



**PLANO DE MEDIDAS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE
DO AR E RUÍDO EM GUIMARÃES, FASE I**
Carta da Qualidade do Ar de Guimarães

Setembro/2017



CÂMARA
MUNICIPAL DE
GUIMARÃES



Universidade do Minho



Candidatura a
Capital Verde
Europeia



PLANO DE MEDIDAS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO AR E RUÍDO EM GUIMARÃES, FASE I

Carta da Qualidade do Ar de Guimarães

Equipa Técnica Responsável:

Lígia Torres Silva (coordenação),
Doutora Eng^a Civil, UM
Marina de Jesus (avaliação qualidade do ar),
Mestra em Sustentabilidade, UM
Bruno Mendes (modelação)
Mestre em Eng^a Civil, UM

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	7
2. DESCRIÇÃO DA ÁREA	9
3. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	11
3.1 Partículas (PM10)	11
<i>Impacte na Saúde e no Ambiente</i>	12
3.2 Óxidos de Azoto (NOx).....	13
<i>Impacte na Saúde e no Ambiente</i>	13
3.3 Dióxido de Enxofre (SO ₂)	16
<i>Impacte na Saúde e no Ambiente</i>	16
4. ENQUADRAMENTO LEGAL.....	18
5. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM GUIMARÃES.....	20
5.1 Contribuição da poluição de fundo em Guimarães.....	21
5.2 Caracterização das fontes de poluição atmosférica em Guimarães.....	23
5.2.1 Fontes Móveis – Tráfego Rodoviário.....	23
5.2.1.1 Definição dos masters	26
5.2.1.2 Definição dos pontos de contagem horária.....	27
5.2.1.3 Resultados das contagens de tráfego	34
5.2.2 Fontes Fixas	44
5.2.2.1 Fontes de informação.....	44
5.2.2.2 Metodologia de cálculo	46
5.3 Validação do mapa de poluentes atmosféricos	49
6. MAPAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	54
6.1 Parâmetros de cálculo	54
6.2 Dados meteorológicos	54
6.3 Resultados	55
6.4 Análise dos resultados	62
7. CARTA DA QUALIDADE DO AR DE GUIMARÃES	68
7.1 CityAir.....	68
7.2 Resultados obtidos e análise.....	71
8. CONCLUSÕES.....	74
9. NOTAS FINAIS	76
Referências.....	78

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica urbana tornou-se um dos principais fatores de degradação da qualidade de vida das populações. Constitui um problema que tende a agravar-se devido, sobretudo, ao desenvolvimento desequilibrado dos espaços urbanos e ao aumento significativo da mobilidade das populações, com o consequente incremento dos níveis de tráfego rodoviário. A monitorização regular dos níveis de poluentes atmosféricos mostra-se essencial para assegurar a qualidade do ar, promovendo a sustentabilidade do ambiente urbano.

Os poluentes atmosféricos são emitidos de fontes poluidoras antropogénicas típicas, sendo principalmente tráfego de automóveis, atividades industriais e fontes dispersas que, posteriormente são transportados e dispersados na atmosfera atingindo diversos receptores. O controlo das emissões e concentração dos diferentes poluentes atmosféricos emitidos para atmosfera permitem avaliar o impacto local e global das fontes contaminantes, e consequentemente os efeitos na saúde dos cidadãos e qualidade do ar.

Os mapas de poluição atmosférica tornam-se assim um elemento fundamental para a informação da qualidade do ar nas áreas avaliadas em âmbito municipal, é uma ferramenta estratégica de análise e planeamento, que permite visualizar condicionantes dos espaços por requisitos de qualidade do ambiente atmosférico.

Neste contexto, a Carta de Qualidade do Ar resulta de um conjunto de Mapas de Poluentes típicos urbanos, que têm como objetivo caracterizar a qualidade do ar e quantificar as concentrações dos poluentes atmosféricos existentes no concelho de Guimarães, permitindo identificar as zonas expostas mais críticas.

O presente documento denominado Carta da Qualidade do Ar é resultado do plano de atividades desenvolvido, e está integrado no "Plano de Medidas para a Melhoria da Qualidade do Ar e Ruído em Guimarães, Fase I", no âmbito do contrato celebrado entre a Universidade do Minho (pelos veículos TecMinho e UM Cidades) e a Câmara Municipal de Guimarães.

2. DESCRIÇÃO DA ÁREA

Guimarães ocupa uma área de cerca de 240,95 Km² situada no distrito de Braga, região Norte e sub-região do Ave, no território nacional encontra-se na zona NUT III (Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos). O desenvolvimento e ocupação no município de Guimarães ocorreram com a industrialização e urbanização difusa. O setor industrial é caracterizado por indústrias têxteis, couros, cutelaria, serralharia e fundição, ourivesaria, tornando a cidade um dos maiores polos fabris do país, reconhecido como epicentro da industrialização da Região do Ave e representa 44% de empregabilidade em Guimarães. Cerca de 1/3 da população está localizada na área urbana onde a maioria dos serviços e equipamentos são implementados enquanto 2/3 está fora da aglomeração central onde atualmente está registrada a principal atividade industrial.

Com uma população total de 158124, a malha urbana de Guimarães apresenta uma população de 47564 habitantes, repartida por uma área urbana de 16,77 km² e com uma densidade populacional de 1836 hab./km². Na Tabela 1 listam-se alguns dos dados que caracterizam o concelho.

Tabela 1. Território e população do concelho de Guimarães

População total (CENSOS 2011)	158124
Superfície do território municipal em km ² (CAOP 2016)	240,95
Densidade populacional média (hab/km ²)	656
Superfície de uso industrial do solo identificado no PDM (ha)	886,1

Os padrões de mobilidade entre as 9 vilas do concelho de Guimarães (São Torcato, Caldelas, Ponte, Brito, Ronfe, Selho, Serzedelo, Lordelo e Moreira de Cónegos) com origem e destino na cidade de Guimarães são variáveis, e decorrem da estrutura policêntrica do município, entre o núcleo urbano e as várias vilas são gerados um conjunto de movimentos pendulares. Os principais eixos de tráfego rodoviário no concelho são: E.N. 206 Variante Centro, a Circular Urbana, a E.N. 101 e os troços das auto estradas A7 e A11. Estes eixos rodoviários são os principais acessos ao centro da cidade, aos municípios vizinhos e às vilas.

As preocupações ambientais em Guimarães centram-se essencialmente nas emissões de poluentes atmosféricos provenientes do tráfego rodoviário e

unidades industriais instaladas no concelho. A Figura 1 ilustra as divisões administrativas (a nível de freguesia) do território concelhio de Guimarães, base para a execução dos mapas de poluição atmosférica.



Figura 1. Área de estudo

3. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os poluentes atmosféricos são emitidos a partir de fontes existentes e, subsequentemente, transportados, dispersados e muitas vezes transportados na atmosfera atingindo finalmente os vários recetores por deposição gravítica húmida (lavagem da chuva ou neve) ou deposição gravítica seca (através da adsorção de partículas). Em meio urbano as fontes poluidoras antropogénicas típicas são principalmente o tráfego automóvel e quando existente a atividade industrial. Os compostos libertados para a atmosfera provenientes da exaustão de gases dos veículos automóveis originam uma variedade de impactos ambientais a diferentes escalas geográficas e temporais.

3.1 Partículas (PM10)

Partículas, ou PM, é o termo utilizado para partículas presentes no ar, incluindo cinzas, poeira, fumo e pequenas gotas líquidas. As Partículas podem permanecer no ar por longos períodos de tempo; outras no entanto, devido ao seu peso, caem por gravidade permanecendo poucos segundos no ar. Algumas Partículas são grandes e/ou de coloração escura aparentando fumo ou fuligem. Outras são tão pequenas que individualmente só podem ser detectadas através do microscópio electrónico.

Algumas Partículas são emitidas directamente para a atmosfera, consideradas por isso de origem primária, sendo as principais fontes o tráfego rodoviário, estaleiros de obras, queima de material lenhoso, etc.

Outras Partículas são indirectamente formadas na atmosfera, através de reacções químicas dos poluentes atmosféricos em contacto com o sol ou com o vapor de água. Estes poluentes, por não serem emitidos directamente para a atmosfera são denominados poluentes secundários, ou de origem secundária. As reacções químicas ocorridas na atmosfera são muitas vezes entre compostos provenientes da combustão de combustíveis fósseis (ex: veículos automóveis, instalações térmicas de produção de energia, e outros processos industriais) e vapor de água existente na atmosfera.

Impacte na Saúde e no Ambiente

As partículas atmosféricas são caracterizadas por uma mistura de matéria particulada sólida e líquida, com várias formas e tamanhos, em suspensão no ar. Os tamanhos aerodinâmicos equivalentes ($\leq 10 \mu\text{m}$ e $2,5 \mu\text{m}$) estão directamente correlacionados com a fracção das partículas totais com granulometria susceptível de penetrar nas vias respiratórias. As partículas mais finas ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) podem, inclusivamente, atingir os brônquios, pelo que recebem a designação de fracção inalável. Estas partículas estão, em geral, associadas a emissões resultantes de actividades antropogénicas, como as combustões, podendo derivar ainda da reacção de poluentes gasosos. A fracção de partículas entre $2,5 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$ resulta normalmente da acção de agentes naturais, como a erosão ou o levantamento de poeiras pela acção do vento. Um dos mecanismos mais eficientes na remoção das partículas consiste na queda de precipitação, sendo esta mais eficaz na eliminação da atmosfera da fracção grosseira do que da fina. As Partículas causam uma larga variedade de impactes na saúde e no meio ambiente:

- Efeito na saúde

Muitos estudos científicos referem que a exposição a elevadas concentrações de Partículas Inaláveis pode causar sérios problemas de saúde, nomeadamente: agravamento de asma, aumento de tosse e respiração dolorosa, bronquite crónica, diminuição da função pulmonar e morte prematura.

- Redução da visibilidade

A presença de Partículas na atmosfera é uma das principais causas de perda de visibilidade.

- Deposição atmosférica

As Partículas podem ser transportadas a longas distâncias através do vento e depois sedimentam no solo ou nas águas superficiais. Os efeitos principais desta sedimentação são a acidificação das águas superficiais e dos solos, a alteração do equilíbrio de nutrientes nas águas costeiras e bacias, a depleção de nutrientes no solo, a deterioração da vegetação em geral e a alteração da diversidade dos ecossistemas.

- Deterioração estética

A deposição de Partículas com acidez elevada em monumentos e esculturas calcárias tem como resultado a sua deterioração.

3.2 Óxidos de Azoto (NO_x)

Óxidos de Azoto (NO_x) é um termo genérico dado a um grupo de gases altamente reactivos, os quais contêm diferentes conteúdos de Oxigénio e Azoto. Muitos dos óxidos de azoto são incolores e inodoros, no entanto, o dióxido de azoto (NO₂) em presença de partículas pode ser visualizado na atmosfera como uma camada de tonalidade vermelho-acastanhada por vezes presente sobre áreas urbanas. Os óxidos de azoto são normalmente emitidos para a atmosfera em resultado de processos de combustão a elevada temperatura, tais como os associados à queima de carvão, fuel e combustíveis automóveis. Os gases de exaustão destes processos contêm NO_x maioritariamente na forma de NO. Uma vez na atmosfera, o poluente reage com o oxigénio e é lentamente oxidado a NO₂ (Equação 1).



Por outro lado, o ozono e outros oxidantes atmosféricos convertem rapidamente o NO em NO₂, fazendo com que o tempo médio de vida do NO no ar seja muito curto. (Equação 2).



Impacte na Saúde e no Ambiente

Devido aos vários compostos e derivados da família dos óxidos de azoto, nomeadamente o dióxido de azoto, ácido nítrico, óxido nitroso, nitratos e óxido nítrico, os NO_x causam uma vasta variedade de impactos na saúde e no ambiente.

- Efeitos respiratórios

O NO_x reage com a amónia, humidade do ar, e outros compostos presentes na atmosfera para formar ácido nítrico. Os impactes na saúde são nomeadamente efeitos na função respiratória, danos nos tecidos pulmonares e morte prematura. As partículas de menor diâmetro conseguem penetrar no trato inferior do sistema

respiratório e podem causar enfisema e bronquite, podendo ainda, agravar doenças de coração.

- Formação de smog

O Smog (Ozono troposférico) é formado através de um conjunto complexo de reacções entre os óxidos de azoto e compostos voláteis em presença da luz solar. As crianças, pessoas com doenças pulmonares tais como a asma, e pessoas que trabalham ou praticam exercício no exterior são susceptíveis a efeitos adversos, tais como danos nos tecidos pulmonares e redução da função respiratória. O Ozono pode ser transportado pelas correntes do vento e causar impactes à saúde em locais muito distantes da fonte.

- Chuva ácida

Os óxidos de azoto e de enxofre podem reagir com outras substâncias no ar e formar ácidos, podendo cair na Terra em forma de chuva, nevoeiro ou neve, ou ainda através da deposição seca de partículas. Algumas podem ser transportadas pelo vento numa extensão de muitos quilómetros. As chuvas ácidas danificam edifícios, monumentos, podendo também baixar o pH das correntes de águas superficiais e solo.

- Acidificação das águas

O aumento de compostos de azoto nas águas superficiais, particularmente nas águas estuarinas costeiras, modifica o balanço químico dos macronutrientes utilizados pelas plantas aquáticas e animais. O aumento de azoto nas águas acelera a eutrofização conduzindo à criação de condições de carência de oxigénio e em alguns casos a condições de anaerobiose.

- Alterações à escala global

Um dos compostos do grupo NO_x , o óxido nitroso, é classificado de "gás de estufa". Em conjunto com outros gases estufa vai contribuir para o aumento da temperatura à escala global. Esta alteração traz um vasto conjunto de impactes negativos nomeadamente o aumento do nível das águas do mar e alteração dos ecossistemas da Terra.

- Toxicidade

Na atmosfera, os NO_x reagem rapidamente com os compostos orgânicos e com o ozono, para formar uma variedade de produtos tóxicos, alguns dos quais podem causar mutações biológicas. Exemplos destes compostos são o radical nitrato e nitrosaminas.

- Redução da visibilidade

Partículas de nitrato e de dióxido de azoto podem diminuir a penetração dos raios solares, reduzindo a visibilidade em zonas urbanas.

3.3 Dióxido de Enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre, SO₂, é um gás tóxico e incolor, pode ser emitido por fontes naturais ou por fontes antropogénicas e pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido. Resulta das impurezas nos combustíveis fósseis, proveniente principalmente de atividades como queima de gasóleo nos veículos pesados, carvão e petróleo em indústrias de energia e fundição de cobre.

Impacte na Saúde e no Ambiente

- Efeito na saúde

O SO₂ é um gás irritante para as mucosas dos olhos e vias respiratórias em concentrações elevadas, pode provocar efeitos agudos e crónicos na saúde humana, especialmente ao nível do aparelho respiratório pode agravar problemas cardiovasculares os efeitos são agravados pela presença simultânea do SO₂ e de partículas na atmosfera.

- Efeitos no ambiente

O enxofre (S) libertado na queima de combustíveis fósseis combina-se com o oxigénio do ar e reagindo continuamente com o oxigénio do ar pode-se formar o SO₃ (trióxido de enxofre), que na presença de umidade dá origem ao ácido sulfúrico. Este ácido contribui para a formação das chuvas ácidas, com consequente acidificação das águas, solos, lesões nas plantas, materiais, etc.

- Deterioração da vegetação

A deposição de SO₂ afeta a vegetação, podendo causar diminuição das taxas de crescimento e fotossintética devido à degradação da clorofila e aumento da sensibilidade a outros fatores como o gelo e/ou parasitas. Os líquenes são as espécies mais sensíveis, sendo por isso bons indicadores da presença deste tipo de poluição.

- Deterioração estética

Nos materiais provoca: corrosão das edificações, acelera envelhecimento e degradação das edificações.

4. ENQUADRAMENTO LEGAL

O quadro legal e os princípios orientadores diretamente relevantes para a elaboração da Carta de Qualidade do Ar consubstancia-se no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de maio, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, estabelece medidas destinadas a definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente, com o fim de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente. Entre estes elementos de análise e de controlo encontram-se os mapas de poluição atmosférica.

Os valores limite de emissões poluentes previstos na legislação supracitada ilustram-se na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Valores limite de emissões dos poluentes

Poluente	Objetivo de proteção	Tipo de objetivo ambiental ^{a)}	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências autorizadas)
NO ₂	Saúde	VL e VLMT	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	200 µg/m ³ (18)
		VL e VLMT	Um ano civil	Média anual	40 µg/m ³
		LAlerta	Uma hora	Três horas consecutivas em excesso (em locais representativos da qualidade do ar numa área mínima de 100 km ² ou na totalidade de uma zona ou aglomeração consoante o que for menor)	400 µg/m ³
PM ₁₀		VL	Um dia	Dias de excedência num ano civil	50 µg/m ³ (35) Percentil 90,4
		VL	Um ano civil	Média anual	40 µg/m ³
SO ₂	Saúde	VL	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	350 µg/m ³ (24)
		VL	Um dia	Dias de excedência num ano civil	125 µg/m ³ (3)
		LAlerta	Uma hora	Três horas consecutivas em excesso (em locais representativos da qualidade do ar, numa área mínima de 100 km ² ou na totalidade de uma zona ou aglomeração, consoante o que for menor)	500 µg/m ³

a) VL: valor limite, VLMT: valor limite acrescido da margem de tolerância, LAlerta: Limiar de alerta,

5. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM GUIMARÃES

A elaboração dos Mapas de Poluentes no concelho de Guimarães foi baseada em métodos previsionais e complementados com medições em campo para validação do modelo. A previsão das fontes emissoras de poluentes teve em conta a contribuição do tráfego rodoviário e fontes industriais mais relevantes, a informação geográfica e física relativa ao concelho e os fenómenos físicos mais relevantes na dispersão de poluentes atmosféricos.

A modelação de dispersão de poluentes utilizou o *software* CadnaA como Programa de Previsão de Poluição Atmosférica. Este *software* apresenta uma ferramenta de método de cálculo de dispersão de poluentes atmosféricos denominada AUSTAL2000, segundo as normas Europeias designada Option APL – Air Pollutants, que recorre ao CadnaA e AUSTAL2000 ao efetuar o cálculo de dispersão de poluentes sobre fontes fixas e móveis de poluição atmosférica e, segundo a ação dos ventos.

Produziram-se os seguintes mapas de poluentes atmosféricos: NO₂ (Dióxido de Azoto), SO₂ (Dióxido de Enxofre) e PM₁₀ (material particulado com diâmetro aerodinâmico menor do que 10 µm).

