



Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciência e Tecnologia

CIAGEB - Centro de Investigação em Alterações Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia

GAEA - Grupo de Ambiente e Ecologia Aplicada

MODELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA CIDADE DO PORTO

02- GAEA

Novembro/2007



Equipa Técnica

Tânia Fontes

Coordenação

Prof. Doutor Nelson Barros



ÍNDICE

Agradecimentos	8
Sumário executivo	9
1. Introdução	10
3. Estimativas das emissões	13
3.1. Emissões de fontes em área	14
3.1.1. Análise das emissões por sector de actividade.....	16
3.1.2. Análise das emissões por freguesia	18
3.2. Emissões de fontes em linha	26
3.2.1. Análise dos resultados	30
3.3. Emissões de fontes pontuais.....	37
4. Modelação da qualidade do ar	40
4.1. Modelo	40
4.2 Metodologia	42
4.3 Análise de resultados.....	44
5. Referências	50

Anexos

Anexo I - Análise de tráfego na VCI. Resultados da campanha de 30/03 a 05/04/2004.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Densidade populacional no domínio de estudo.	12
Figura 2 - Metodologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> (adaptado de Baldasano, 1998). ...	13
Figura 3 - Modelo de emissões ARLIPE (adaptado de Fontes et al, 2007).	14
Figura 4 - Metodologia <i>top-down</i> usada no cálculo das emissões em área.	15
Figura 5 - Emissões de SO _x de fontes em área por actividade em 2004 no concelho do Porto.	17
Figura 6 - Emissões de NO _x de fontes em área por actividade em 2004 no concelho do Porto.	17
Figura 7 - Emissões de CO de fontes em área por actividade em 2004 no concelho o Porto.	17
Figura 8 - Emissões de COVNM de fontes em área por actividade em 2004 concelho do Porto.	17
Figura 9 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO _x provenientes do sector da indústria e de produção de energia para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	18
Figura 10 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO _x provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	20
Figura 11 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO _x provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residências para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	21
Figura 12 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO _x provenientes do sector de actividade da agricultura, floresta e pescas para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	22
Figura 13 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO _x para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	23
Figura 14 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente SO _x para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	24
Figura 15 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente CO para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	24
Figura 16 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente COVNM para o ano de referência de 2004 (Gg.km ⁻²).	25



Figura 17 - Metodologia <i>bottom-up</i> usada no cálculo das emissões em linha no modelo ARLIPE (Fontes et al, 2007).	28
Figura 18 - Localização dos contadores de tráfego do sistema SIGA e das vias de tráfego em análise: VCI.	29
Figura 19 - Resultados do FEP para o poluente CO em função da velocidade.	31
Figura 20 - Resultados do FEP para o NO _x em função da velocidade.	32
Figura 21 - Resultados do FEP para o poluente COV em função da velocidade.	32
Figura 22 - Resultados do FEP para o poluente PM em função da velocidade.	33
Figura 23 - Emissão de NO _x para a VCI por categoria de veículo (kg.h ⁻¹).	34
Figura 24 - Emissão de COV para a VCI por categoria de veículo (kg.h ⁻¹).	34
Figura 25 - Emissão de CO para a VCI por categoria de veículo (kg.h ⁻¹).	35
Figura 26 - Emissão de PM para a VCI por categoria de veículo (kg.h ⁻¹).	35
Figura 27 - Localização das indústrias identificadas pelo EPER com emissões atmosféricas no domínio de estudo e áreas envolventes (http://www.eper.cec.eu.int/).	37
Figura 28 - Interface do modelo TAPM.	41
Figura 29 - Domínio de estudo.	42
Figura 30 - Concentração média horária de SO ₂ no domínio de estudo para o ano de 2004 (µg.m ⁻³).	44
Figura 31 - Concentração média horária de NO ₂ no domínio de estudo para o ano de 2004 (µg.m ⁻³).	45
Figura 32 - Concentração média octo-horária de CO no domínio de estudo para o ano de 2004 (µg.m ⁻³).	46



