero DA (2014) *Fundamentals of air pollution*. Elsevier Science
27. Yang W, Omaye ST (2009) Air pollutants, oxidative stress and human health. *Mutat Res Toxicol Environ Mutagen* 674:45–54 . doi: 10.1016/J.MRGENTOX.2008.10.005
28. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y (2006) Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int* 32:815–830 . doi: 10.1016/J.ENVINT.2006.03.012
29. Kampa M, Castanas E (2008) Human health effects of air pollution. *Environ Pollut* 151:362–367 . doi: 10.1016/J.ENVPOL.2007.06.012
30. Harlan SL, Ruddell DM (2011) Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Curr Opin Environ Sustain* 3:126–134 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
31. Jack DW, Kinney PL (2010) Health co-benefits of climate mitigation in urban areas. *Curr Opin Environ Sustain* 2:172–177 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.06.007>

32. Younger M, Morrow-Almeida HR, Vindigni SM, Dannenberg AL (2008) The Built Environment, Climate Change, and Health: Opportunities for Co-Benefits. *Am J Prev Med* 35:517–526 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.017>
33. Troncoso R, de Grange L, Cifuentes LA (2012) Effects of environmental alerts and pre-emergencies on pollutant concentrations in Santiago, Chile. *Atmos Environ* 61:550–557 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.077>
34. European Union (2002) Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise
35. Hunashal RB, Patil YB (2012) Assessment of Noise Pollution Indices in the City of Kolhapur, India. *Procedia - Soc Behav Sci* 37:448–457 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.310>
36. Muralikrishna I V, Manickam V (2017) Chapter Fifteen - Noise Pollution and Its Control. In: *Environmental Management*. Butterworth-Heinemann, pp 399–429
37. Bies DA, Hansen C, Howard C (2017) *Engineering Noise Control*, Fifth Edition. CRC Press
38. Barron RF (2003) *Industrial Noise Control and Acoustics*. Taylor & Francis
39. Agudelo–Castaneda DM, Calesso Teixeira E, Norte Pereira F (2014) Time–series analysis of surface ozone and nitrogen oxides concentrations in an urban area at Brazil. *Atmos Pollut Res* 5:411–420 . doi: 10.5094/APR.2014.048
40. Bies DA, Hansen CH, Howard CQ (2018) Fundamentals and Basic Terminology. In: *Engineering Noise Control*, 5th ed. pp 1–47
41. Xu WY, Zhao CS, Ran L, Deng ZZ, Liu PF, Ma N, Lin WL, Xu XB, Yan P, He X, Yu J, Liang WD, Chen LL (2011) Characteristics of pollutants and their correlation to meteorological conditions at a suburban site in the North China Plain. *Atmos Chem Phys* 11:4353–4369 . doi: 10.5194/acp-11-4353-2011
42. Markovic D, Markovic D (2005) The relationship between some meteorological parameters and the tropospheric concentrations of ozone in the urban area of Belgrade. *J Serbian Chem Soc* 70:1487–1495 . doi: 10.2298/JSC0512487M
43. Verma N, Lakhani A, Kumari KM (2016) Synergistic relationship between surface ozone and meteorological parameters: A case study. In: *2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. IEEE, pp 1–6
44. Khare P, Kumar N, Kumari KM, Srivastava SS (1999) Atmospheric formic and acetic acids: An overview. *Rev Geophys* 37:227–248 . doi: 10.1029/1998RG900005
45. Mugica-Alvarez V, Vega E, Sánchez G, Reyes E, Arriaga JL, Chow J, Watson J, Egami RT (2001) Volatile organic compounds emissions from gasoline and diesel powered vehicle. *Atmósfera* 14:29–37
46. Jobson BT, Alexander ML, Maupin GD, Muntean GG (2005) On-line analysis of organic compounds in diesel exhaust using a proton transfer reaction mass spectrometer (PTR-MS). *Int J Mass Spectrom* 245:78–89 . doi: 10.1016/J.IJMS.2005.05.009
47. CIRCABC - European Commission (2013) Octanoic acid Product-type 18 (Insecticides, acaricides and products to control other arthropods)
48. CIRCABC - European Commission (2013) Octanoic acid Product-type 4 (Food and feed area disinfectants)
49. Jenkin ME, Hayman GD (1999) Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters. *Atmos Environ* 33:1275–1293 . doi: 10.1016/S1352-2310(98)00261-1



Interreg

España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



REHABInd