Neste contexto, a metodologia seguida para a elaboração da Carta de Qualidade do Ar no concelho de Guimarães foi realizada por meio das seguintes etapas:

- Preparação do modelo geográfico do concelho de Guimarães;
- Levantamento das fontes de poluição atmosférica no concelho de Guimarães que incluiu campanha de contagem de tráfego e identificação das principais unidades industriais;
- Modelação da poluição atmosférica através de modelos matemáticos de simulação que calculam a concentração de poluentes a partir das fontes emissoras;
- Validação/calibração dos resultados do modelo com recurso a medições em campo;
- Elaboração de Mapas de Poluição Atmosférica representativos da concentração média anual dos poluentes (base horária);

- Desenvolvimento de um indicador de síntese da qualidade do ar para o concelho Guimarães – CityAir;
- Identificação das zonas/grupos mais vulneráveis e quantificação da exposição dessas zonas/grupos aos poluentes atmosféricos;

5.1 Contribuição da poluição de fundo em Guimarães

As estações de fundo não se encontram sob a influência direta de vias de tráfego ou de qualquer fonte próxima de poluição, permitindo assim conhecer os valores de poluição de fundo, ou seja, valores de poluição atmosférica constantemente presentes na atmosfera.

Foram utilizadas como estação de fundo, as estações Frossos-Braga e Minho-Lima (Figura 2). As concentrações adotadas dos poluentes atmosféricos para poluição de fundo foram obtidas pelas médias anuais referente aos anos de 2012 e 2013.



a) Frossos-Braga



b) Minho-Lima

Figura 2. Estações de poluição de fundo a) Frossos-Braga b) Minho-Lima

A estação de referência para os valores de concentração dos poluentes é a estação automática de monitorização em contínuo de Azurém. A referida estação localiza-se em Guimarães, Rua Cónego Dr. Manuel Faria e a sua tipologia é de tráfego (Figura 3).



Figura 3. Estação de monitorização contínua, Azurém, Guimarães

A poluição de fundo adotada, referente aos poluentes PM₁₀, NO₂ e SO₂ estão listados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de poluição de fundo dos poluentes

	Estação Azurém	Modelação	Fundo	Dispersas
PM ₁₀	16,9 *	2,9 **	8,95 A	5,1
NO ₂	37,3 *	15,9 **	13,6 B	7,8
SO ₂		6 ***	2,2 C	-

Notas:

* média das concentrações 2012/2013 – Estação Cónego Dr. Manuel Faria-Azurém

** valor modelação (fontes fixas e móveis) centro da cidade

*** medido próximo da indústria (50m de distância)

A média das concentrações 2012/2013 - Estação Minho-Lima

B média das concentrações 2012/2013 - Estação Frossos-Braga

C valor mais recente (2011) - Estação Frossos-Braga

Ilustram-se na Figura 4 as contribuições da poluição de fundo para os poluentes: PM₁₀, NO₂ e SO₂ no concelho de Guimarães face as concentrações médias anuais medidas na estação Azurém. O valor de concentração média estabelecido para o poluente SO₂ teve como ponto de referência a concentração média num ponto localizado a 50m da área industrial de maior atividade.

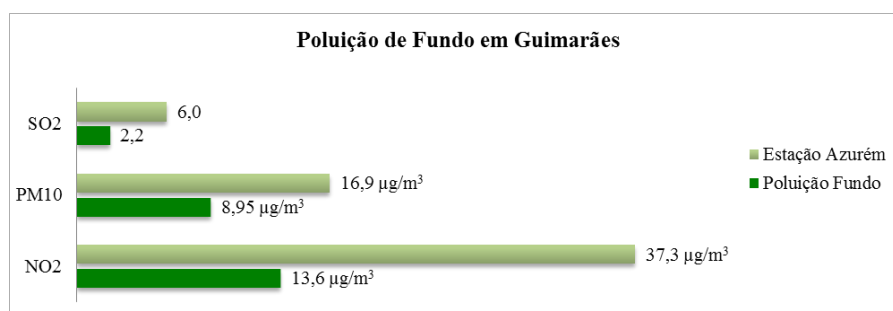


Figura 4. Poluição de fundo no concelho de Guimarães

5.2 Caracterização das fontes de poluição atmosférica em Guimarães

As fontes emissoras de poluentes atmosféricos considerados para elaboração dos mapas de poluição atmosférica incluem como base o tráfego rodoviário e principais instalações industriais localizadas no concelho de Guimarães. A descrição e respectiva quantificação das fontes emissoras são descritas a seguir.

5.2.1 Fontes Móveis – Tráfego Rodoviário

A localização da rede viária foi fornecida pela Câmara Municipal de Guimarães através de cartografia e documentação.

As cotas das estradas foram obtidas através da modelação do terreno gerada pelas curvas de nível tendo sido necessários alguns ajustes de modo a obter uma melhor correspondência com a realidade. As rodovias consideradas neste estudo foram as que se transcrevem nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

A caracterização das fontes móveis (tráfego rodoviário) teve como base a mesma caracterização feita no âmbito da elaboração dos mapas de ruído do município de Guimarães, isto é baseou-se num programa de contagens de tráfego rodoviário no tecido urbano do município. Este estudo cobriu para além da área limitada pela cidade, as principais vias de acesso ao município através de autoestradas, Itinerários Principais e Complementares, Estradas Nacionais e algumas Estradas Municipais de elevada importância, com o objetivo de caracterizar os padrões de circulação e comportamento do tráfego na rede viária da área de estudo e consequentemente produzir os respectivos mapas de longo termo.

O levantamento das condições de escoamento do tráfego na rede da área de estudo tem por base a aplicação de uma metodologia semi-empírica, já utilizada com sucesso na elaboração de mapas da mesma índole no passado.

Esta metodologia consiste na realização de contagens classificadas e subsequente interpretação e análise dos resultados tendo em vista a aplicação da teoria de similitude dos padrões de comportamento do tráfego rodoviário tendo por base a estrutura da rede viária e na tipologia de movimentos que aí são processados. Para tal são determinados pontos-chave da rede viária, designados Masters, que

servirão de modelo e base para estimar e extrapolar os volumes de tráfego em diferentes períodos do dia para pontos de contagem horária.

Em suma, a metodologia resume-se à realização do seguinte conjunto de tarefas:

- Definição da hierarquia viária de todas as vias da área de estudo. Se possível com a utilização de informação pré-existente sobre este tema;
- Definição de um zonamento para a área de estudo com o objetivo de definir e atribuir o(s) Master(s) que melhor expressem o comportamento da circulação do tráfego rodoviário numa determinada área;
- Realização de contagens de tráfego por categoria de veículos, durante 24 horas em locais característicos da rede viária em análise – *masters*;
- Realização de contagens horárias em vários pontos da rede viária;
- Afetação dos *masters* às contagens horárias;
- Estimação e atribuição do volume de tráfego médio diário para todos os eixos da rede viária para três classes de veículos: veículos de duas rodas com motor (motos), veículos ligeiros e pesados.

A recolha de dados de tráfego pode ser realizada por uma combinação de vários processos e técnicas de contagem, nomeadamente a utilização de contagens manuais *in loco* e, ou com recurso a camaras de filmar e dispositivos de contagem automática, mais especificamente equipamentos eletrónicos com sensor de radar Doppler. No entanto, devido a restrições operacionais e formais a fase de recolha de dados consistiu na utilização de contagens manuais realizadas *in loco*. Com recurso à utilização de contadores, realizaram-se aproximadamente 24 horas de contagens em pontos de contagem, designados por *masters*, nas vias mais importantes do ponto de vista da circulação rodoviária na área de estudo, nomeadamente estradas da rede estruturante e distribuidora do município que se traduzem sobretudo num vasto conjunto de Estradas Nacionais e principais arruamento urbanos da cidade.

A contagem de veículos foi realizada por classes veículos, nomeadamente veículos ligeiros, pesados, autocarros e veículos motorizados de duas rodas.

A realização das contagens pressupõe a utilização de contadores experientes, ou que sejam alvo de formação prévia. Estes devem estar equipados de cronómetros e pranchetas com tabelas que permitam a contagem classificada dos veículos de uma corrente de tráfego.

A aplicação da metodologia descrita anteriormente pressupõe uma criteriosa análise do funcionamento da rede viária existente. Deste modo, conjuntamente com a informação disponível em relatórios técnicos sobre mobilidade e regulamentos da Câmara Municipal de Guimarães procedeu-se à definição da hierarquização funcional da rede viária para a área do município de Guimarães, com base no desempenho das funções de mobilidade e de acessibilidade aos diferentes aglomerados urbanos, entre os quais as principais vilas do concelho e no caso da cidade de Guimarães aos principais espaços e equipamentos dessa área.

Assim, a rede viária foi dividida em dois níveis: estruturante e local. A rede estruturante foi subdividida em dois tipos de vias: arteriais e distribuidoras principais, e a rede local em ruas distribuidoras locais e ruas de acesso local. Com base nesta hierarquização foi efetuado um zonamento.

No mapa apresentado na Figura 5 é possível observar que a rede estruturante é composta por duas tipologias de rede arterial, denominada por "arterial" é composta pelas autoestradas A11 e A7 e a rede arterial urbana composta pela variante – EN 101. Conjuntamente com a rede de vias arteriais, o território é completamente coberto por um conjunto de vias distribuidoras principais (DP) que funcionam como cordões radiais que ligam e envolvem o tecido urbano da cidade de Guimarães composto pelas principais Estradas Nacionais do território em análise, que permite estabelecer a ligação da cidade e do próprio município com os municípios vizinhos como Braga, Pova de Lanhoso, Fafe, Famalicão e Vizela.

A rede local é a que apresenta maior cobertura e capilaridade devido às ruas distribuidoras locais e vias de acesso local, que cobrem praticamente todo o município. As ruas distribuidoras locais apresentam um carácter intersticial que permite estabelecer a ligação entre a rede de arruamentos municipais de carácter local e a rede estruturante do município e da cidade.

Da análise da Figura 5 é perceptível a relevância desta rede para a garantia de um território inclusivo, deste modo e apesar de muitas dessas vias não ser previsível que carreguem elevados volumes de tráfego que determine a sua inclusão num mapa de ruído e poluição atmosférica, não deixa de ser relevante face ao papel estratégico em termos de hierarquia viária e coesão territorial.

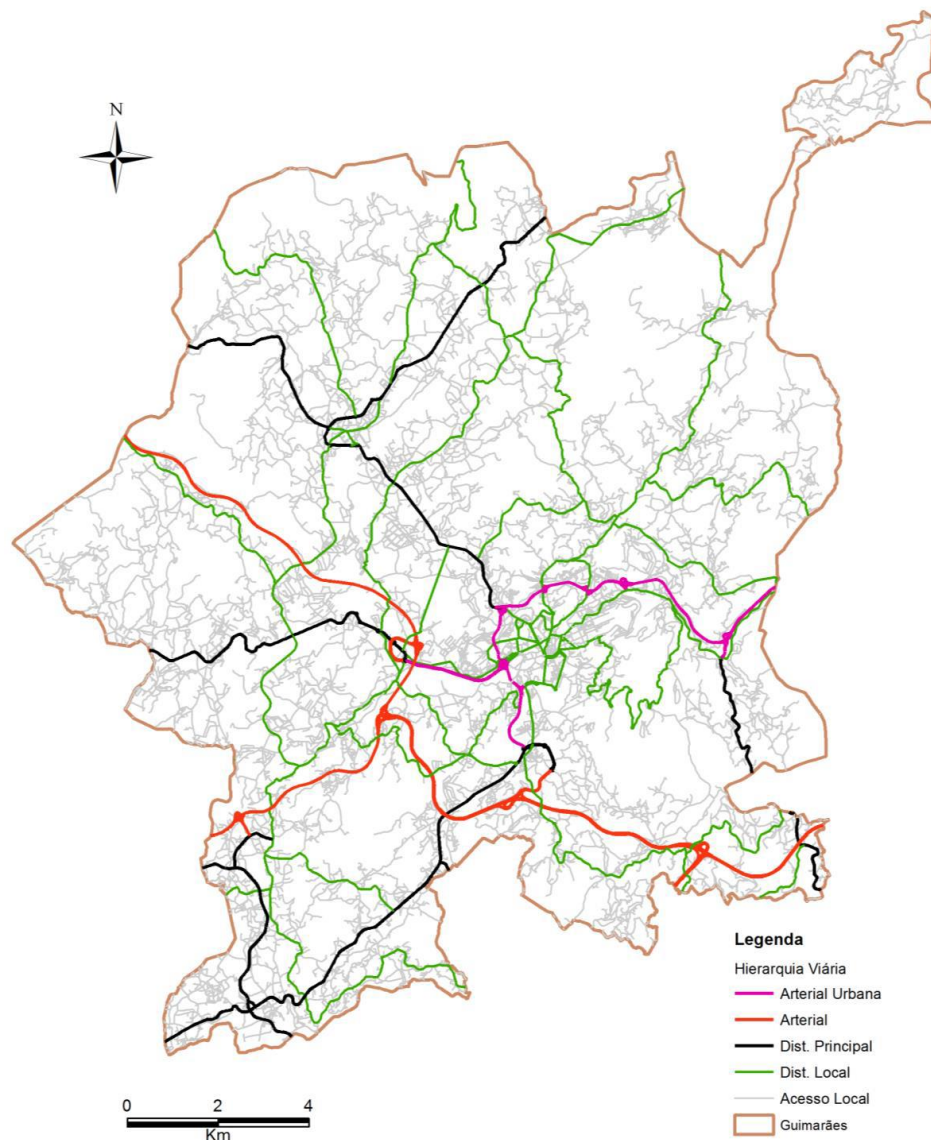


Figura 5. Hierarquização da rede viária do município de Guimarães

5.2.1.1 Definição dos *masters*

Com base na estrutura da rede viária devidamente hierarquizada, com capacidade explicativa do comportamento do tráfego de caráter local e de atravessamento, definiu-se um conjunto de pontos da rede viária que caracterizam o comportamento da curva dos volumes de tráfego ao longo de um dia típico para esse eixo e para outros que desempenhassem uma função e papel semelhantes na distribuição do tráfego pela rede viária, ou seja, *masters*.

Na Tabela 4 é possível identificam-se as vias definidas e caracterizados como *masters*, através de contagens manuais efetuadas por contadores no respetivo ponto de contagem.

Tabela 4. Identificação dos *masters* por zona do levantamento (Mi)

ID	Rua	Zona
M1	EN 310 (Guimarães - Póvoa de Lanhoso)	Z1
M2	EN 101 (Braga - Guimarães)	Z2
M3	EN 206 (Guimarães - Famalicão)	Z3
M4	EN 105 (Vizela - Guimarães)	Z4
M5	Rua da Estação (EN 101 (Guimarães-Felgueiras))	Z5
M6	Rua N. Sra. Da Penha	Z6
M7-1	Alam. Dr. Alfredo Pimenta (Guimarães -> Braga)	Z7
M7-2	Alam. Dr. Alfredo Pimenta (Braga -> Guimarães)	Z7
M9	Variante - EN 101	Z8

Importa referir e destacar não ter sido necessário definir *masters* para as vias arteriais, as autoestradas A11 e A7, uma vez que os dados das contagens de tráfego para os troços destas estradas na área de análise foram obtidos junto da concessionária ASCENDI.

5.2.1.2 Definição dos pontos de contagem horária

Para além disso, foram planeadas e realizadas contagens horárias atendendo a estudos de tráfego e mobilidade realizados recentemente para o município de Guimarães, nomeadamente o Estudo de Mobilidade do Quadrilátero (EMQ) e Estudo de uma nova ligação entre a Rua Joaquim Gonçalves e a Variante – EN 206 (EVariante-206). Por conseguinte foram selecionados os cruzamentos desses estudos para atualizar as contagens realizadas em 2012 e 2015, no EMQ e EVariante -206, respetivamente, tendo resultado na seleção de 12 cruzamentos de diferentes tipologias e num total de 68 pontos de contagem.

Por outro lado, de modo a caracterizar o tráfego da rede apresentada na Figura 6 procedeu-se ao planeamento e realização de contagens horarias em 43 pontos localizados em Plena Via de igual número de arruamentos.

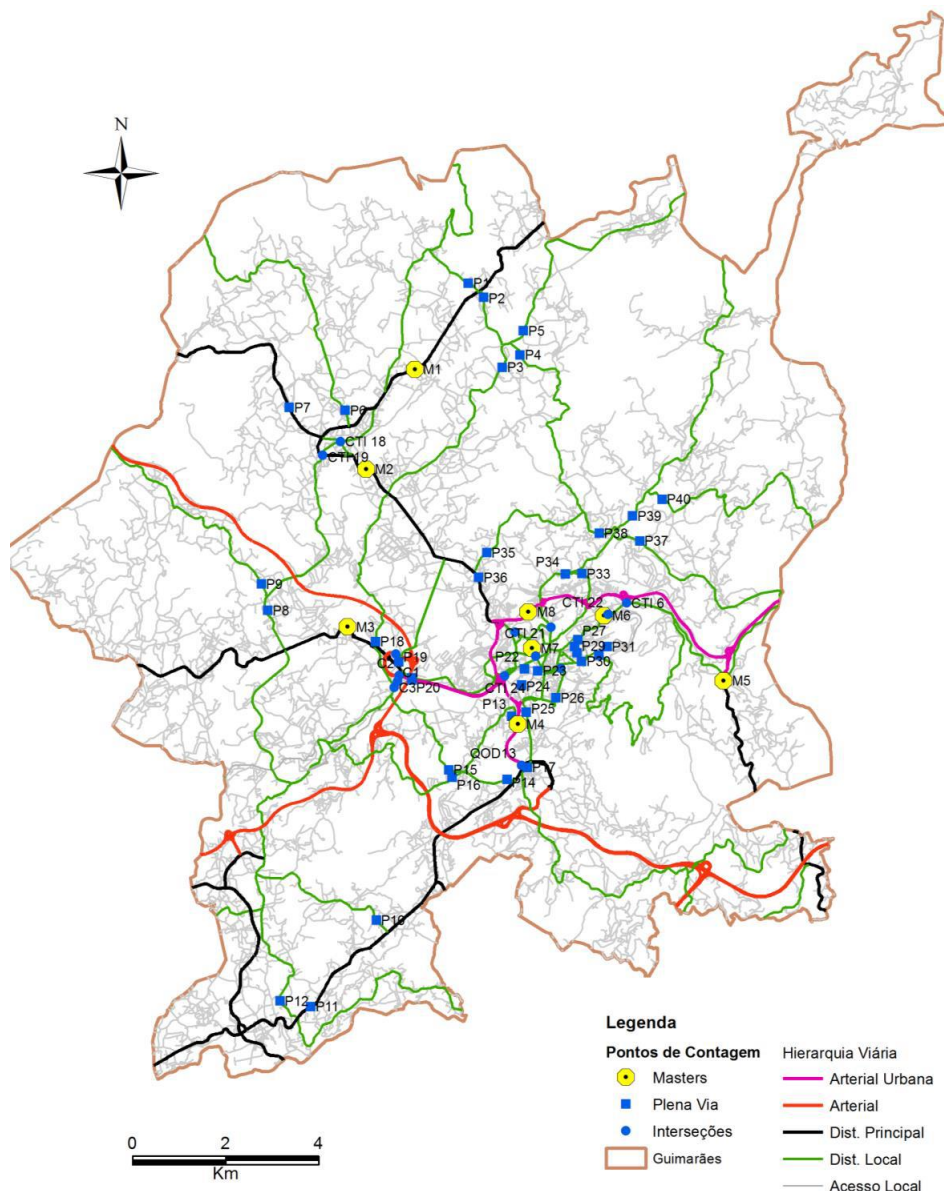


Figura 6. Localização de todos os pontos de contagem

No mapa da Figura 6 apresenta-se as localizações dos pontos para os quais se realizaram contagens por períodos superiores, ou iguais, a uma hora, que serviram de base para estimar o tráfego nos troços correspondentes. Preferencialmente foram selecionadas vias com ligação a nós da rede estruturante, num total de 130 pontos de contagem.