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - População residente, população activa e área das freguesias do concelho do Porto (CENSOS, 2001).....	12
Tabela 2 - Metodologia de desagregação usada.....	15
Tabela 3 - Emissões por sector de actividade para o concelho do Porto para o ano 2004 (Gg).....	16
Tabela 4 - Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector da indústria e da produção de energia para o ano de referência de 2004 (Gg).	19
Tabela 5 - Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2004 (Gg).	20
Tabela 6 - Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector do comércio, instituições e residências para o ano de referência de 2004 (Gg).	22
Tabela 7 - Emissões totais para o concelho do Porto por freguesia e poluente para o ano de referência de 2004 (Gg).	25
Tabela 8 - Número médio diário de veículos em 2004 nas vias de tráfego consideradas (Barros et al., 2005).	29
Tabela 9 - Parâmetros tidos em conta para a estimativa das emissões em linha na VCI (http://www.autoinforma.pt/ ; ACAP (2001); CENSOS 2001).	30
Tabela 10 - Resultados das emissões de NO _x das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.....	35
Tabela 11 - Resultados das emissões de CO das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.....	36
Tabela 12 - Resultados das emissões de COV das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.....	36
Tabela 13 - Resultados das emissões de PM das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.....	36
Tabela 14 - Emissões atmosféricas das indústrias identificadas pelo EPER no domínio de estudo (http://www.eper.cec.eu.int/).	38
Tabela 15 - Peso relativo das fontes em área no concelho do Porto face às fontes pontuais.....	39



Tabela 16 - Concentração média ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) registada na estação de Vila Nova da Telha entre os anos de 2000 e 2004 inclusive, para SO_2 , NO_x e CO 43



Agradecimentos

À FCT, do Ministério da Ciência e Ensino Superior, e ao Fundo Social Europeu, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio o financiamento do projecto “ImpactAir - Impacte na qualidade do ar e na saúde das grandes linhas de tráfego urbano; O caso da VCI” (Refª POCTI/ESP/47806/2002), bem como a bolsa de Tânia Fontes (Refª SFRH/BD/19027/2004).

Especial agradecimento à Câmara Municipal do Porto, nomeadamente à Sala de Controlo de Tráfego, pela cedência dos dados de contagens de tráfego e à divisão de Ambiente.

Sumário executivo

Este estudo é uma primeira abordagem de um longo caminho a percorrer para a estimativa e gestão da qualidade do ar na cidade do Porto. Nesta primeira fase, foi efectuada a caracterização da qualidade do ar da cidade do Porto e sua envolvente para o ano de referência de 2004 tendo como indicadores os níveis na atmosfera de dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de azoto (NO_2) e monóxido de carbono (CO). Para a precursão desta tarefa, foi fundamental a elaboração de um inventário de emissões para o domínio de estudo, onde foram estimadas/consideradas as emissões em área, em linha e pontuais. Nas fontes em área foram incluídas todas as emissões difusas, com uma distribuição considerada homogénea, podendo incluir fontes de pequena dimensão e/ou dificilmente identificáveis. Nas fontes em linha, de um modo geral associadas às fontes móveis, como sejam o tráfego rodoviário, foi analisada a Via de Cintura Interna (VCI). Por último, nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao domínio de estudo e respectiva área envolvente. Este inventário foi elaborado considerando, não só os poluentes SO_x , NO_x e CO, como também os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM - um dos precursores da formação de ozono superficial).

No caso das emissões das fontes consideradas em área, o trabalho foi elaborado considerando as emissões produzidas em quatro sectores de actividade: industria e produção de energia; transportes rodoviários; comércio, instituições e zonas residenciais; e agricultura, floresta e pescas. Para a estimativa das emissões por freguesia para os diferentes sectores de actividade considerados, teve-se em conta dados das emissões nacionais, consumos dos diferentes tipos de combustível por concelho e distribuição da população e respectiva actividade, por freguesia.

As estimativas das emissões das fontes em área mostram que o sector dos transportes rodoviários são responsáveis em média por mais de 50 % das emissões de NO_x , CO e COVNM na cidade do Porto. As emissões de SO_2 , por seu lado, são essencialmente provenientes do sector industrial e de produção de energia (90 %).