Nas Tabela 5 e 6 é possível constatar a identificação das vias onde se realizaram contagens horárias, através de contagem manuais, para pontos localizados em plena via de eixos rodoviários e ramos de interseções.

Tabela5. Identificação das vias com contagens horárias em plena via (Pi)

ID	Rua	Zona
P1	Rua Ribas	Z1
P2	Rua da Ribeira	Z1
P3	Rua Eng ^o Duarte	Z1
P4	Rua Manuel Alves de Matos	Z1
P5	Rua de Santa Maria	Z1
P6	Rua Padre Silva Gonçalves	Z2
P7	Rua S. Martinho (EN101)	Z2
P8	Rua Primeiro de Maio	Z3
P9	EN 310	Z3
P10	Rua de Vila Meã	Z4
P11	EN 105	Z4
P12	Rua da Escola	Z4
P13	Rua de Angola	Z4
P14	Rua António Costa Guimarães	Z4
P15	Rua de S. Amaro	Z4
P16	Rua Eng ^o Orlando vital Marques Rodrigues	Z4
P17	Rua de Sezim	Z5
P18	Rua Gandra	Z3
P19	Rua Corgo	Z3
P20	EN206	Z3
P21	Variante - EN206	Z3
P22	Rua D. João I	Z7
P23	Rua de Camões	Z7
P24	Rua da Liberdade	Z7
P25	Rua António da Costa Guimarães	Z6
P26	Avenida D. João IV	Z7
P27	Rua D. Cristóvão de s. Boaventura	Z7
P28	Rua Dr. Carlos Malheiro Dias	Z7
P29	Rua da Marcha Gualteriana	Z7
P30	Rua Comendador Domingos Torcato Ribeiro	Z6
P31	Rua D. José Augusto da Silva	Z6
P32	Rua Santa Marinha da Costa	Z6
P33	Rua Nossa Senhora Mãe de Deus	Z6
P34	Rua Moura Machado	Z6

Tabela 5. Identificação das vias com contagens horárias em plena via (Pi) (cont.)

P35	Rua João Paulo II	Z2
P36	EN 101 (Braga - Guimarães)	Z2
P37	Rua 24 de Junho	Z5
P38	Rua António Gomes Marinho	Z1
P39	EN 207	Z1
P40	EN 207	Z5
P41	Rua António Costa Guimarães	Z4
P42	Rua de Sairrão	Z5
P43	Nova Ligação à Variante EN 206	Z5

Tabela 6. Identificação das vias com contagens horárias em interseções (CTi/Ci)

ID	Rua	Zona
CTI18-1	EN 101 (Guimarães -> Braga)	Z2
CTI18-2	EN 101 (Braga -> Guimarães)	Z2
CTI18-3	Avenida de República	Z2
CTI19-1	Rua Prof. Manuel José Pereira	Z2
CTI19-2	Rua de Escalheiro	Z2
CTI19-3	Rua da Boavista	Z2
CTI19-4	Rua Monte de Além Cima	Z2
CTI19-5	EN 101 (Braga -> Guimarães)	Z2
CTI19 - INT	Rotunda (Rua da Boavista - Rua Prof. Manuel José Pereira)	Z2
C2-1	EN 206 (Guimarães - Famalicão)	Z3
C2-21	Variante - EN 206 (A11 -> Guimarães)	Z3
C2-22	Variante - EN 206 (Guimarães -> A11)	Z3
C2-3	Rua Joaquim Gonçalves	Z3
C2-41	Ligação A11 -> Guimarães	Z3
C2-42	Ligação Guimarães -> A11	Z3
C2-INT	Rotunda - Variante - EN 206	Z3
C3-1	Rua Joaquim Gonçalves	Z3
C3-2	Rua sem saída	Z3
C3-3	Rua Joaquim Gonçalves (Rotunda - Pevidém)	Z3
C3-4	Rua da Agrela	Z3
C3-5	Rua dos Carvalhais	Z3
C3-INT	Rotunda - Rua Joaquim Gonçalves	Z3
CTI17-1	EN 206 (Guimarães -> Famalicão)	Z3

Tabela 6. Identificação das vias com contagens horárias em interseções (CTi/Ci) (cont.)

CTI17-2	EN 206 (Famalicão -> Guimarães)	Z3
CTI17-3	Rua Mato Senra	Z3
CTI17-INT	Rotunda - EN 206	Z3
C1	Rua Joaquim Gonçalves	Z3
CTI6-1	Rua N. Sra. Da Penha	Z6
CTI6-2	EN 101 (Mesão Frio - Guimarães)	Z6
CTI6-3	Variante - EN 101 (Mesão Frio -> Fafe /Guimarães)	Z6
CTI6-4	Variante - EN 101 (Mesão Frio - Fafe /Guimarães)	Z6
CTI6-5	Variante - EN 101 (Fafe/Guimarães -> Mesão Frio)	Z6
CTI6-INT	Rotunda - EN 101 (Ramo N. Sra. Da Penha - Ramo Mesão Frio)	Z6
CTI22-1	Rua da Fé	Z6
CTI22-2	Rua N. Sra. Da Penha	Z6
CTI22-3	Avenida Rio de Janeiro	Z6
CTI22-4	Rua Padre António Caldas	Z6
CTI22-INT	Rotunda - EN 101 (Mesão Frio - Oliveira do Castelo)	Z6
CTI7-1	Rua Gil Vicente	Z7
CTI7-2	Alameda Dr. Alfredo Pimenta	Z7
CTI7-3	Rua de São Gonçalo	Z7
CTI7-4	Avenida Conde de Margaride	Z7
CTI7-5	Avenida Paio Galvão	Z7
CTI7-6	Rotunda (Alameda Dr. Alfredo Pimenta - Avenida Paio Galvão)	Z7
CTI21-12	Avenida de Universidade	Z7
CTI21-1	Avenida da Universidade (Rua Cap. Alfredo Guimarães -> Universidade)	Z7
CTI21-2	Avenida da Universidade (Universidade -> Rua Cap. Alfredo Guimarães)	Z7
CTI21-3	Rua Cónego Dr. Manuel Faria	Z7
CTI21-4	Rua Cap. Alfredo Guimarães	Z7
CTI21-5	Rua sem saída	Z7
CTI21-INT	Rotunda (Rua Cap. Alfredo Guimarães - Universidade)	Z7
CTI23-1	Avenida Alberto Sampaio	Z7
CTI23-2	Rua Dr. José Sampaio	Z7
CTI23-3	Alameda de São Dâmaso (Largo da Republica do Brasil -> Toural)	Z7

Tabela 6. Identificação das vias com contagens horárias em interseções (CTi/Ci) (cont.)

CTI23-4	Alameda de São Dâmaso (Toural -> Lardo da Republica do Brasil)	Z7
CTI23-5	Avenida D. João IV	Z7
CTI23-6	Rotunda - Largo da República do Brasil	Z7
CTI23-7	Largo da Republica do Brasil (Centro Histórico -> Avenida D. João IV)	Z7
CTI23-8	Largo da Republica do Brasil (Avenida D. João IV -> Centro Histórico)	Z7
CTI24-1	EN 101 (Guimarães - Fafe) - Nó Hospital	Z7
CTI24-2	Variante - EN 207 (Guimarães -> A11)	Z7
CTI24-3	Variante - EN 207 (A11 -> Guimarães)	Z7
CTI24-4	Alameda Dr. Mariano Felgueiras (Guimarães -> A11)	Z7
CTI24-5	EN 105 (Vizela - Guimarães) - Nó Hospital	Z7
CTI24-6	Alameda Dr. Mariano Felgueiras (A11 -> Guimarães)	Z7
CTI25-1	Rua de Santa Eulália (Guimarães -> Braga)	Z7
CTI25-2	Rua de Santa Eulália (Braga -> Guimarães)	Z7
CTI25-3	Praceta Padre Luís Gonzaga Fonseca	Z7
CTI25-4	Rua Dr. José Pinto Rodrigues	Z7

Na Tabela 7 são identificados os 6 sublanços da autoestrada A7 e 2 sublanços da autoestrada A11 que atravessam e servem o município de Guimarães, mas com a diferença em relação aos restantes pontos de contagem horária pois a recolha de informação foi realizada para um período de 24 horas, idêntico ao dos *masters*.

Tabela7. Identificação dos Sublanços de autoestrada com contagem de 24 horas

ID	Sublanço da autoestrada
A7-1	A7 - Sublanço Calvos - Fafe
A7-2	A7 - Sublanço Calvos - Vizela
A7-3	A7 - Sublanço Guimarães Sul - Calvos
A7-4	A7 - Sublanço Selho - Guimarães Sul
A7-5	A7 - Sublanço Ave - Selho
A7-6	A7 - Sublanço Ave - Seide
A11-1	A11 - Sublanço Celeirós - Guimarães Oeste
A11-2	A11 - Sublanço Guimarães Oeste - Selho

Uma vez definidos todos os locais de contagens horários e de 24 horas procedeu-se à contagem classificada do tráfego para a área de estudo, sendo possível obter um vasto conjunto de informação relevante sobre os principais fluxos na rede viária tendo em

vista a produção dos mapas de poluição, nomeadamente a distribuição do tráfego ao longo das 24 horas de observação pelas categorias de veículos previamente definidas. Na Figura 7 é possível observar o aumento da cobertura territorial que os mapas de ruído e poluição atmosférica irão contemplar, particularmente na região norte do município que se caracteriza por uma menor densidade populacional.

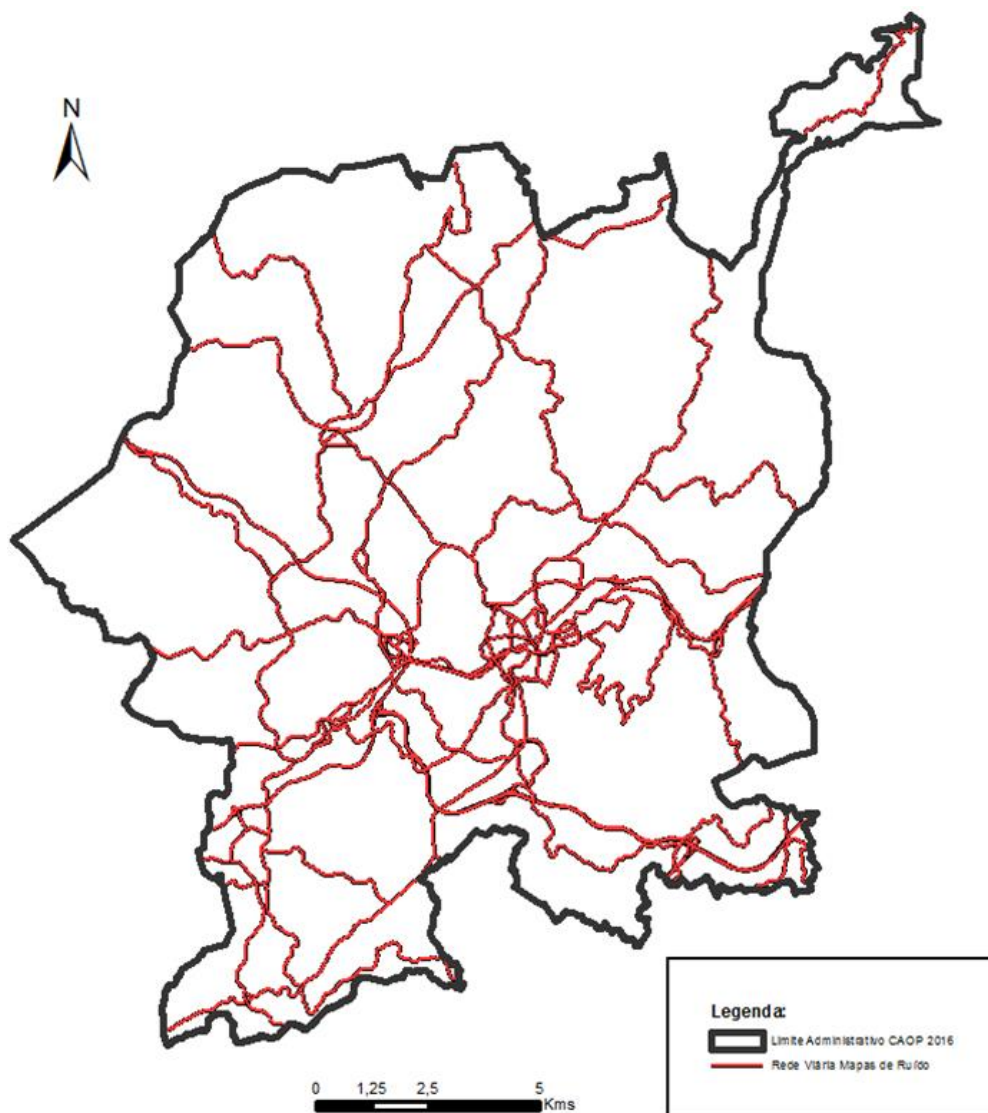


Figura7.Representação das fontes rodoviárias consideradas

Na Tabela 8 são demonstradas as velocidades de circulação adotadas para as várias tipologias de via de veículos ligeiros e pesados. Ressalta-se que as médias de velocidade estabelecidas referem-se aos valores requeridos no modelo Cadna.

Tabela 8. Velocidades por tipologia de via

Tipologia de via	Velocidade de ligeiros	Velocidade de Pesados
Autoestradas	120	86
Vias Não Urbanas	76	72
Vias Urbanas	32	18
Rotundas	5	6

5.2.1.3 Resultados das contagens de tráfego

As contagens de tráfego têm sobretudo como objetivo obter a carga de tráfego nos diversos eixos da rede viária. No gráfico da Figura 8 e na Tabela 9 apresenta-se um exemplo dos resultados obtidos das contagens para o Master (M8) – Variante à EN 101, com uma contagem de veículos realizada nas duas direções, resultando num volume de Tráfego Médio Diário (TMD) de 46510 veículos, com uma distribuição típica de uma via arterial com três picos (manhã, hora de almoço e final da tarde).

Tabela9. Volume de Tráfego para o Master (M8) da Variante – EN 101

M8 – Arterial Urbana: Variante – EN 101 (2 sentidos)					
Período	Hora	Motos	Ligeiros	Pesados	Total (2 sentidos)
Diurno	7:00 - 8:00	16	1445	76	1536
	8:00 - 9:00	25	3565	136	3726
	9:00 - 10:00	30	3493	150	3673
	10:00 - 11:00	14	2332	132	2478
	11:00 - 12:00	13	2213	83	2309
	12:00 - 13:00	29	2862	108	2999
	13:00 - 14:00	25	2800	105	2930
	14:00 - 15:00	33	2482	93	2608
	15:00 - 16:00	17	2170	108	2295
	16:00 - 17:00	13	2252	77	2342
	17:00 - 18:00	16	3138	68	3222
	18:00 - 19:00	29	4134	83	4246
	19:00 - 20:00	20	3491	74	3585
Entardecer	20:00 - 21:00	23	2405	17	2404
	21:00 - 22:00	19	2025	13	2024
	22:00 - 23:00	7	1481	6	1467
Noturno	23:00 - 24:00	11	1131	9	1132
	0:00 - 1:00	5	491	5	492
	1:00 - 2:00	4	228	1	229
	2:00 - 3:00	4	123	0	124
	3:00 - 4:00	1	95	3	99
	4:00 - 5:00	0	96	5	101
	5:00 - 6:00	2	139	6	147
6:00 - 7:00	3	314	19	341	
Totais		357	44903	1376	46510

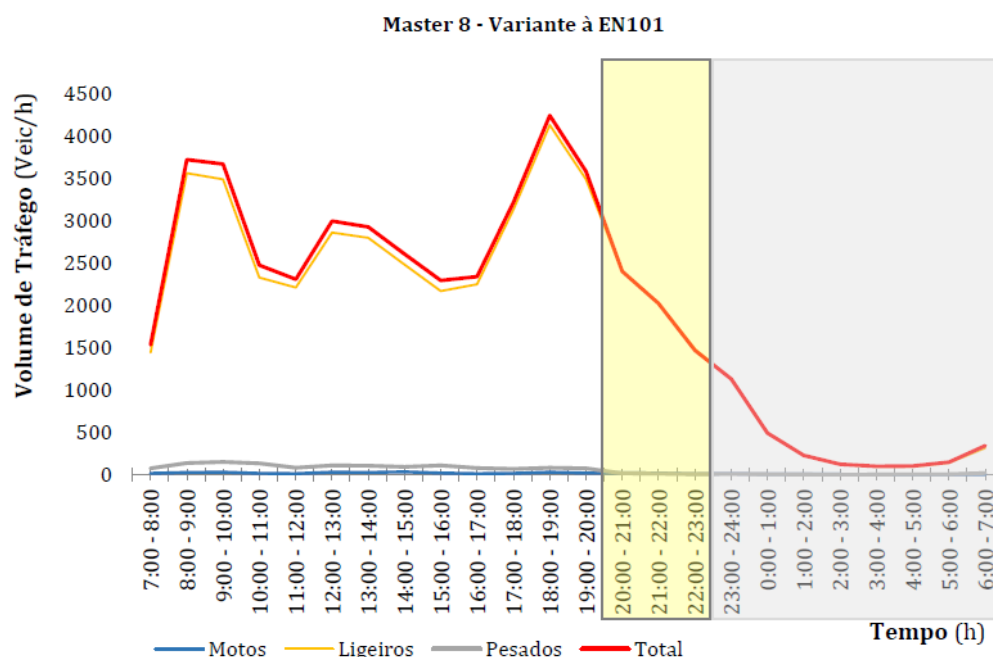


Figura 8. Volume de tráfego para o Master da Variante – EN 101

Tabela10. Volume de Tráfego para o Master (M8) da Variante – EN 101

Master	Tráfego (veic./h)									Porcentagem de pesados (%)		
	Diurno			Entardecer			Noturno			Diurno	Entardecer	Noturno
	Motos	Ligeiros	Pesados	Motos	Ligeiros	Pesados	Motos	Ligeiros	Pesados			
M1	18	539	48	10	331	27	2	62	5	8	7	7
M2	31	1510	92	12	661	41	6	263	15	6	6	5
M3	21	1207	94	11	624	15	2	108	7	7	2	6
M4	29	1752	100	22	1234	12	5	205	6	5	1	3
M5	9	502	31	3	229	3	0	43	1	6	1	2
M6	14	825	31	8	484	9	1	88	1	4	2	1
M7-1	11	437	8	20	375	1	4	58	1	2	0	1
M7-2	9	253	18	26	188	4	3	42	2	7	2	4
M7	20	690	26	46	563	5	7	100	3	8	2	5
M8	22	2798	99	16	1970	12	0	327	6	3	1	2

Por outro lado, foi ainda possível através das contagens horárias em vários pontos representativos dos eixos da rede viária obter o volume de tráfego horário, para os quais se efetuou a extrapolação do TMD tendo por base o comportamento e evolução da curva de tráfego dos *masters* que lhes foram associados.

Para todos os pontos onde se fizeram medições de 24 horas (*masters*) e para os pontos com TMD estimado, preparou-se uma base de dados com o volume de tráfego para o período diurno, do entardecer e noturno para todos os eixos viários da área de estudo. De acordo com o Regulamento Geral de Ruído são definidos três períodos (diurno, entardecer e noturno) para os quais é necessário definir, entre outros parâmetros,

os volumes de tráfego para cada um desses períodos, que se encontram representados nos mapas das Figuras 9, 10 e 11 e na Tabela 11 e 12.

Da análise dos mapas relativos aos três períodos observa-se uma cadência gradual nos volumes de tráfego de todos os eixos viários à medida que se passa do período diurno, para o entardecer e o noturno.

Por outro lado, é possível constatar que os eixos com volumes de tráfego superiores a 1000 veic/h, para o período diurno, correspondem maioritariamente a eixos da rede estruturante, composta por vias arteriais e distribuidoras principais, nomeadamente a autoestrada A7 na ligação de Famalicão a Guimarães, a EN 101 (na ligação a Braga).

Porém, importa destacar a pressão da carga de tráfego rodoviário que existe ao nível da variante urbana (EN 101) com volumes de tráfego com valores compreendidos entre 2000 e 4000 veículos/hora, em praticamente todo o cordão que envolve e serve a cidade de Guimarães.

Por último, outros dois eixos que merecem particular atenção são a EN 105 (ligação a Vizela) e a EN 206 (Famalicão e Fafe) em especial na proximidade da coroa urbana da cidade de Guimarães.

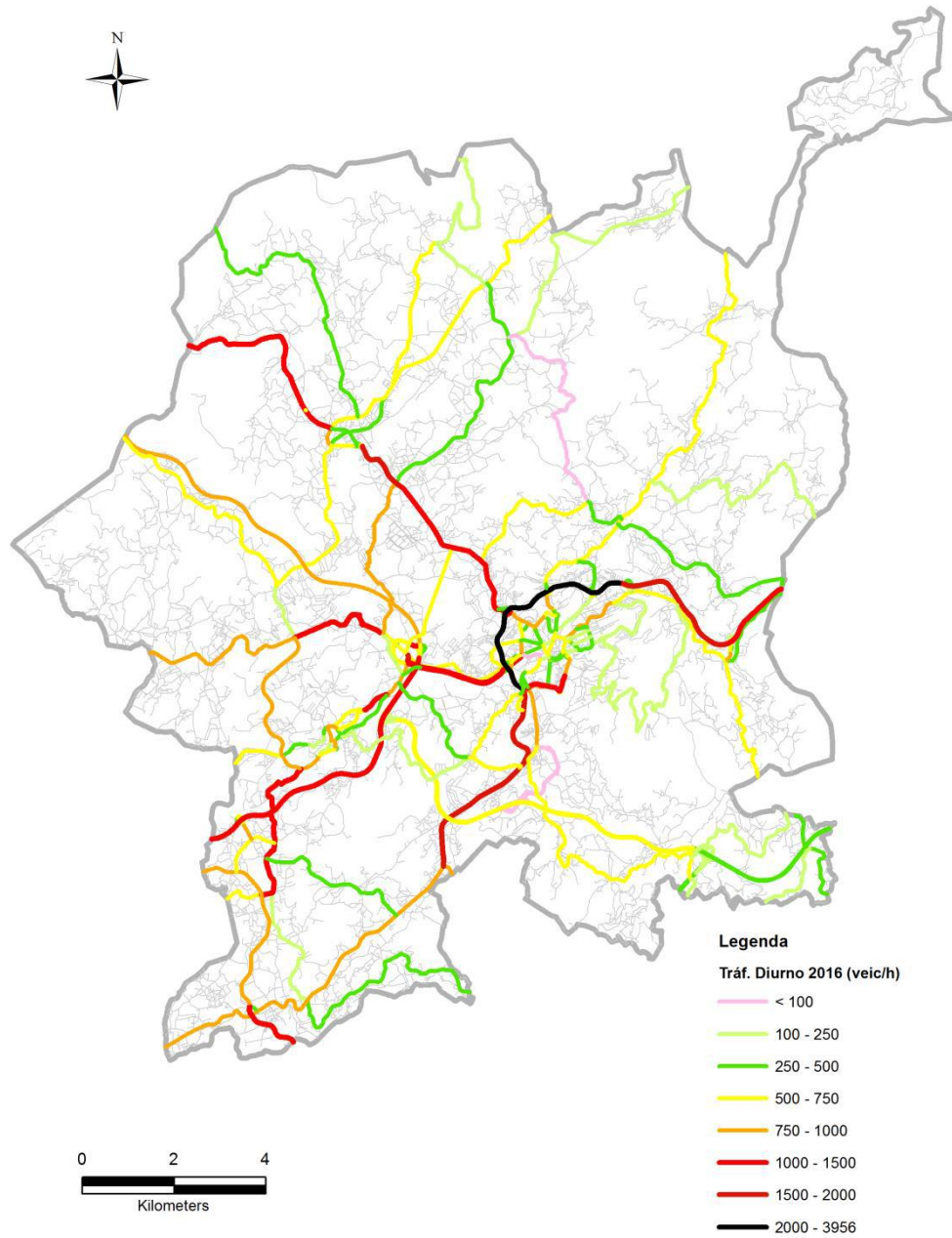


Figura 9. Carga de tráfego na rede viária para o período diurno

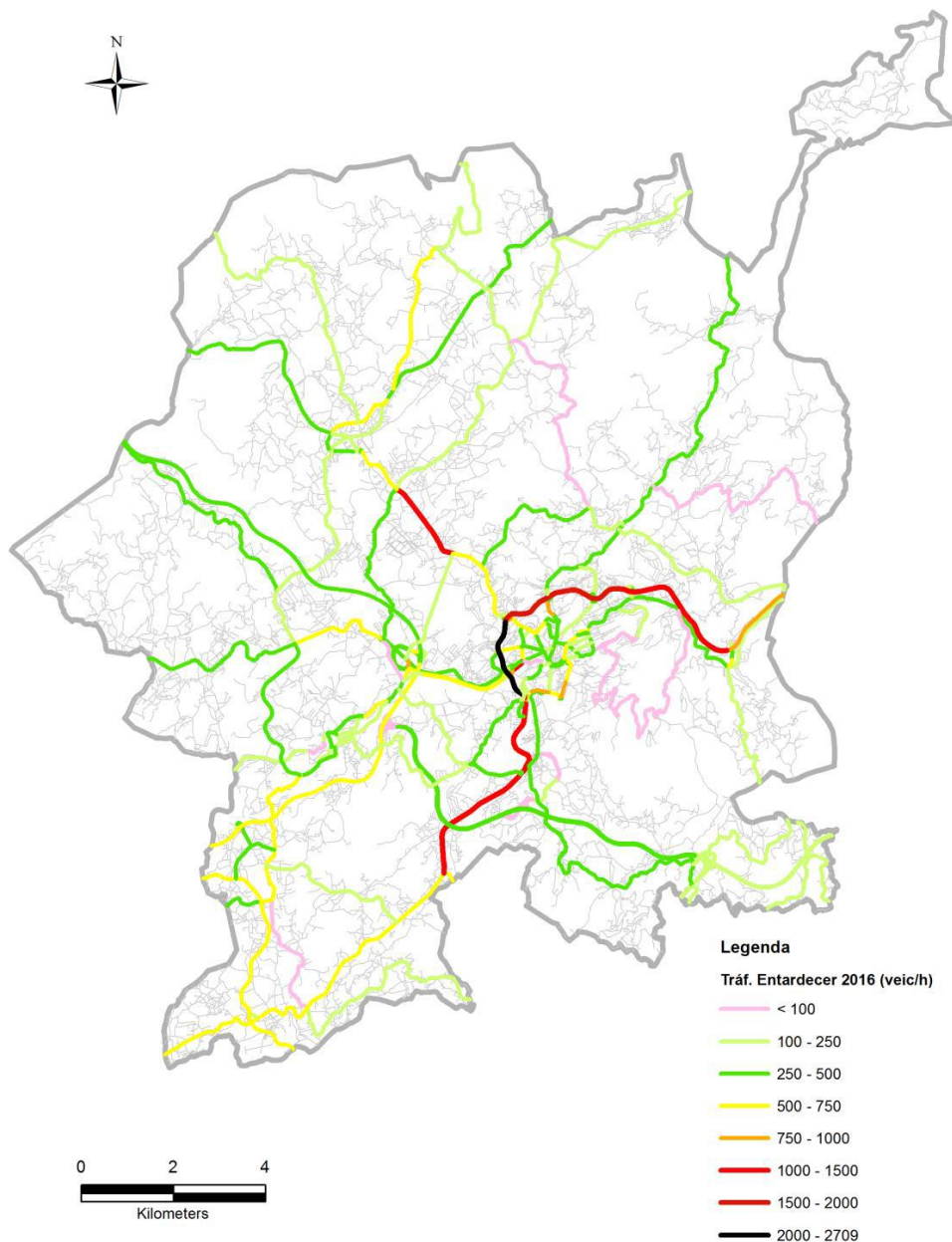


Figura 10. Carga de tráfego na rede viária para o período de entardecer

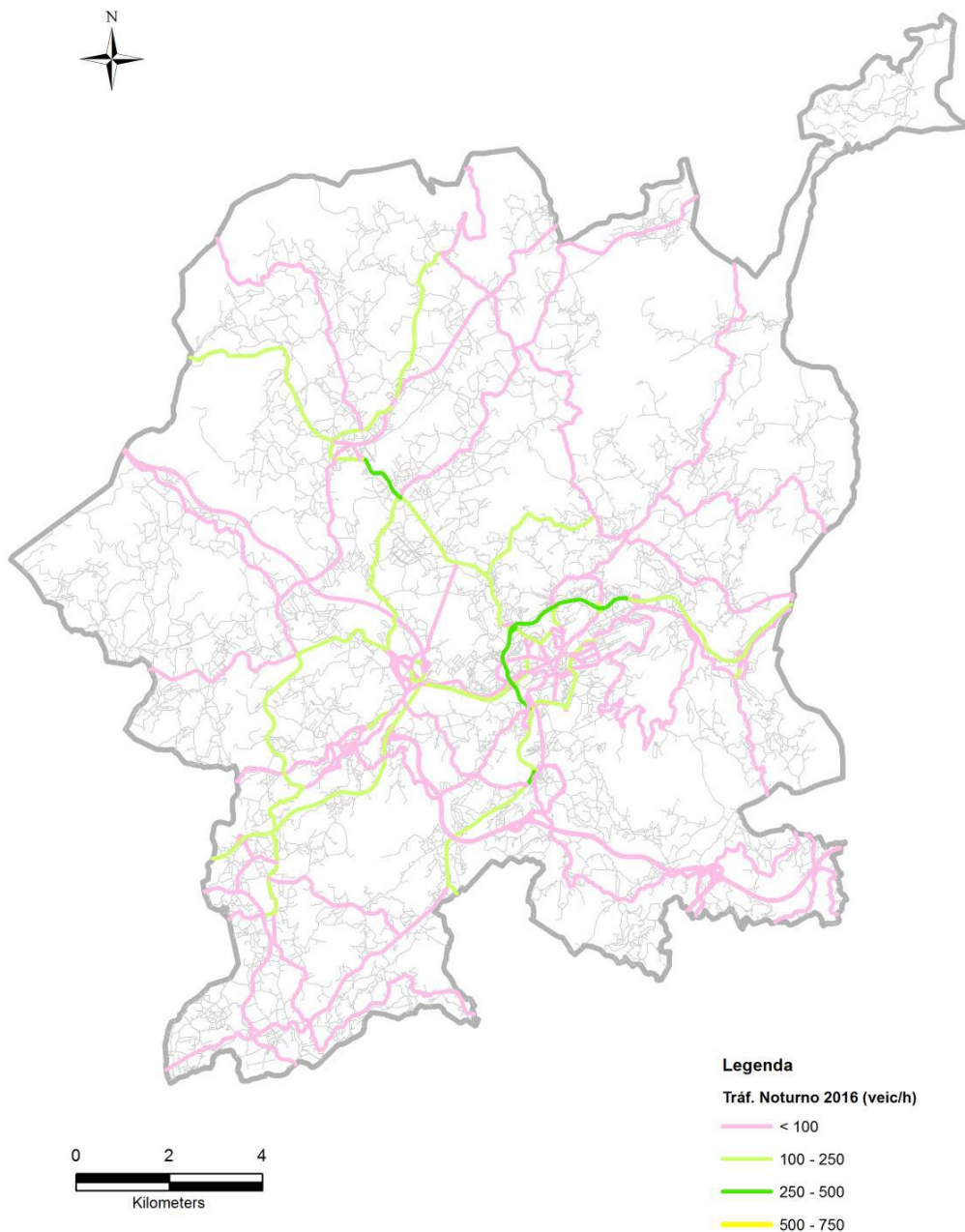


Figura 11. Carga de tráfego na rede viária para o período noturno

Tabela 11. Carga de tráfego para os eixos com pontos de contagem em plena via para os três períodos (diurno, entardecer e noturno)

ID	Tráfego (veíc./h)									Percentagem de pesados (%)		
	Diurno			Entardecer			Noturno			Diurno	Entardecer	Noturno
	Motos	Ligeiros	Pesados	Motos	Ligeiros	Pesados	Motos	Ligeiros	Pesados			
P1	2	187	11	1	115	11	0	22	1	5	5	5
P2	5	321	27	3	197	27	1	37	3	8	7	7
P3	9	318	25	5	195	25	1	37	3	7	7	7
P4	0	16	1	0	10	1	0	2	0	5	3	7
P5	0	171	27	0	105	27	0	20	3	14	13	12
P6	15	387	6	6	169	3	3	67	1	2	2	2
P7	18	1008	58	7	441	26	4	175	10	5	5	5
P8	4	220	4	2	114	1	0	20	0	2	1	1
P9	6	688	51	3	356	8	1	61	4	7	2	5
P10	3	300	17	2	212	2	0	35	1	5	1	3
P11	8	722	59	6	509	7	1	84	4	8	1	4
P12	0	113	11	0	80	1	0	13	1	9	2	5
P13	6	515	6	5	363	1	1	60	0	1	0	1
P14	20	563	42	15	396	5	3	66	3	7	1	3
P15	3	336	16	2	236	2	1	39	1	5	1	2
P16	3	216	10	2	152	1	1	25	1	4	1	2
P17	3	282	10	1	129	1	0	24	0	3	1	1
P18	11	695	46	6	360	7	1	62	3	6	2	5
P19	11	454	24	6	234	4	1	41	2	5	2	4
P20	11	657	58	6	340	9	1	59	4	8	3	6
P21	16	2485	147	8	1285	24	1	222	10	6	2	4
P22	2	34	0	4	27	0	1	5	0	0	0	0
P23	4	176	2	9	142	0	1	26	0	1	0	0
P24	10	528	4	23	425	1	4	78	0	1	0	0
P25	5	759	52	3	445	15	0	81	2	6	3	2
P26	6	1189	60	14	957	11	2	176	5	5	1	3
P27	1	355	1	2	286	0	0	52	0	0	0	0
P28	1	194	0	2	156	0	0	29	0	0	0	0
P29	0	126	1	0	102	0	0	19	0	1	0	1
P30	9	375	16	21	302	3	3	55	1	4	1	2
P31	4	102	4	2	60	1	0	11	0	4	2	1
P32	0	133	11	0	78	3	0	14	0	7	4	3
P33	6	294	16	3	173	5	0	31	1	5	3	2
P34	12	554	10	7	325	3	1	59	0	2	1	1
P35	11	557	22	4	244	10	2	97	4	4	4	4
P36	20	1189	56	8	520	25	4	207	9	4	5	4
P37	12	379	25	3	173	2	0	33	1	6	1	2
P38	5	374	3	3	230	1	1	43	0	1	1	1
P39	5	522	25	3	320	14	1	60	3	4	4	4
P40	9	198	14	3	90	1	0	17	0	6	1	2
P41	8	620	26	1	438	4	1	74	1	4	1	2
P42	1	311	16	1	134	1	0	25	1	5	1	1
P43	2	194	6	2	100	1	0	15	1	3	1	1

Tabela 12. Carga de tráfego para os eixos com pontos de contagem em plena via para os três períodos (diurno, entardecer e noturno)