Relativamente às fontes em linha, foram estimadas as emissões de CO, NO_x , COVNM e partículas (PM10) para a Via de Cintura Interna (VCI), com base em factores de emissão ponderados calculados pelo modelo ARLIPE (Area, Line and Point Source Emission Model) (Fontes et al., 2007). Foram tidos em conta diversos factores, tais como: volume de tráfego por categoria de veículo, idade, cilindrada, tara, tipo de combustível, velocidade média de deslocação e factores de emissão e de consumo publicados no Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe/CORRe INventory AIR emissions (EMEP/CORINAIR) (EEA, 2006). Os resultados das emissões em linha para a VCI indicam que os veículos ligeiros de passageiros, em particular pelo seu número, são a categoria de veículos responsáveis pela maior quantidade de emissões. As emissões deste tipo de veículos oscilam, função do tipo de poluente, entre os 50% e os 95% do total das emissões da VCI. Os picos de emissão ocorrem durante o período diurno entre as 10h00 e as 21h00, mantendo-se relativamente constante durante todo o dia, enquanto que os valores mínimos se registam por volta das 05h00. No caso do NO_x e das PM10 a contribuição dos veículos ligeiros e pesados de mercadorias assumem um papel relevante representando cerca de 32% e 50% das emissões, respectivamente. Em termos relativos, a VCI representará em média 16% do total das emissões rodoviárias do concelho.

As emissões provenientes de fontes pontuais são constituídas essencialmente por GEE e por diversos tipos de poluentes. Nesta fase, este tipo de fontes apenas foi integrado na base de dados.

Relativamente à estimativa da qualidade do ar, esta foi realizada por aplicação de um modelo numérico de prognóstico, quer dos parâmetros meteorológicos, quer dos valores de concentração dos diversos poluentes na atmosfera. Nesta fase, tal como foi referido, apenas foram modelados, o SO_2 , o NO_2 e o CO. As estimativas efectuadas foram validadas face aos dados observados nas estações de qualidade do ar do domínio de estudo. Os resultados obtidos permitem desde já afirmar que as freguesias que apresentam maior degradação da qualidade do ar relativamente aos poluentes em análise, são as freguesias de Ramalde e Paranhos. Outro aspecto relevante é a importância para a qualidade do ar da cidade do Porto de algumas das fontes industriais mais relevantes existentes na sua envolvente, em particular a Noroeste.

1. Introdução

Este estudo é a primeira abordagem a um longo caminho a percorrer para a estimativa e gestão da qualidade do ar da cidade do Porto. Nesta primeira fase, foi feita a caracterização da qualidade do ar da cidade do Porto e sua envolvente para o ano de referência de 2004 tendo como indicadores os níveis na atmosfera de dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de azoto (NO_2) e monóxido de carbono (CO). Para a precursão desta tarefa, foi fundamental a elaboração de um inventário de emissões para o domínio de estudo, onde foram estimadas/consideradas as emissões em área, em linha e pontuais. Nas fontes em área foram incluídas todas as emissões difusas, com uma distribuição considerada homogénea, podendo incluir fontes de pequena dimensão e/ou dificilmente identificáveis. Nas fontes em linha, de um modo geral associadas às fontes móveis, como sejam o tráfego rodoviário, foi analisada a Via de Cintura Interna (VCI). Por último, nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao domínio de estudo e respectiva área envolvente. Este inventário foi elaborado considerando, não só os poluentes SO_x , NO_x e CO , como também os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM - um dos precursores da formação de ozono superficial).

Relativamente à estimativa da qualidade do ar, esta foi realizada por aplicação de um modelo numérico de prognóstico, quer dos parâmetros meteorológicos, quer dos valores de concentração dos diversos poluentes na atmosfera. Nesta fase, tal como foi referido, apenas foram modelados o SO_2 , o NO_2 e o CO , tendo as estimativas efectuadas sido validadas face aos dados observados nas estações de qualidade do ar do domínio de estudo e sua envolvente.

Apesar de preliminares, os resultados obtidos permitem desde já afirmar que as freguesias que apresentam maior degradação da qualidade do ar relativamente aos poluentes em análise, são as freguesias de Ramalde e Paranhos. Outro aspecto relevante é a importância para a qualidade do ar da cidade do Porto de algumas das fontes industriais mais relevantes existentes na sua envolvente, em particular a Noroeste.

2. Domínio de estudo

O domínio de estudo é constituído por uma área de 25 km² centrada no concelho do Porto (Figura 1). A razão da inclusão desta área envolvente à cidade do Porto no domínio, prende-se com a importância que esta pode ter, em termos de emissões, na qualidade do ar da cidade. Por esta razão, embora toda a análise se centre essencialmente no concelho do Porto, o mesmo tipo de metodologia, nomeadamente para a estimativa das emissões atmosféricas, foi extensível a mais 10 concelho, considerados no seu todo ou apenas em parte.