ID	Tráfego (veíc./h)									Percentagem de pesados (%)		
	Diurno			Entardecer			Noturno			Diurno	Entardecer	Noturno
	Motos	Ligeiros	Pesados	Motos	Ligeiros	Pesados	Motos	Ligeiros	Pesados			
C1	11	939	32	9	573	7	1	90	3	3	1	4
C2-1	19	1758	75	10	909	12	2	157	5	4	1	3
C2-21	7	1177	41	3	608	6	1	105	3	3	1	3
C2-22	6	1207	36	3	624	6	1	108	3	3	1	2
C2-3	10	864	30	5	447	5	1	77	2	3	1	3
C2-41	1	613	39	0	317	6	0	55	3	6	2	5
C2-42	1	573	38	0	296	6	0	51	3	6	2	5
C2-INT	8	830	39	4	429	6	1	74	3	4	1	4
C3-1	10	864	31	5	447	5	1	77	2	3	1	3
C3-2	1	24	4	0	12	1	0	2	0	13	5	10
C3-3	10	744	31	5	385	5	1	66	2	4	1	3
C3-4	1	53	4	0	27	1	0	5	0	7	2	5
C3-5	2	164	7	1	85	1	0	15	1	4	1	3
C3-INT	6	478	19	3	247	3	1	43	1	4	1	3
CTI6-1	9	691	18	5	405	5	1	74	1	3	1	1
CTI6-2	8	654	15	4	384	4	1	70	1	2	1	1
CTI6-3	1	56	0	0	33	0	0	6	0	1	0	0
CTI6-4	1	357	4	0	209	1	0	38	0	1	1	0
CTI6-5	0	189	2	0	111	1	0	20	0	1	1	1
CTI6-INT	7	523	12	4	307	3	0	56	1	2	1	1
CTI7-1	1	211	12	3	170	2	1	31	1	5	1	3
CTI7-2	4	580	19	10	467	3	2	86	2	3	1	2
CTI7-3	2	316	12	5	255	2	1	47	1	4	1	2
CTI7-4	3	405	38	6	326	7	1	60	3	8	2	5
CTI7-5	4	460	46	8	371	8	1	68	4	9	2	6
CTI7-6	1	193	8	3	156	1	0	29	1	4	1	3
CTI17-1	9	907	33	5	469	5	1	81	2	4	1	3
CTI17-2	10	924	34	5	477	5	1	83	2	4	1	3
CTI17-3	7	603	11	4	312	2	1	54	1	2	1	1
CTI17-INT	4	406	13	2	210	2	0	36	1	3	1	2
CTI18-1	9	292	7	3	128	3	2	51	1	2	2	2
CTI18-2	6	296	10	2	129	5	1	51	2	3	3	3
CTI18-3	6	263	9	2	115	4	1	46	2	3	3	3
CTI19-1	4	241	8	1	106	3	1	42	1	3	3	3
CTI19-2	9	942	43	4	412	19	2	164	7	4	4	4
CTI19-3	9	504	27	4	220	12	2	88	5	5	5	5
CTI19-4	0	14	0	0	6	0	0	3	0	2	0	0
CTI19-5	6	667	33	2	292	15	1	116	6	5	5	4
CTI19 - INT	4	339	16	2	149	7	1	59	3	4	4	4
CTI21-12	6	959	27	15	773	5	2	142	2	3	1	2
CTI21-1	4	366	12	8	295	2	1	54	1	3	1	2
CTI21-2	3	593	14	7	478	3	1	88	1	2	1	1
CTI21-3	6	591	22	15	476	4	2	87	2	4	1	2
CTI21-4	3	389	15	7	313	3	1	58	1	4	1	2
CTI21-5	0	3	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0
CTI21-INT	3	360	9	8	290	2	1	53	1	2	1	1
CTI22-1	3	239	3	1	140	1	0	26	0	1	1	0
CTI22-2	10	672	19	5	394	5	1	72	1	3	1	1
CTI22-3	2	231	2	1	135	1	0	17	0	1	0	1
CTI22-4	11	803	20	6	471	6	1	86	1	2	1	1
CTI22-INT	4	324	8	2	190	2	0	35	0	2	1	1
CTI23-1	6	689	31	15	555	6	2	102	3	4	1	3
CTI23-2	2	177	5	3	143	1	1	26	1	3	1	2
CTI23-3	3	378	7	6	305	1	1	56	1	2	0	1
CTI23-4	3	389	16	7	313	3	1	58	1	4	1	2
CTI23-5	9	798	29	20	643	5	3	118	3	3	1	2
CTI23-6	7	728	32	17	586	6	3	108	3	4	1	3
CTI23-7	5	400	17	12	322	3	2	59	2	4	1	2
CTI23-8	6	666	31	14	537	6	2	99	3	4	1	3
CTI24-1	1	277	7	2	223	1	0	41	1	2	1	1
CTI24-2	1	633	17	3	509	3	0	94	2	3	1	2
CTI24-3	2	500	22	3	402	4	1	74	2	4	1	3
CTI24-4	2	567	26	5	456	5	1	84	2	4	1	3
CTI24-5	4	921	32	10	742	6	2	136	3	3	1	2
CTI24-6	5	1344	47	12	1082	8	2	199	4	3	1	2
CTI25-1	8	851	20	19	685	4	3	126	2	2	1	1
CTI25-2	11	861	21	24	693	4	4	127	2	2	1	1
CTI25-3	1	19	0	2	16	0	0	3	0	0	0	0
CTI25-4	6	549	13	14	442	2	2	81	1	2	1	1

5.2.2 Fontes Fixas

Para estimar as emissões atmosféricas devido à contribuição por fontes fixas, consideraram-se as instalações industriais localizadas no concelho, tendo em consideração as especificidades e detalhamento para o cálculo de emissões dos poluentes atmosféricos. Essa estratégia metodológica é denominada procedimento “*bottom-up*”.

5.2.2.1 Fontes de informação

Foi realizada a identificação das principais unidades industriais poluidoras instaladas no concelho de Guimarães, para posterior recolha de informação por unidade industrial e cálculo de estimativa de emissões poluentes individualizada.

O critério de seleção das principais unidades industriais localizadas no concelho considerou os setores de atividade característicos do parque industrial local e as atividades potencialmente mais poluentes. Foi utilizada uma base de dados do parque industrial de Guimarães (2009), onde foi efetuadas uma seleção prévia resultando em 120 unidades industriais, com maior representatividade e distinguidas pelo seu potencial poluidor, sendo estas de médio e grande porte.

As indústrias com maior potencial poluidor, isto é, com maior potencial impacto ambiental, por imposição legal, são obrigadas à obtenção de Licença Ambiental (LA). A manutenção da LA implica a obrigatoriedade, por parte da indústria, de monitorização regular. Os dados de monitorização das instalações industriais são reportados à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N).

Os dados de monitorização contidos nos relatórios de autocontrolo são indispensáveis para estimar as emissões atmosféricas segundo abordagem “*bottom-up*”. Assim, posteriormente à identificação das principais fontes fixas de emissão de poluentes foi necessário obter informações fidedignas e com maior detalhe decorrentes da monitorização de cada unidade industrial.

O levantamento de informação detalhada sobre as instalações industriais, previamente selecionadas, incidiu nas seguintes fontes de informação:

- Instalações possuidoras de Licença Ambiental (LA), em cumprimento à Diretiva de Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP - Decreto-lei n.º 173/2008 de 26 de Agosto);
- Instalações divulgadas nos resultados nacionais de Registo de Emissões e Transferências de Poluentes (PRTR);
- Instalações que contenham o Título de Emissões de Gases com Efeito Estufa (TEGEE) nos termos do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE).

A partir da consulta das fontes de informação supracitadas, foram identificadas as instalações industriais que possuem Licença Ambiental (Tabela 13), devido ao tipo de atividade realizada.

Tabela 13. Instalações industriais licenciadas em Guimarães

Instalação Industrial	Licença Ambiental
1. Fabricação de têxteis, branqueamento e tingimento	LA nº 68 / 2007
2. Fabricação de têxteis, branqueamento e tingimento	LA nº 69 / 2007
3. Fabricação de têxteis, fabricação de outros têxteis	LA nº 267 / 2016
4. Fabricação de têxteis, tecelagem de têxteis	LA nº 321 / 2009
5. Tecelagem de fio tipo algodão	LA nº 613/1.0/2016
6. Fabricação de têxteis, acabamento de fios, tecidos e artigos	LA nº 16 / 2008
7. Preparação, tingimento e acabamentos de tecidos e malhas	LA nº 520/1.0/2014
8. Fabricação de tecidos plastificados, outras indústrias têxteis	LA nº 36 / 2006
9. Tecelagem de fio tipo algodão	LA nº 342 / 2009

Os dados de monitorização contidos nos relatórios de autocontrolo das instalações industriais com LA foram solicitados à CCDR-N. Posteriormente foram coletadas informações necessárias para proceder ao cálculo da estimativa de emissões atmosféricas individualizada, nomeadamente informações: as fontes de emissão e poluentes monitorizados, concentração e caudal medido.

5.2.2.2 Metodologia de cálculo

Os dados de monitorização contidos nos relatórios de autocontrolo das instalações industriais mencionadas, bem como informações individualizadas contidas nas Licenças Ambientais (LA), Título de Emissões de Gases com Efeito Estufa (TEGEE) e Registo de Emissões e Transferências de Poluentes (PRTR), foram apuradas e aplicadas as metodologias de cálculo, na seguinte ordem de priorização:

- 1º. Dados de monitorização: fonte de informação individualizada por instalação industrial caracterizada como a mais próxima da realidade;
- 2º. Fatores de emissão: fonte de pesquisa bibliográfica cujo à obtenção das estimativas de emissão se caracterizam por semelhança: atividades, funcionamento, equipamentos, produção, etc;
- 3º. Balanço de massa: estimativa a partir da correlação direta entre a matéria processada e o poluente emitido.

O procedimento de cálculo aplicado para estimar as emissões de poluentes atmosféricos das fontes fixas monitorizadas (método m: medição) foi baseado na seguinte Equação 3:

$$Emiss\tilde{a}o_{t/ano} = Cm_{Kg/h} \times Hf_{h/ano} \times 10^{-3} \quad [3]$$

Onde:

Cm – caudal de poluente medido (Kg/h)

Hf – número de horas de funcionamento da fonte (h/ano)

Considerou-se para o cálculo estimativo da média horária, paragem nos fins de semana. Sendo considerado que as atividades industriais decorrem durante 5 dias úteis continuamente, o período representa 6264 horas de laboração.

A Equação 4 aplica-se ao cálculo das fontes fixas não monitorizadas, ou seja, por similaridade de fatores de emissão para fontes de combustão (método c: cálculo):

$$Emissão_{t/ano} = FE_{g/GJ} \times (CC_t \times PCI_{GJ/t}) \times 10^{-6} \quad [4]$$

Onde:

FE – fator de emissão específico por poluente e combustível (Kg/GJ ou g/GJ)

CC – consumo de combustível (t ou m³)

PCI – poder calorífico inferior do combustível (GJ/t ou GJ/m³)

Os fatores de emissão adotados para o método de cálculo foram obtidos segundo revisão bibliográfica especializada e usualmente aplicada a inventários regionais e nacionais. A seleção foi feita em função da fonte emissora (equipamento de combustão), combustível utilizado e poluente emitido. As principais fontes consultadas são:

- Edições EMEP/EEA e EMEP/CORINAIR *Guidebook*;
- Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories;
- Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2000).

Os dados de combustível referente as unidades industriais selecionadas foram obtidos na Licença Ambiental das instalações (Tabela 13). Os valores de poder calorífico inferior, coeficiente de teor e retenção de enxofre dos combustíveis utilizados na estimativa de emissões atmosféricas por fatores de emissão de poluentes, encontram-se em conformidade com o regime Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) 2013-2020, de acordo com as regras estabelecidas no Regulamento (UE) N.º 601/2012 da Comissão e foram obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA) publicado em 2013. Na Tabela 14 estão descritos o poder calorífico inferior (PCI), coeficiente de teor e retenção de enxofre dos combustíveis aplicados ao método de cálculo.

Tabela 14. Valores de poder calorífico inferior dos combustíveis

Combustível	Unidade	PCI	Unidade	Coefficiente de teor enxofre	Coefficiente retenção enxofre
Gás Petróleo Liquefeito (GPL)	ton	48,45	GJ/ton	0	0
Gás Natural	Nm ³ 10 ³	38,44	GJ/(Nm ³ 10 ³)	7,5 x 10 ⁻⁶	0

Nos casos necessários, a determinação de emissões de SO₂ foi calculada através balanço de massa, de acordo com Equação 5, utilizando os valores de coeficiente de teor e retenção do enxofre existentes no combustível, descritos na Tabela 15.

$$Emiss\tilde{a}o_{t/ano} = (\% S \times 10^{-2}) \times CC_t \times (64/32) \quad [5]$$

Na Tabela 15 são apresentados os valores de estimativas médias anuais obtidas pelo método de medição e cálculo dos poluentes atmosféricos provenientes das principais instalações industriais do concelho.

Tabela 15. Emissões de poluentes atmosféricos das instalações industriais

Instalação Industrial	Média anual (t/ano)		Média horária estimada (Kg/h)			
	NOx ⁽ⁱ⁾	PTS ⁽ⁱⁱ⁾	SO ₂	NOx	PTS	SO ₂
Lameirinho	11,83*	1,98*	0,08	1,89	0,316	0,0128
Coelima	16,7	0,18	0,06	2,67	0,029	0,0096
Francisco Vaz	8,05	0,081	0,03	1,29	0,013	0,0048
Têxteis J.F.	4,79	0,05	0,03	0,76	0,008	0,0048
Domingos Sousa	0,098	2,96*	0,001	0,02	0,473	0,0002
Somelos	0,233	0,0024	0,0018	0,04	0,000	0,0003
TMG Têxteis	9,38	2,29*	0,063	1,50	0,366	0,0101
TMG Plast.	0,31*	10,02*	0,63*	0,05	1,600	0,1006
Morecoger	11,32	0,119	0,042	1,81	0,019	0,0067
Morecoger (Energia)	38,84*	0,69*	1,13*	6,20	0,110	0,1804

Notas:

* valores provenientes do relatório de autocontrolo das fontes fixas monitorizadas (método m: medição)

⁽ⁱ⁾ poluente NOx convertido para NO₂

⁽ⁱⁱ⁾ partículas totais em suspensão (PTS): frações PM₁₀ (diâmetro menor que 10 µm) e PM_{2.5} (diâmetro menor que 2.5 µm)

5.3 Validação do mapa de poluentes atmosféricos

Para proceder à validação dos mapas de poluentes atmosféricos, o procedimento baseou-se na comparação dos valores modelados do poluente PM_{10} com os respetivos valores médios de concentração obtidos através de medições em campo.

A metodologia adotada para validação permitiu confirmar a qualidade dos dados inseridos no modelo de dispersão, e ainda validar os mapas dos poluentes NO_2 e SO_2 . As medições de campo no concelho decorreram num período de duração de 5 dias e foram efetuadas medições em 19 locais diferentes. O critério de seleção para os locais de medição de campo decorreu da posterior identificação das principais fontes de emissão fixas e móveis inseridas no modelo, em que foi possível caracterizar os locais mais críticos relativamente a qualidade do ar. Na Figura 12 estão exemplificados dois dos dezanove pontos onde se realizaram as medições de campo para posterior validação dos mapas de poluição atmosférica.



a). Alameda S. Dâmaso (Toural)

b). Medições no complexo industrial

Figura 12. Medições de qualidade do ar em campo

O registo das medições de PM_{10} foi efetuado com o uso do monitor de partículas modelo DustTrak DRX 8533EP (equipamento certificado), faixa 0,001 a 150 mg/m^3 , resolução de +/- 0,1%. Foram escolhidos dias típicos e representativos para média anual, com condições meteorológicas amenas de temperatura e umidade. Alguns cuidados foram adotados para o uso e manuseio do equipamento durante as medições,

a fim de não comprometer a aferição dos registos: o tempo de estabilização do equipamento e altura de 1,5 metros acima da cota do solo foram respeitados, como recomendado. Os valores registrados de concentração de PM10 que apresentaram qualquer anomalia ou demasiado desvio foram imediatamente descartados.

Os 19 pontos de medição em campo realizados no concelho para validação dos mapas de poluição atmosférica ilustram-se na Figura 13.

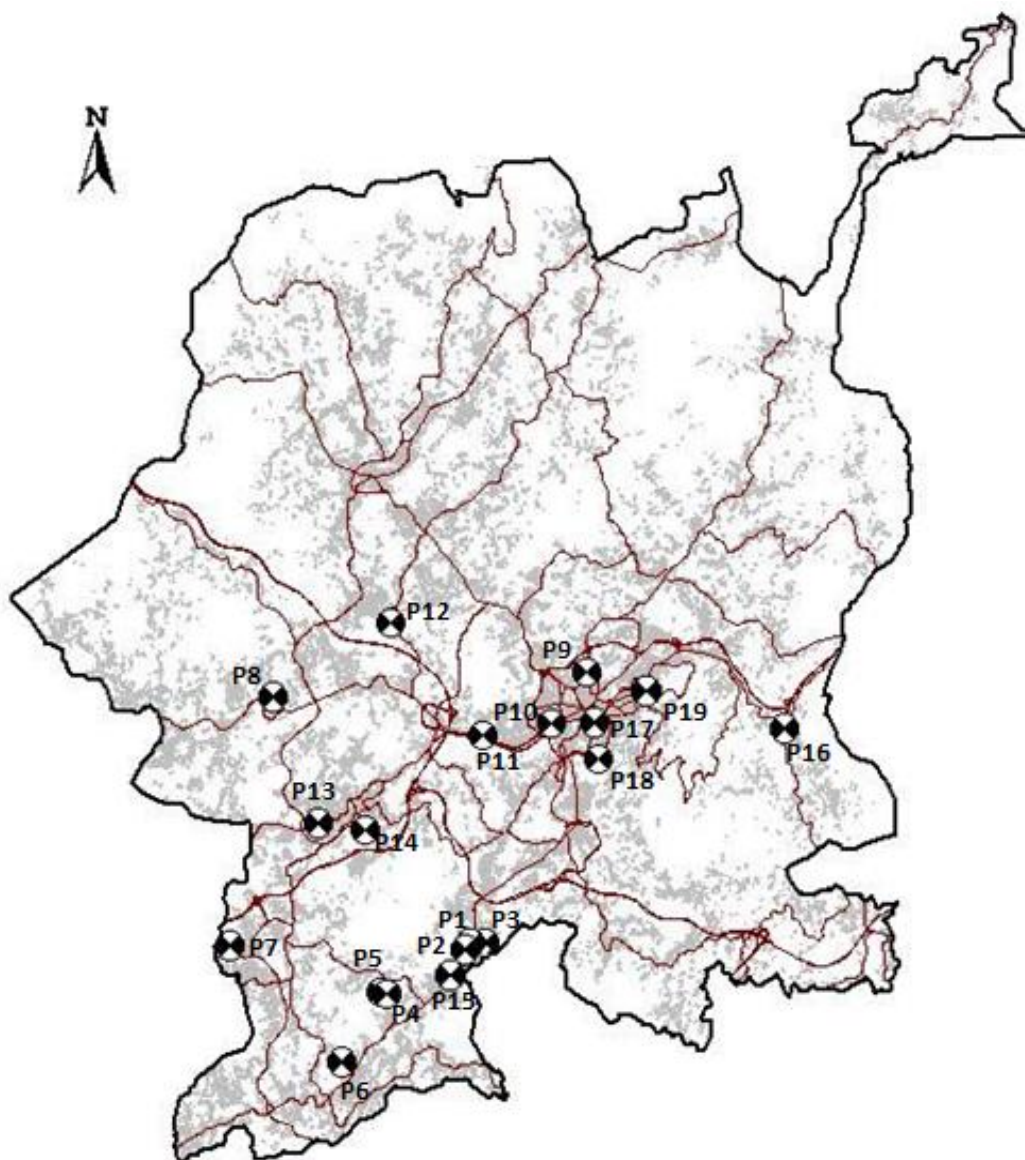


Figura 13. Localização dos pontos de medição em campo, no concelho

Os valores de concentrações médias monitorizadas nos pontos de medição em campo e os valores de médios obtidos no mapa de poluição PM₁₀ são demonstrados na Tabela 16.

Tabela 16. Resultados das medições e valores modelados de PM₁₀

Ponto de Monitorização	PM ₁₀		
	Medido (µg/m ³)	Modelado (µg/m ³)	Δ val.
P1	22	14,2	-7,8
P2	22	14	-8
P3	18	14,2	-3,8
P4	17	15,3	-1,7
P5	17	15,1	-1,9
P6	30	28,1	-1,9
P7	16	14	-2
P8	11	14,1	3,1
P9	12	15,8	3,8
P10	11	17	6
P11	25	14,4	-10,6
P12	11	18	7
P13	10	14,4	4,4
P14	13	14,1	1,1
P15	9	14,1	5,1
P16	10	14,8	4,8
P17	12	15,9	3,9
P18	11	15,1	4,1
P19	21	14,1	-6,9
Valor médio	15,7	15,6	

De acordo com os valores médios obtidos nas medições em campo, e os valores médios modelados, nota-se que o valor médio de concentração de PM₁₀ alcançado aproxima-se consideravelmente ($\approx 15\mu\text{g}/\text{m}^3$). O maior desvio observado encontra-se no ponto de amostragem 11, devido ao facto da direção dos ventos estar favorável a dispersão do poluente relativamente a fonte principal no período de medições. Entretanto, a variação média das concentrações obtidas nas medições e na modelação, de modo geral, demonstram tendências semelhantes. Após algumas correções pontuais considerou-se o modelo validado.

6. MAPAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Foram calculadas as concentrações médias, existentes no espaço territorial do concelho de Guimarães, dos seguintes poluentes atmosféricos: Partículas <10 µm (PM₁₀), Dióxido de Azoto (NO₂) e Dióxido de Enxofre (SO₂).

6.1 Parâmetros de cálculo

Os parâmetros de cálculo considerados na modelação das concentrações de poluentes foram os seguintes:

- Características da malha: dimensões da malha de 10,0 m por 10,0 m;
- Altura do mapa: 1,5 m;
- Nº de partículas para uma grelha de 300x300m: 4 milhões;
- Rugosidade da superfície: 0,2 m;
- Importação de dados georreferenciados para desenvolvimento do modelo tridimensional da cidade: rede viária, edificado e cartografia do terreno;
- Fontes consideradas: tráfego rodoviário (fontes móveis) e industriais (fontes fixas) e poluição de fundo (fontes dispersas);
- Características das vias de comunicação: tráfego de ligeiros por período de tempo de referência, percentagem de veículos pesados por período de tempo de referência, tipo de pavimento, largura da via e tipo de tráfego (fluido, de aceleração, de desaceleração,...);
- Características dos edifícios: altura dos edifícios;
- Cartografia do terreno: equidistância das curvas de nível – 5 metros.

6.2 Dados meteorológicos

A qualidade do ar depende das diferentes emissões dos poluentes e, encontra-se ainda, condicionada pela variabilidade dos fenómenos atmosféricos, os quais desempenham um papel preponderante nos processos de transporte, transformação e dispersão dos poluentes na atmosfera.

O vento é um fator meteorológico com efeitos diretos e determinantes nas condições de dispersão dos poluentes. A velocidade do vento determina a produção de turbulência mecânica, que é responsável pela dispersão local. A

ausência de vento favorece a concentração de poluentes, e situações de vento moderado favorecem a sua dispersão, no entanto, o vento forte pode provocar um efeito de poluição localizada na direção dos ventos dominantes. As situações de baixas pressões correspondem geralmente a uma grande turbulência da atmosfera, que favorece a dispersão dos poluentes. Em situações de altas pressões (anticiclone), caracterizadas por vento fraco, a estabilidade do ar não permite a dispersão dos poluentes, concentrando-se a poluição junto ao solo.

Foram incluídas informações meteorológicas referentes ao ano de 2014/2015 para a criação do ficheiro meteorológico empregado no modelo AUSTAL, sendo um elemento essencial para a realização dos mapas de poluição. Os dados meteorológicos referem-se à estação meteorológica Merelim, Braga, disponibilizadas pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

Os valores médios horários de velocidade do vento registados durante o período de junho de 2014 e julho de 2015 oscilaram entre 0,1 e 10,3 m/s. As direções predominantes de vento para o mesmo período são Norte, Nordeste e Noroeste.

6.3 Resultados

São apresentados a seguir os mapas de concentração dos poluentes: Partículas (PM₁₀), Dióxido de Azoto (NO₂) e Dióxido de Enxofre (SO₂). São demonstradas primeiramente à escala do centro da cidade de Guimarães e depois a nível de concelho.