Como pode ser observado na Figura 1, embora sendo o concelho mais pequeno da Área Metropolitana do Porto (AMP), o concelho do Porto é o que regista maior densidade populacional, 6 337 hab.km⁻² em 2001, acolhendo cerca de 263 mil habitantes concentrados essencialmente nas freguesias mais centrais da cidade como Cedofeita, Bonfim, Sé e São Nicolau (Tabela 1).

O Porto continua a exercer o papel de centro urbano polarizador no contexto da AMP, sendo local de residência de 25% da população da AMP. No entanto, devido às deseconomias decorrentes do relativo congestionamento residencial e ao acréscimo do custo de aquisição de habitação, têm-se verificado nos últimos anos um movimento residencial para as zonas mais periféricas, principalmente das gerações mais jovens, conduzindo a um decréscimo gradual da densidade populacional na cidade (cerca de 13% de 1991 para 2001). Das suas 15 freguesias, 10 apresentam densidades populacionais muito acima da média da AMP, superiores a 6500 hab.km⁻², sendo esse valor apenas registado em mais duas freguesias da AMP (CENSOS 2001).

A delegação da função residencial nos concelhos vizinhos, porém, não retirou ao concelho do Porto o papel de principal centro empregador da AMP e da disponibilização de um leque alargado de equipamentos e serviços. Por essa razão, o Porto recebe diariamente cerca de 90 000 indivíduos que aí exercem a sua actividade profissional, tornando as deslocações pendulares cada vez mais longas e demoradas (Torres e Pereira, 1999). Os principais eixos de comunicação entre, o interior e o litoral, e o norte e sul do país, cruzam a cidade do Porto, sendo as principais vias a A29 (Porto-Aveiro), a A28 (Porto-Viana), a A3 (Porto-Braga-Valença), o A4/IP4 (Porto-Vila Real-Bragança) e a A1 (Porto-Lisboa).

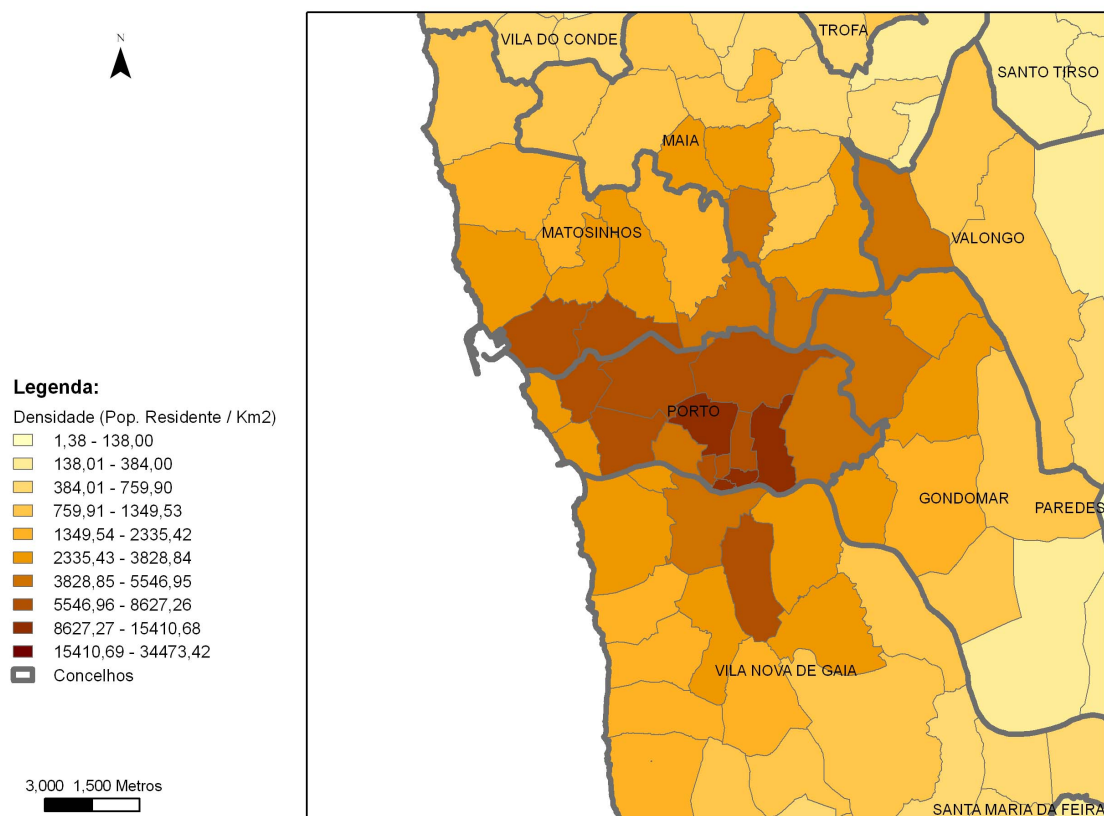


Figura 1 - Densidade populacional no domínio de estudo.