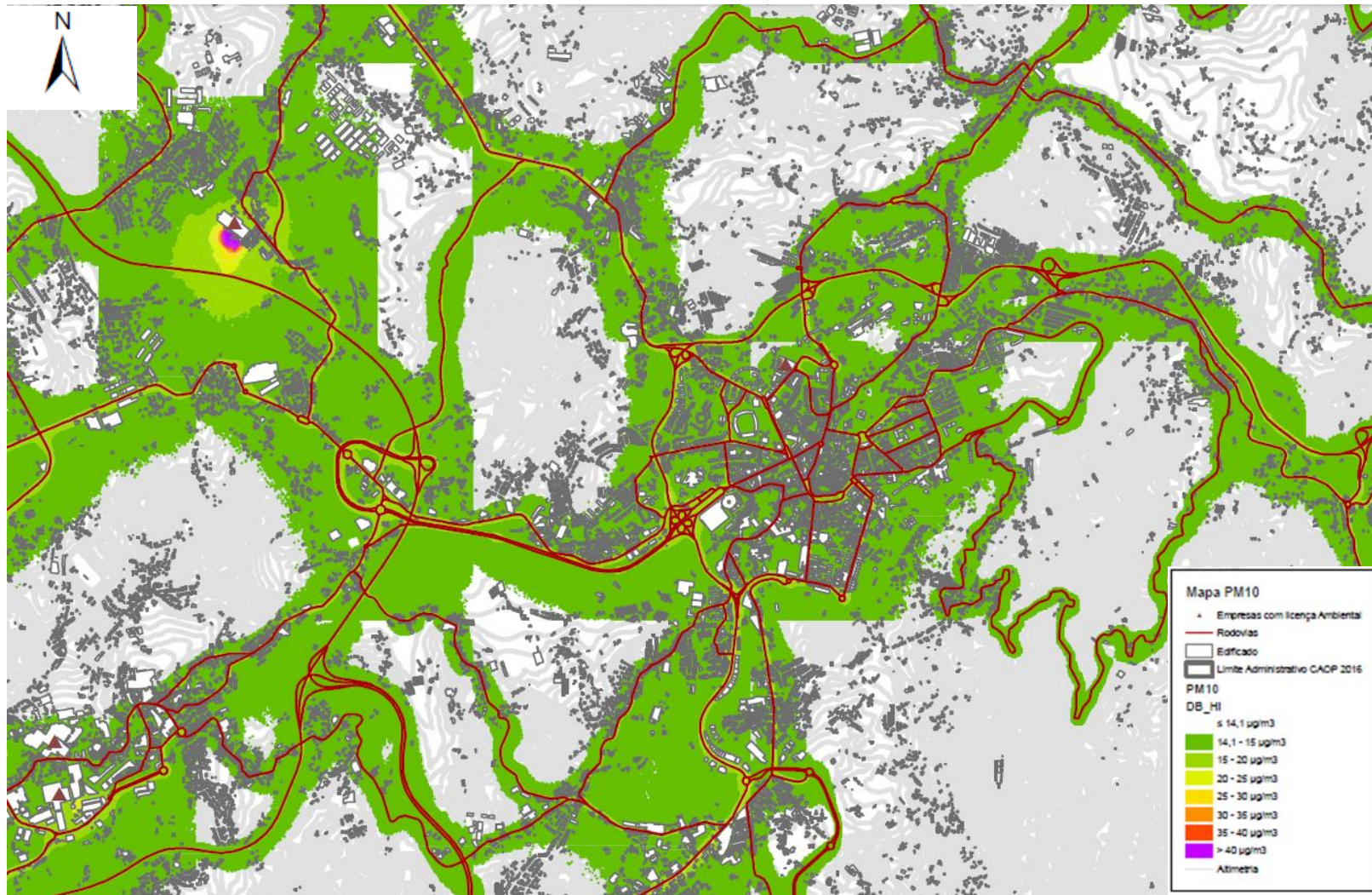


Figura 14. Mapa de emissões de PM₁₀ no centro de Guimarães

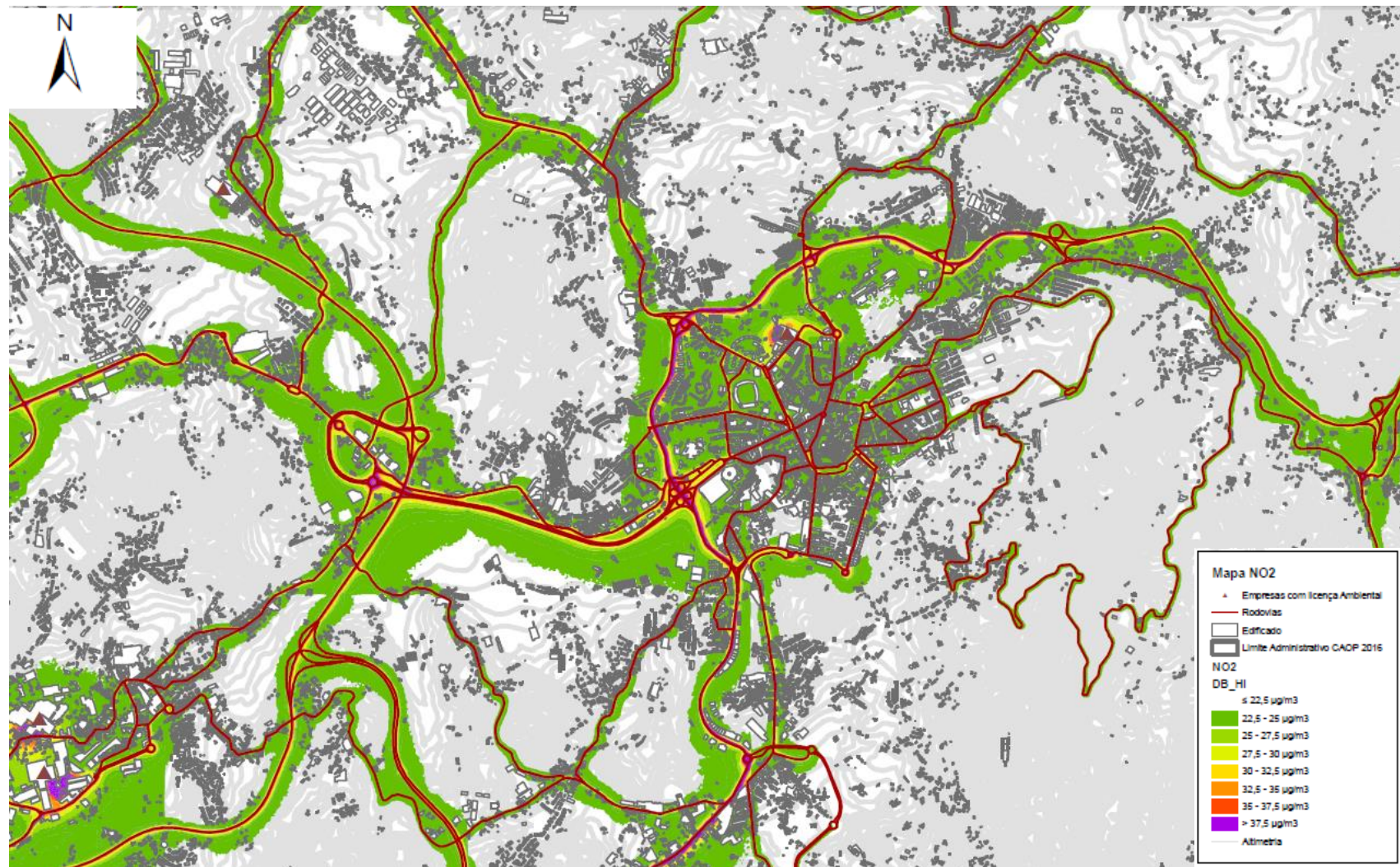


Figura 15. Mapa de emissões de NO₂ no centro de Guimarães

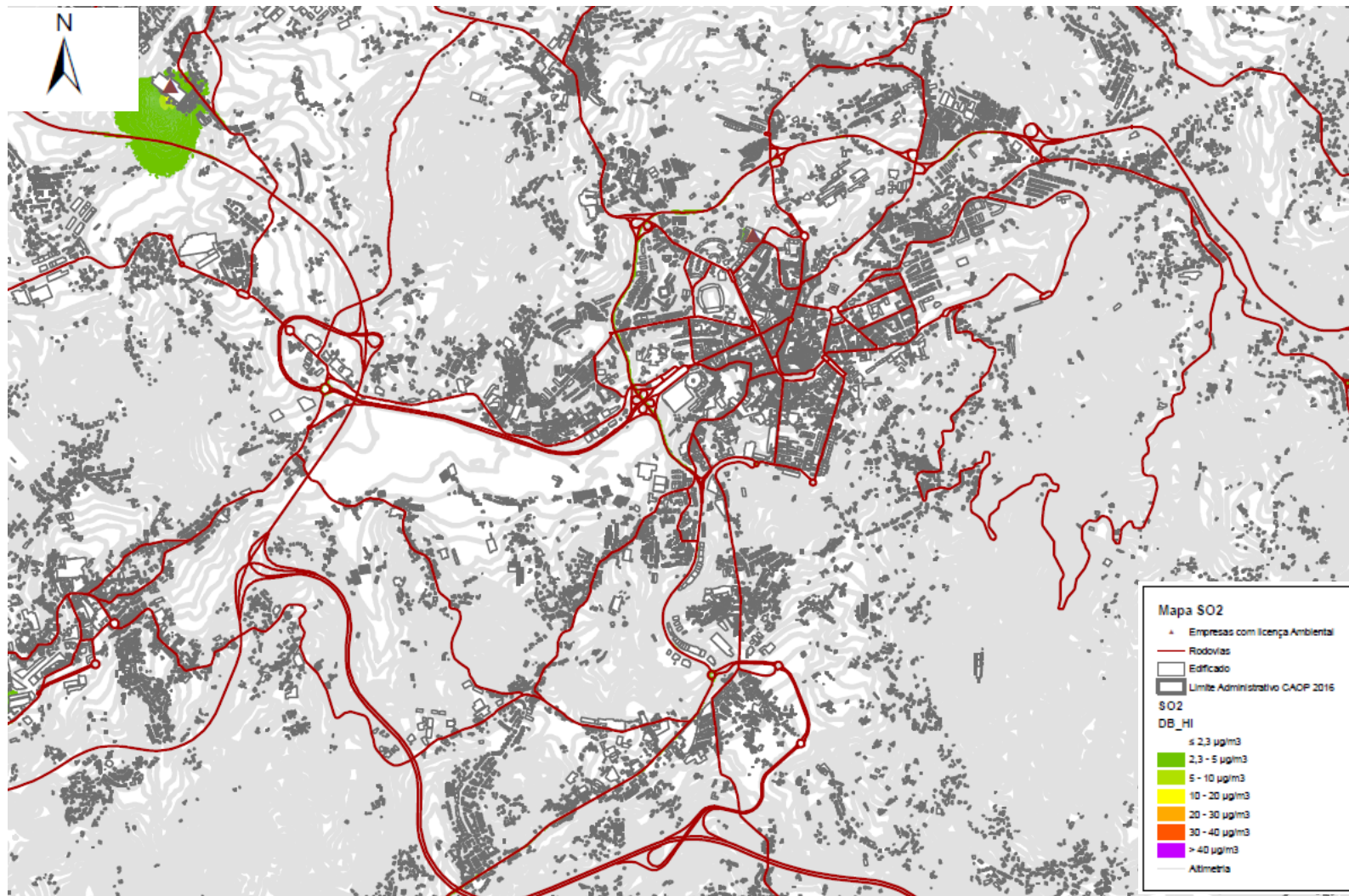


Figura 16. Mapa de emissões de SO₂ no centro de Guimarães

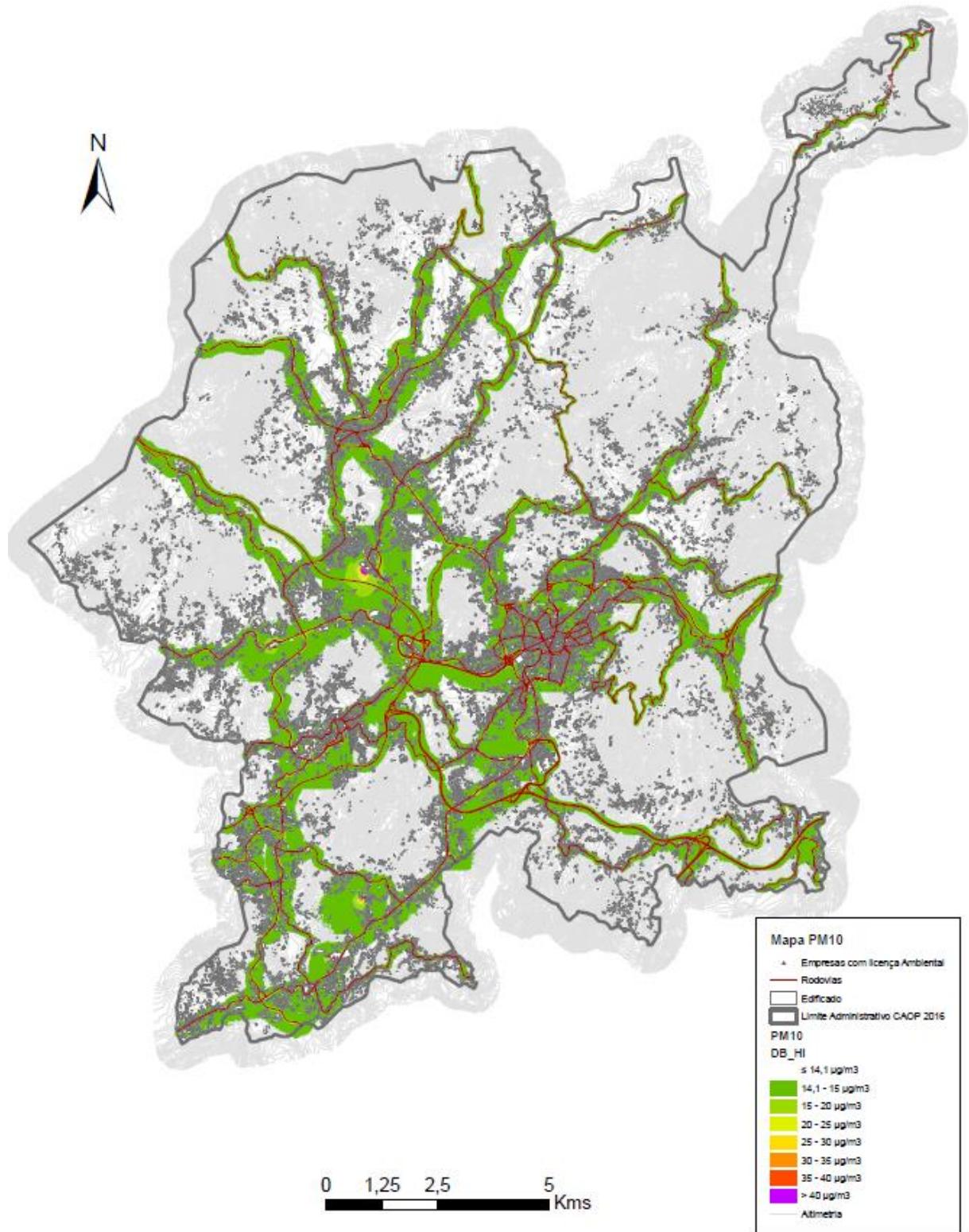


Figura 17. Mapa de concentrações de PM₁₀ no concelho de Guimarães

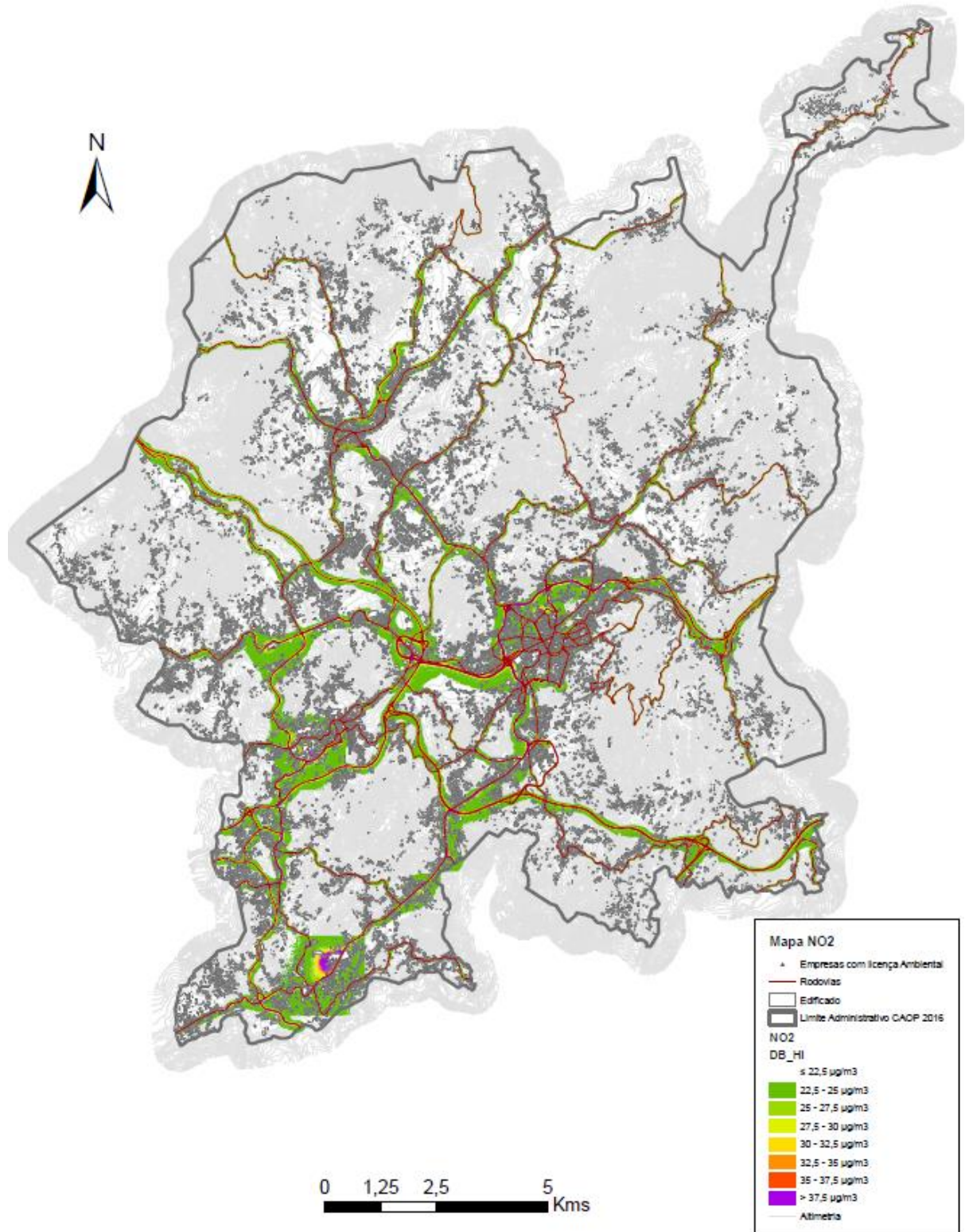


Figura 18. Mapa de concentrações de NO₂ no concelho de Guimarães

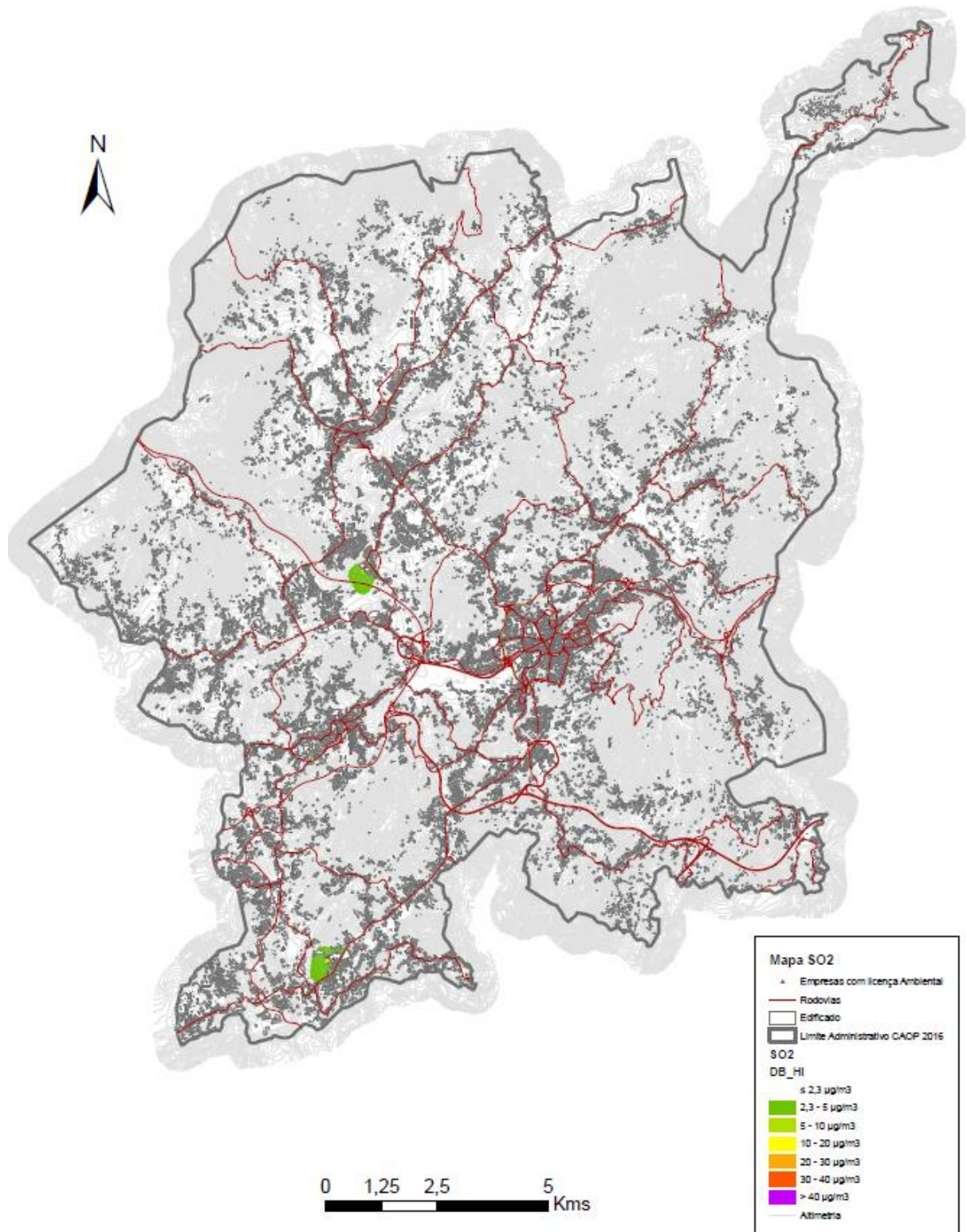


Figura 19. Mapa de concentrações de SO₂ no concelho de Guimarães

6.4 Análise dos resultados

Os Mapas de Poluentes do concelho de Guimarães podem ser visualizados nas Peças Desenhadas em Anexo que fazem parte integrante deste relatório.

Os mapas de poluentes do concelho permitem identificar situações prioritárias a integrar em futuros planos de melhoria da qualidade do ar. Esta identificação resulta da análise de conformidade com o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, recentemente alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015, de 27 de março, realizada a partir dos mapas de poluentes.

As principais fontes de poluentes em Guimarães são devidas ao tráfego automóvel e, com menor expressão, devidas à atividade industrial. Decorrente da estrutura policêntrica do município, entre o núcleo urbano e as várias vilas, são gerados um conjunto de movimentos pendulares. Os padrões de mobilidade entre as 9 vilas do concelho de Guimarães (São Torcato, Caldelas, Ponte, Brito, Ronfe, Selho, Serzedelo, Lordelo e Moreira de Cónegos) com origem e destino na cidade de Guimarães são variáveis. No que concerne à repartição modal destas deslocações, o modo transporte individual é o mais utilizado, estando em média os valores tipicamente compreendidos entre 80% de viagens em transporte individual e 20% em transporte público. Estes movimentos diários aliados à forte utilização do veículo automóvel privado são a principal fonte de poluição do ar nas imediações dos eixos viários principais.

Os mapas de poluentes atmosféricos desenvolvidos apresentam maioritariamente concentrações inferiores aos valores limite estabelecidos no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015, de 27. Os mapas de poluentes são apresentados para o centro da cidade de Guimarães (Figuras 14, 15 e 16) e para a totalidade do território municipal (Figuras 17, 18 e 19).

Todavia, Guimarães apresenta algumas áreas com concentrações de poluição mais elevada, particularmente nas zonas próximas dos principais eixos de tráfego rodoviário.

Os mapas de poluentes foram desenvolvidos para o concelho, e por essa razão, foram consideradas as fontes de emissão fixas, fontes de emissão móveis mais impactantes e fontes dispersas. Ressalta-se que as instalações industriais de pequeno porte e outros setores de atividade industrial com algum potencial poluente, não fizeram parte do escopo quantificado. Essas fontes fixas não foram contabilizadas devido à falta de informação/acesso aos dados necessários e/ou ausência de Licença Ambiental. O mesmo se aplica na contabilização das fontes

móveis, não considerando a contribuição de pequenas fontes, como a poluição proveniente de estradas ou caminhos municipais com pouco tráfego, as quais não têm relevância à escala municipal.

A poluição de fundo aplicada aos mapas considerou os níveis de poluição representativos da exposição média anual da população em geral no concelho, mostrando os níveis de contribuição combinada de todas as fontes de emissões. Os níveis de concentração de fundo dos poluentes PM_{10} , NO_2 e SO_2 considerados encontram-se entre 37% e 53% face às concentrações médias anuais monitorizadas na estação urbana de tráfego Cónego Dr. Manuel Faria-Azurém.

As concentrações médias de SO_2 (Figura 16) são mais baixas na cidade, pois esta espécie poluente é essencialmente devida a fontes industriais.

A contribuição das fontes fixas incidiu pontualmente na cidade de Guimarães, nas zonas com indústrias instaladas. As concentrações médias de PM_{10} e SO_2 (Figura 14 e 16) revelam-se mais elevadas nas zonas de influência direta da indústria TMG Plásticos. O poluente NO_2 (Figura 15) possui concentrações mais elevadas na envolvente da indústria Francisco Vaz.

Ao nível do município, o poluente PM_{10} proveniente de fontes móveis, como seria de esperar, apresenta concentrações médias uniformemente localizadas ao longo das vias de maior fluxo de tráfego (Figura 17). As principais vias de tráfego identificadas são as autoestradas A7 e A11, e estradas nacionais de interligação entre o centro, as vilas e municípios vizinhos. Entretanto, os valores mais elevados de concentração deste poluente são observados sob a influência direta das fontes fixas, pontualmente localizadas no município. As instalações industriais com maior influência nas emissões de PM_{10} são nomeadamente: TMG Plásticos, Domingos Souza, TMG Têxtil e Lameirinho. Contudo, as concentrações deste poluente no município encontram-se na generalidade em conformidade com os limites legais. As emissões atmosféricas de PM_{10} de origem antropogénica caracterizam-se essencialmente pela queima de combustíveis fósseis (veículos automóveis e outros processos industriais).

Relativamente ao Mapa do poluente NO_2 , ilustrado na Figura 18, verifica-se o efeito das fontes móveis, semelhante à distribuição de PM_{10} , com valores de concentração superiores ao longo das principais vias de tráfego (autoestradas e estradas nacionais de interligação). Relativamente à contribuição das emissões industriais, as maiores concentrações de NO_2 são devidas às seguintes instalações industriais: Moregor Energia, Coelima, Lameirinho e TMG Têxtil. As concentrações médias anuais de NO_2 encontram-se próximas do valor limite, e pontualmente, o

contributo das fontes fixas geram situações de ultrapassagem dos limites previstos na legislação ($> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para proteção da saúde humana.

O poluente SO_2 é emitido especialmente por fontes fixas industriais, verificando-se que as concentrações mais elevadas centram-se nas proximidades das instalações industriais. As empresas com maior influência gerando maiores concentrações evidentes no Mapa de SO_2 (Figura17) são a Moregor Energia e TMG Plásticos, embora os valores de concentração encontrados não ultrapassem os limites estabelecidos na lei. A emissão de SO_2 está diretamente relacionada com equipamentos industriais de combustão. Porém, devido à substituição gradativa da matriz energética (gás natural) nas empresas, observada nos últimos anos, as emissões de SO_2 têm vindo a diminuir de modo significativo. O contributo das fontes móveis nas emissões de SO_2 é ainda menos significativo, pelo que, como se pode observar no Mapa de SO_2 , a concentração deste poluente nas imediações das vias é baixa.

Exposição aos poluentes atmosféricos:

O cálculo da área e população exposta aos poluentes estudados foi feita em ambiente SIG e contou com os seguintes instrumentos: base geográfica do concelho, mapas de concentração de poluentes e a população georeferenciada a partir de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (CENSOS2011).

A utilização do modelo de dispersão Cadna permitiu o cálculo das concentrações de PM_{10} , NO_2 e SO_2 provenientes de fontes fixas (indústrias) e móveis (tráfego rodoviário) e dispersas (poluição de fundo). O tratamento e análise de resultados das concentrações dos poluentes atmosféricos calculados no modelo de dispersão recorreram ao ArcGIS. Os dados da população foram introduzidos no ArcGIS e sobrepostos com os mapas de poluição atmosférica de forma a permitir o cálculo da população e área expostos às várias concentrações de poluentes atmosféricos. Os resultados obtidos podem ser observados nas Tabelas 17, 18 e 19.

Uma breve análise das concentrações médias do poluente PM_{10} revela que 96% da área concelhia encontra-se exposta a concentrações baixas, apresentando concentrações abaixo de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em aproximadamente $233,467 \text{ km}^2$ de território. Consta-se ainda que apenas, aproximadamente, 0,01% da área municipal ($0,013 \text{ km}^2$) transpõe o valor limite de proteção da saúde humana para o poluente PM_{10} , isto é, acima de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 17. Área exposta a PM₁₀

Intervalo de concentrações (µg/m ³)	Áreas (km ²)	% Área Total
≤ 14,1	172,578	71,6%
]14,1;15]	60,899	25,3%
]15;20]	7,123	2,956%
]20;25]	0,291	0,121%
]25;30]	0,036	0,015%
]30;35]	0,007	0,003%
]35;40]	0,004	0,002%
> 40	0,013	0,005%

Analisando as concentrações de NO₂, apenas 0,17% da área municipal (0,418 km²) transpõe o valor limiar de protecção da saúde humana para o poluente NO₂ previsto, isto é, acima de 40 µg/m³. Na Tabela 18 são listadas as respetivas classes de exposição, constatando-se que essa ultrapassagem afeta uma área insignificante face à totalidade do concelho de Guimarães.

Tabela 18. Área exposta a NO₂

Intervalo de concentrações (µg/m ³)	Áreas (km ²)	% Área Total
≤ 22	205,647	85,349%
]22;25]	27,138	11,283%
]25;30]	5,427	2,256%
]30;35]	1,757	0,730%
]35;40]	0,562	0,234%
> 40	0,418	0,174%

No que se refere o poluente SO₂, todo o território vimaranense (240,95 km²) encontra-se abaixo dos limites legais preconizados pela legislação portuguesa.

Tabela 19. Área exposta a SO₂

Intervalo de concentrações (µg/m³)	Áreas (km²)	% Área Total
≤ 2,3	240,01002	99,6101%
]2,3;5]	0,91419	0,3794%
]5;10]	0,01878	0,0078%
]10;20]	0,00456	0,0019%
]20;30]	0,000896	0,0004%
]30;40]	0,000538	0,0002%
> 40	0,000548	0,0002%

7. CARTA DA QUALIDADE DO AR DE GUIMARÃES

A fim de identificar as áreas/grupos mais sensíveis e quantificar a exposição dessas zonas aos poluentes atmosféricos, foi desenvolvido um indicador de síntese da qualidade do ar - CityAir. A Carta da Qualidade do Ar de Guimarães assenta na associação das concentrações de 3 poluentes atmosféricos típicos de meio urbano ancoradas nos respetivos limites legais, atribuindo-lhes uma classificação qualitativa entre Muito Boa e Muito Fraca.