Tabela 1 - População residente, população activa e área das freguesias do concelho do Porto (CENSOS, 2001).

Freguesia	População residente	% População residente relativa ao concelho	População activa	% População activa relativa ao concelho	Área (km ²)	% Área relativa ao concelho
São Nicolau	2 937	1,1	1 120	1,1	0,25	0,6
Sé	4 751	1,8	1 750	1,7	0,49	1,2
Massarelos	7 756	2,9	3 537	3,5	1,94	4,7
Miragaia	2 810	1,1	1 129	1,1	0,43	1,0
Vitória	2 720	1,0	967	1,0	0,33	0,8
Foz do douro	12 235	4,6	5 493	5,4	1,88	4,6
Lordelo do Ouro	22 212	8,4	9 745	9,6	3,64	8,8
Cedofeita	24 784	9,4	11 140	11,0	2,71	6,6
Santo Ildefonso	10 044	3,8	4 028	4,0	1,24	3,0
Bonfim	28 578	10,9	12 254	12,1	3,1	7,5
Campanhã	38 757	14,7	15 380	15,1	8,04	19,5
Nevogilde	5 257	2,0	2 421	2,4	1,84	4,5
Aldoar	13 957	5,3	6 164	6,1	2,41	5,8
Ramalde	37 647	14,3	5 257	5,2	5,83	14,1
Paranhos	48 686	18,5	21 161	20,8	7,17	17,4

3. Estimativas das emissões

Como já anteriormente referido, as emissões de origem antropogénica podem ser consideradas em área, linha e como fontes pontuais e, como tal, ser avaliadas de forma distinta.

Desta forma foram usadas duas metodologias de abordagem (Figura 2):

1. *Top-down*: faz a estimativa das emissões numa região ou unidade administrativa a partir das emissões disponíveis para um nível de agregação superior (ex.: de NUT¹ I para NUT V). Estas emissões são distribuídas para um nível espacial inferior de acordo com determinados parâmetros de ponderação como a densidade de tráfego, densidade populacional, industrial, etc.;
2. *Bottom-up*: consiste em, partindo de dados de base, estimar a emissão total de um determinado poluente numa região ou unidade administrativa associado a uma determinada actividade.

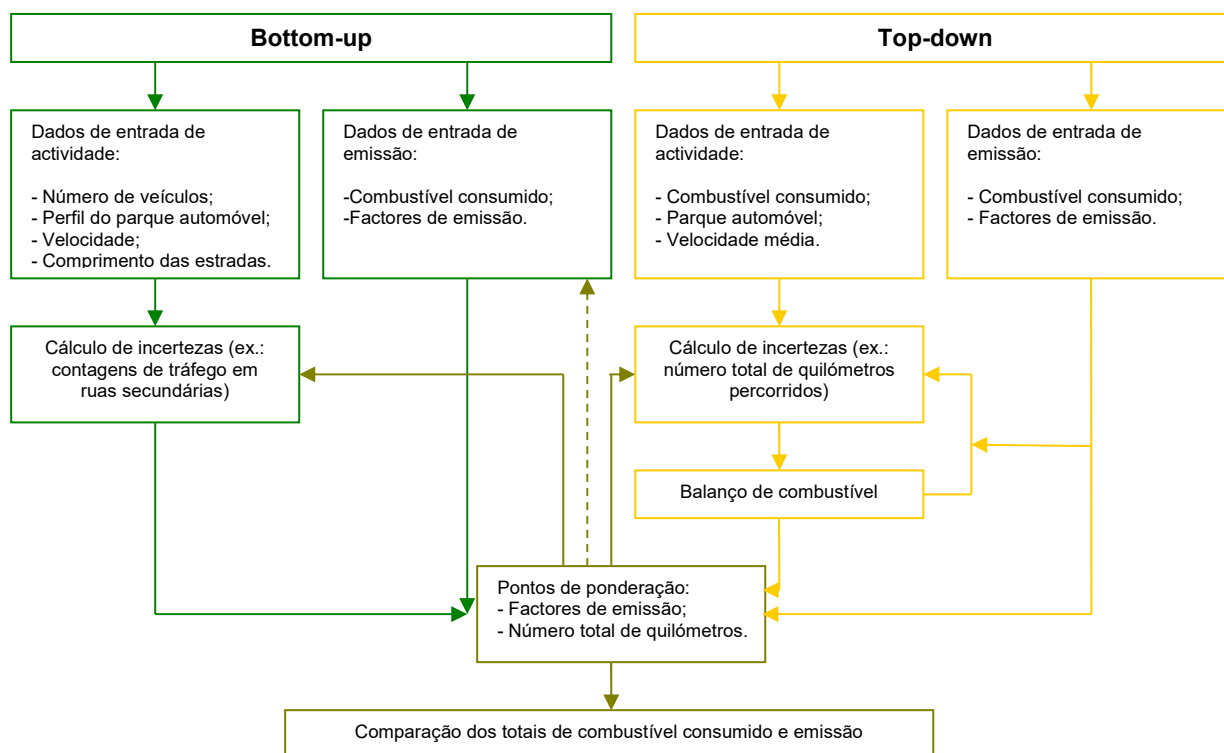


Figura 2 - Metodologias *top-down* e *bottom-up* (adaptado de Baldasano, 1998).

Por questões metodológicas e de disponibilidade de informação, para o cálculo das emissões provenientes das fontes em área foi aplicada uma metodologia *top-down*, enquanto que para emissões provenientes das fontes em linha foi aplicada uma metodologia *bottom-up*. Nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas

¹ NUT - Nomenclatura de Unidade Territorial.

na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao domínio de estudo e respectiva área envolvente considerada passível de influenciar a sua qualidade do ar. Estas fontes foram directamente integradas na base de dados. Na estimativa das emissões em área e em linha foi usado o modelo ARLIPE (Figura 3). O ARLIPE está preparado para a realidade existente em Portugal, podendo no entanto ser aplicado a outras situações, uma vez que a interacção com o utilizador é bastante simples facilitada pela existência de um guia e um manual de ajuda.

O ARLIPE (Area, Line and Point Source Emission Model) é uma aplicação escrita em C# e SQL e desenhada para construir cenários de emissões em área, em linha e emissões pontuais. Trata-se de um software desenvolvido de raiz pelo GAEA - Grupo de Ambiente e Ecologia Aplicada do CIAGEB - Centro de Investigação em Alterações Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia da Universidade Fernando Pessoa (Fontes et al., 2007).

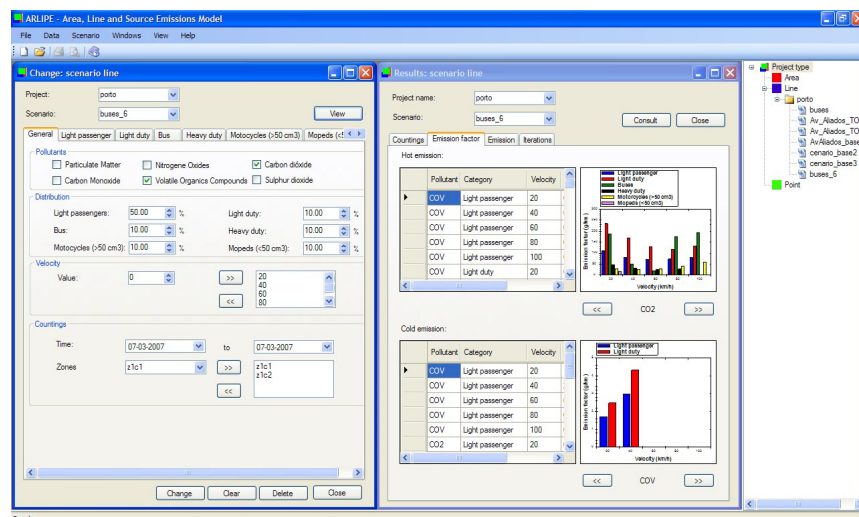


Figura 3 - Modelo de emissões ARLIPE (adaptado de Fontes et al, 2007).

3.1. Emissões de fontes em área

Para o cálculo das emissões em área recorreu-se aos dados do inventário nacional de emissões para o ano 2004 (http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761txt.php). Os dados apresentam-se agrupados em quatro grupos: emissões provenientes do sector industrial e de produção de energia; emissões provenientes do sector dos transportes rodoviários; emissões provenientes do comércio, instituições e zonas residenciais; e emissões provenientes da agricultura, floresta e pescas.