7.1 CityAir

O indicador síntese da qualidade do ar, CityAir, classifica a qualidade do ar da cidade de Guimarães e varia consoante as concentrações dos 3 poluentes atmosféricos típicos em meio urbano: Partículas (PM₁₀), Dióxido de Azoto (NO₂) e Dióxido de Enxofre (SO₂).

O indicador CityAir compila dados de concentração ao longo do tempo a partir de medições históricas ou, alternativamente, de modelos de simulação matemática para prever a qualidade do ar. As concentrações de poluição do ar de uma cidade são simuladas e os valores para cada ponto ou área são comparados com um limite padrão (o limite legal). Esta comparação gera uma variável "dummy": zero se o limite legal for excedido e unidade se não for.

Para cada área, é considerada para além das concentrações dos poluentes, uma variável binária, que assume o valor 1 no caso da respectiva concentração estar abaixo do limite e o valor zero no caso de haver violação de limite.

Este modelo implementa-se através da Equação 6 que combina uma média ponderada (somatório das concentrações ponderadas pelos pesos) com o efeito absorvente da variável binária de violação ao limite legal (produtório das variáveis binárias):

$$I = \sum_i w_i c_i \times \prod_i v_i \quad [6]$$

Onde:

w_i – é o peso relativo do poluente i ;

c_i – concentração normalizada do poluente i ;

v_i – variável binária de violação do limite para o poluente i ,

em que:

$$v_i = 1 \text{ se } c_i \leq L_i$$

$$v_i = 0 \text{ se } c_i > L_i$$

O modelo proposto utiliza técnicas de multicritério para combinar, agregar e padronizar dados de concentração de poluentes. Os poluentes selecionados para inclusão no índice da cidade podem variar de acordo com o tipo de fonte ou disponibilidade de dados. Foram considerados pesos iguais, o que significa que o valor de 0,33 foi adotado para cada um dos três poluentes em análise (Tabela 20).

Tabela 20. Indicadores de poluição e ponderação aplicados ao CityAir

	Pontuação = 0	Pontuação = 1	Ponderação relativa	Período de média
PM ₁₀	> 40,0 µg/m ³	≤ 20,0 µg/m ³	0.33	Ano civil
NO ₂	> 40,0 µg/m ³	≤ 20,0 µg/m ³	0.33	Ano civil
SO ₂	> 125,0 µg/m ³	≤ 20,0 µg/m ³	0.33	Diária

Aos valores numéricos do índice de qualidade do ar, que variam entre 0.0 e 1.0, são associados a menções qualitativas de qualidade, que variam entre Muito Boa e Muito Fraca, de acordo com a Tabela 21.

Tabela 21. Classificação da qualidade do ar – CityAir

Índice CityAir	Qualidade do Ar
0	Muito Fraca
]0 - 0,33[Fraca
[0,33 - 0,66[Média
[0,66 - 1[Boa
1	Muito Boa

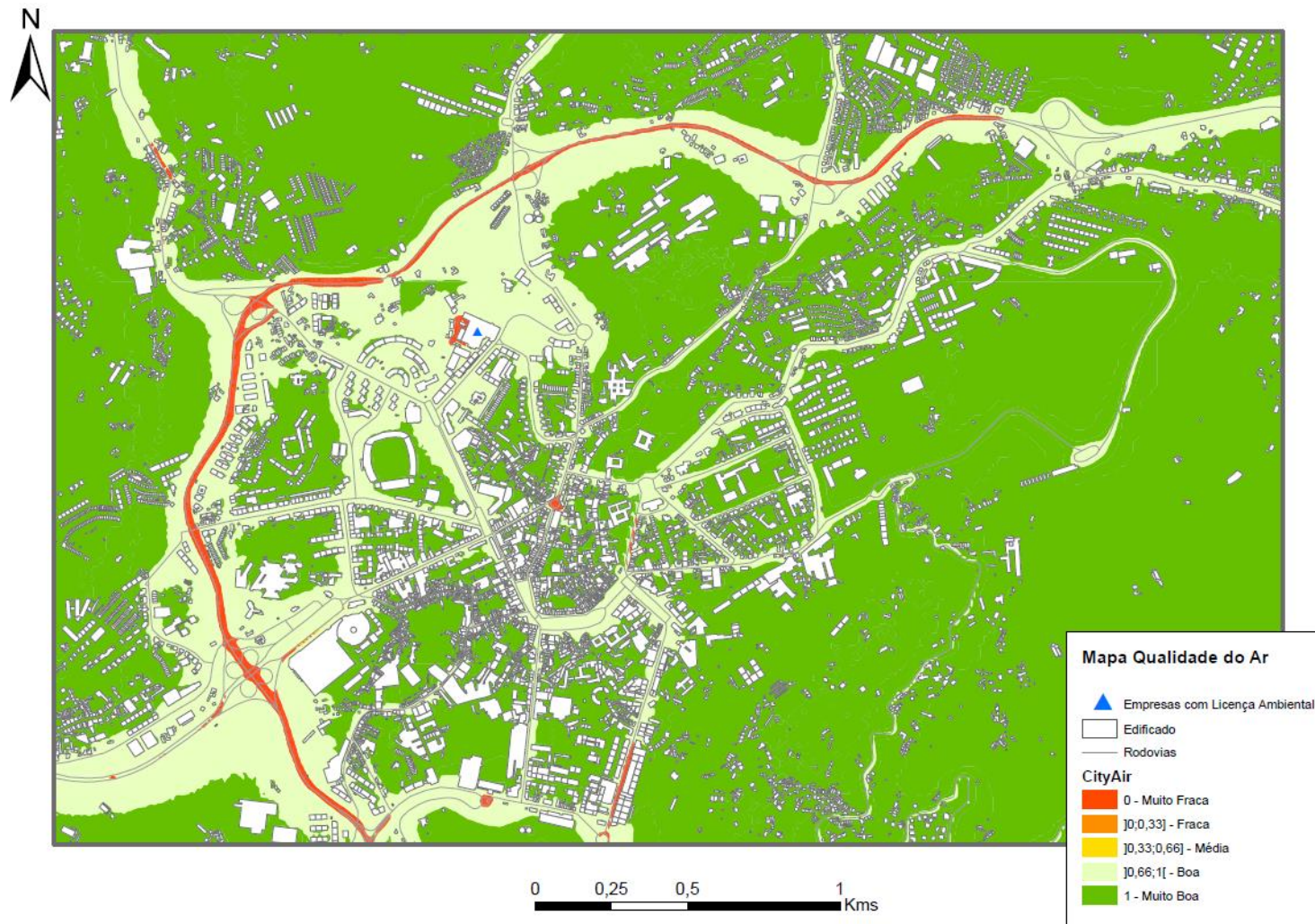







Figura 20. Mapa do índice de qualidade do ar em Guimarães, CityAir

7.2 Resultados obtidos e análise

À semelhança do cálculo anterior, os dados referentes a população foram sobrepostos ao mapa CityAir, de modo a permitir o cálculo da população e área expostos às várias classes de CityAir. Os resultados obtidos listam-se na Tabela 22.

Tabela 22. População exposta ao índice CityAir

CityAir	População	
	Habitantes	%
 Muito Fraca	1760	1,1%
 Fraca	0	0,0%
 Média	2498	1,6%
 Boa	66638	42,1%
 Muito Boa	87228	55,2%

O índice CityAir avalia a qualidade do ar e encontra-se ancorado por via da normalização aos limites estabelecidos na lei para a poluição atmosférica. Os resultados obtidos e representados espacialmente através da carta representada na Figura 20 atesta os resultados obtidos nos mapas de concentrações de cada um dos poluentes avaliados.

O maior contributo da aplicação deste índice CityAir deve-se particularmente ao fato deste associar as concentrações dos três poluentes atmosféricos típicos do meio urbano (PM_{10} , NO_2 e SO_2) aos limites legais de cada uma poluente individualmente, atribuindo um valor único normalizado de 0 a 1. Este índice pode estar associado a uma classificação qualitativa do ar e a um conjunto de impactes genéricos na saúde humana. O CityAir é um índice sumário da qualidade do ar, fácil de entender e intuitivo para divulgação e acesso do público em geral.

Os valores de concentrações dos três poluentes atmosféricos quando combinados através do índice de qualidade do ar – CityAir demonstram que, globalmente, o concelho de Guimarães apresenta índices de qualidade de ar maioritariamente Boa e Muito Boa. A Carta de Qualidade do Ar representado na Figura 20 revela no entanto a existência de algumas zonas problemáticas ou potencialmente

problemáticas, nomeadamente nas seguintes zonas envolventes a: Circular Urbana, Variante de Creixomil, Centro Hospital do Alto Ave - Unidade de Guimarães, Alameda Dr. Mariano Felgueiras, Avenida Alberto Sampaio e Avenida D. João IV.

Analisando a qualidade do ar do concelho recorrendo ao índice CityAir, verifica-se que na sua maioria se apresenta Muito Boa (55,2%) e Boa (42,1%). Adicionalmente é possível constatar que 98,9% dos seus habitantes (153866) estão expostos a uma qualidade de ar que cumpre os limites legais estabelecidos em Portugal.

Por outro lado, 1,1% dos habitantes vimaranenses (1760) encontram-se expostos a um nível de qualidade do ar Muito Fraca.

8. CONCLUSÕES

O Mapa de Poluentes do Concelho de Guimarães é um mapa à escala concelhia, pelo que considera todas as fontes de poluição atmosférica de interesse a essa escala. A análise de áreas expostas está somente sob a influência das fontes consideradas no modelo. Isto é, não considera de uma forma explícita a contribuição de pequenas fontes, como por exemplo, estradas ou caminhos municipais com pouco tráfego. Estas fontes foram contabilizadas no modelo como fontes dispersas através da introdução de poluição de fundo.

Fazendo uma análise à escala municipal verifica-se que, como seria de esperar, em relação aos poluentes estudados, todos eles considerados de origem primária, as principais áreas contaminadas, correspondem às áreas na proximidade das vias com maior fluxo de tráfego e com velocidades de circulação mais elevadas, a saber, troços das autoestradas A7 e A11, as estradas nacionais que fazem a interligação entre o núcleo urbano, as vilas e os municípios vizinhos (EN 101, EN 105, EN 206 e EN 310), a EM 270-4 e Via InterMunicipal (VIM).

No núcleo urbano, as vias identificadas como as principais fontes de poluição do ar são a Variante de Creixomil e Circular Urbana. Estas vias registaram nos últimos anos um aumento de fluxo de tráfego, principalmente a Circular Urbana. Este aumento deve-se particularmente à redução do tráfego de atravessamento pelas vias internas da cidade através da implementação de medidas de redução de tráfego no centro da cidade de Guimarães. Como resultado, a zona central da cidade tem atualmente uma qualidade do ar melhorada.

No núcleo urbano, as principais zonas com concentrações de poluentes mais elevadas são: Envolvente da Circular Urbana, Envolvente da Variante de Creixomil, Zona do Centro Hospital do Alto Ave - Unidade de Guimarães, Zona do Tournal, Alameda de São Dâmaso e Largo República do Brasil e envolvente da Rua Padre António Caldas, Alameda Dr. Mariano Felgueiras, Avenida Alberto Sampaio e Avenida D. João IV.

A situação registada nas vilas é variável e depende do tipo de fonte de emissões de poluentes.

As vilas com níveis de qualidade do ar mais baixos, considerando a contribuição do tráfego rodoviário são, por ordem decrescente, as vilas de Serzedelo, Caldelas, Brito, Selho (São Jorge), Lordelo e Ponte. As vilas de Ronfe, Moreira de Cónegos e São Torcato são as que apresentam uma melhor qualidade do ar.

As vilas com níveis de qualidade do ar mais baixos, considerando a contribuição das indústrias com licença ambiental são, por ordem decrescente, as vilas de

Selho (São Jorge), Moreira de Cónegos, Ronfe e Ponte. Nas restantes vilas não se encontram lá sediadas nenhuma empresa com licença ambiental.

Em Selho (São Jorge), uma das vilas mais industrializadas do concelho, apresenta contribuições importantes de poluição do ar de origem industrial, destacando-se as indústrias do ramo têxtil lar (Lameirinho e Coelima). Para além das fontes de poluição do ar de origem industrial, existem também fontes de origem rodoviária na vila, os troços da EN 310 e as vias com acesso à variante de Creixomil.

Lordelo e Moreira de Cónegos têm problemas de qualidade do ar junto às vias de atravessamento da vila, nomeadamente a EN 105, com ligações ao Porto e ao município vizinho de Santo Tirso e à VIM, com ligações a Vizela e Felgueiras e nas proximidades da indústria Moregor.

Nas vilas de Ronfe e Brito as principais fontes de poluição do ar são de origem rodoviária (atravessamento do troço da autoestrada A11 e das estradas nacionais 206 e 310) e industrial (Somelos e TMG).

A vila de Ponte possui uma forte presença industrial (Zona Industrial da Ponte, principalmente) gerando fluxo elevado de tráfego de pesados e é atravessada pela EN 101.

O território da vila de Serzedelo é atravessado por vias com tráfego intenso, o acesso à A7, troço da A7, VIM e EN 310, gerando níveis de qualidade do ar mais baixos.

A vila de Caldelas é atravessada pela EN 101, a estrada nacional com fluxo de tráfego mais elevado do concelho. Esta importante via é o principal acesso ao município vizinho de Braga por estrada não concessionada. Outras vias importantes de acesso geradoras de poluição do ar são a EN 310 com ligação à Póvoa de Lanhoso e as vias de acesso ao AvePark e Zona Industrial do Barco.

A vila de São Torcato é a que apresenta melhor qualidade do ar. Não se registam fontes de tráfego elevadas nem indústrias prejudiciais para a qualidade do ar.

9. NOTAS FINAIS

Os Mapas de Poluentes e a Carta da Qualidade do Ar (CityAir) inserem-se num plano mais abrangente o "*Plano de Gestão da Qualidade do Ar em Guimarães*" que deverá assegurar o conforto dos seus habitantes e dos turistas que visitam a cidade todos os anos, assegurando as seguintes metas e objectivos em âmbito municipal:

- Garantir o cumprimento dos objetivos estabelecidos ao nível da UE em termos de qualidade do ar ambiente, os quais visam evitar, prevenir ou limitar efeitos nocivos dos diferentes poluentes atmosféricos na saúde humana e no ambiente;
- Avaliar a qualidade do ar ambiente em todo o território municipal, com especial incidência nos centros urbanos;
- Preservar a qualidade do ar nos casos em que esta seja boa e melhorá-la nos restantes casos;
- Promover e melhorar o acesso do público à informação sobre qualidade do ar, nomeadamente informando da previsão das suas concentrações, e as consequências na saúde humana devido à sua exposição.

Inserido nas Políticas adotadas pelo Município para Preservar a qualidade do ar nos casos em que esta é boa e melhorá-la nos restantes casos, o Plano de Gestão da Qualidade do Ar, deverá compreender as seguintes metas:

- **Monitorização** (avaliação regular) da Qualidade do Ar em Guimarães incluindo atualização e controlo regular das fontes poluentes através da Matriz Poluente de Guimarães. Criação de um sistema de monitorização da qualidade do ar constituído por estações fixas e uma unidade móvel, associadas a um sistema de informação e aviso à população;
- **Criação, proteção e controlo de Zonas de Baixas Emissões** segundo as metas da OMS (Zona de Baixa Emissão Urbanas e Zonas Tranquilas Verdes localizadas em zonas urbanas). Criação das ZBE e desenvolvimento de um plano gestão dedicado;

- Aliando **o conhecimento à Gestão do território** apostando na **Inovação**, a CMG e a UM estão a desenvolver um tipo de estruturas funcionais tendo em vista o condicionamento de espaços urbanos. Estas estruturas terão um sistema de monitorização e de comunicação associado através de materiais funcionais veiculando informação sobre a Qualidade Ambiental Urbana.
- **Vigilância dos Grupos Vulneráveis da população à poluição do ar**
- **Criação de sistemas de alerta da população quando se verificam situações de níveis de poluição elevados.** Criação de uma plataforma de informação ao público sobre os níveis de qualidade do ar (por exemplo, páginas web, ecrãs de informação) a fim de aumentar a consciência pública e uma mudança de comportamento.
- **Envolvimento com a sociedade** - Implementação de um Código de Boas Práticas e sensibilização, informação e participação pública.

Referências

- Agência Portuguesa do Ambiente. Formulário Único SIRAPA - Manual de Apoio ao Preenchimento do Formulário PRTR - Emissões de Combustão - Determinação de emissões ar por fatores de emissão, 2015.
- Agência Portuguesa do Ambiente. URL: (<http://qualar.apambiente.pt/index.php?page=2&day=24&month=11&year=2016&x=10&y=0>, 2016)
- Agência Portuguesa do Ambiente. Licenças Ambientais emitidas. (<http://ladigital.apambiente.pt/>, 2016).
- Agência Portuguesa do Ambiente. Sistema de Informação sobre Avaliação de Impacte Ambiental. (<http://siaia.apambiente.pt/>, 2016).
- Agenda 21 do Eixo Atlântico – Local. Complexidade - Mais cidade, mais campo. Publisher: A'21 Eixo, Guimarães, 2005.
- APA, 2009. Emissões de Poluentes Atmosféricos por Concelho. Amadora. Novembro de 2011.
- APA, 2014. Portuguese Informative Inventory Report 1990 – 2014 - Submitted under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Amadora. Maio de 2016.
- APA, 2016. Relatório do Estado do Ambiente 2015.
- APA, 2016. Estratégia Nacional para o AR 2020 – Enquadramento e Diagnóstico. Março, 2015.
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.: *Inventário de emissões de poluentes atmosféricos na região Norte - Relatório Final (Ação 3)*, 2014;
- DataKustik. URL: <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa/extensions/apl-air-pollutants/>.
- EEA, 2014. Air quality in Europe – 2014 report, European Environment Agency. (<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>).
- EMEP/CORINAIR, 2002. Emission Inventory Guidebook - 3rd edition.
- EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles, update Sept 2014.
- EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2016. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles.
- EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2016. Small combustion.
- EMEP/EEA, 2009. Air Pollutant Emission Inventory Guidebook — 2009 (Update May 2012): <http://eea.europa.eu/emep-eea-guidebook>.
- European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Luxembourg;

- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. URL: <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie/#Braga,Merelim>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Environment Agency's Science Programme. Science Report: Review of methods for NO to NO2 conversion in plumes at short ranges, 2007. (www.environment-agency.gov.uk)

ANEXOS- Peças Desenhadas