As emissões foram calculadas por freguesia usando um nível de desagregação efectuando a passagem directa de NUT I para NUT VI ou dois níveis de desagregação: primeiro do nível

nacional (NUT I) para concelho (NUT IV); e depois de NUT IV para freguesia (NUT V) ou bairro (NUT VI).

A Figura 4 resume a metodologia geral para o cálculo das emissões em área. Foram consideradas as emissões dos seguintes poluentes: óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), e compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM).

Para a estimativa das emissões foram usadas as variáveis directamente associadas aos sectores de actividade em análise. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos diferentes parâmetros de desagregação usados para cada um dos sectores de actividade.

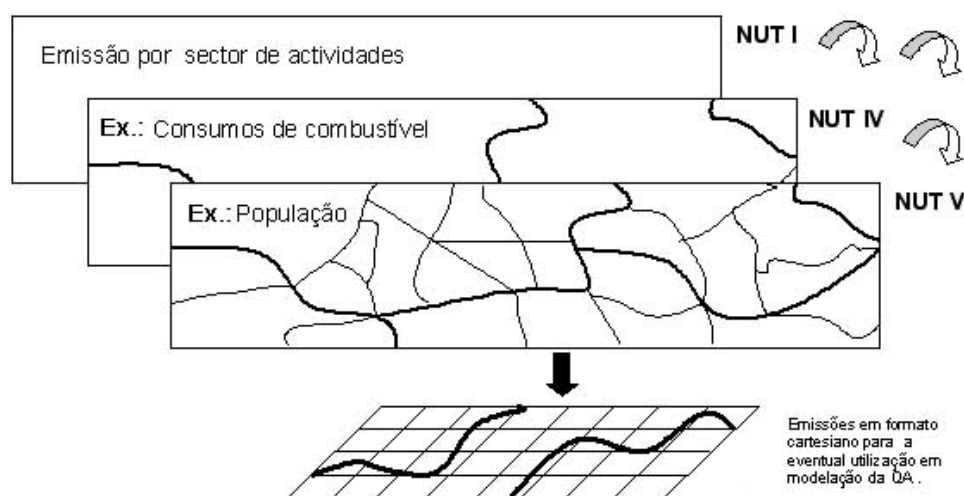


Figura 4 - Metodologia *top-down* usada no cálculo das emissões em área.

Tabela 2 - Metodologia de desagregação usada.

Actividade	Factor de desagregação
Indústria e produção de energia	Número de empresas EPER (NUT I → NUT V)
Transportes rodoviários	Parque automóvel seguro (NUT I → NUT IV) População residente (NUT IV → NUT V)
Comércio, instituições e zonas residenciais	Número de edifícios (NUT I → NUT V)
Agricultura, floresta e pescas	Superfície agrícola utilizada (NUT I → NUT V)

O próximo capítulo apresenta os resultados das estimativas das emissões das fontes em área e encontra-se estruturado segundo duas vertentes: (i) análise das emissões por concelho e actividade emissora; (ii) análise espacial por freguesia, por fonte e poluente.

Como já anteriormente referido, chama-se atenção que, embora toda a análise seja efectuada de uma forma mais detalhada sobre o concelho do Porto e suas freguesias, a estimativa das emissões por freguesia foi efectuada para todo o domínio o qual inclui, não só o concelho do Porto, como também todos os concelhos, total ou parcialmente incluídos no domínio de estudo.

3.1.1. Análise das emissões por sector de actividade

Segundo dados do Instituto do Ambiente (IA, 2002), enquanto que na maioria dos Estados Membros da União Europeia as emissões de poluentes atmosféricos associadas ao tráfego automóvel tem vindo a diminuir desde a década de 90, em Portugal a evolução é inversa. Portugal tem vindo a evidenciar claras dificuldades no controlo das suas emissões atmosféricas associadas ao tráfego automóvel. No ano 2000, o sector dos transportes foi responsável em Portugal por 44% das emissões de NO_x, 55% das emissões de CO e 12% das emissões de COVNM, o que testemunha a importância deste tipo de emissões no contexto das emissões atmosféricas nacionais. Nesse mesmo ano, os transportes representavam 34,9% do consumo final de energia, dos quais quase 90% eram relativos aos transportes rodoviários, sendo estes dependentes em 99,4% do petróleo (Borrego J., e Fonseca C., 2004). Apesar da evolução tecnológica em matéria de controlo das emissões, qualidade dos combustíveis e eficiência dos motores de combustão interna, o elevado crescimento do parque automóvel nacional tem vindo a anular por completo as melhorias alcançadas. Além disso, as áreas urbanas, como a cidade do Porto, são fortemente penalizadas em termos de emissões atmosféricas derivadas da elevada densidade de tráfego rodoviário, nomeadamente durante as horas de ponta.

Relativamente ao concelho do Porto, a estimativa dos valores de emissão por sector de actividade, permite verificar que as emissões de NO_x, CO e COVNM são maioritariamente provenientes do sector dos transportes rodoviários, enquanto que as emissões de SO_x são essencialmente provenientes do sector industrial e de produção de energia (Tabela 3). Nas Figura 5 à Figura 8 apresentam-se, por poluente, as distribuições percentuais pelos diferentes sector de actividade.

Tabela 3 - Emissões por sector de actividade para o concelho do Porto para o ano 2004 (Gg).

	Emissões (Gg)			
	SO _x	NO _x	CO	COVNM
Indústria e produção de energia	1,28	0,83	0,23	0,11
Transportes rodoviários	0,08	2,34	6,66	1,32
Comércio, instituições e zonas residenciais	0,05	0,51	6,61	0,55
Agricultura, floresta e pescas	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1,41	3,67	13,51	1,97

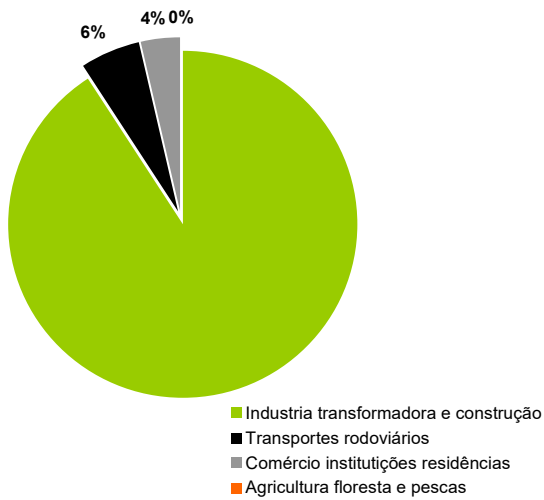


Figura 5 - Emissões de SO_x de fontes em área por actividade em 2004 no concelho do Porto.

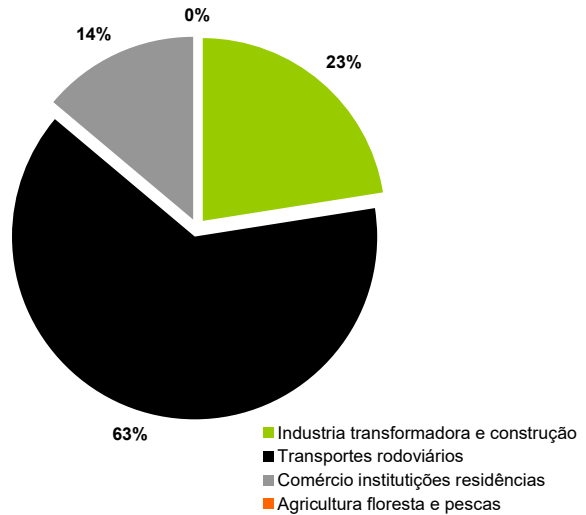


Figura 6 - Emissões de NO_x de fontes em área por actividade em 2004 no concelho do Porto.

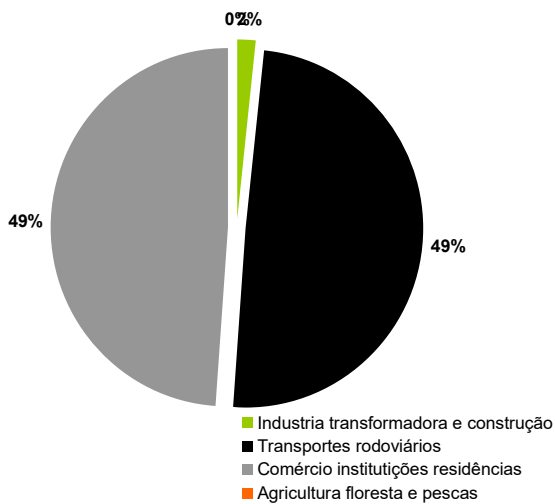


Figura 7 - Emissões de CO de fontes em área por actividade em 2004 no concelho o Porto.

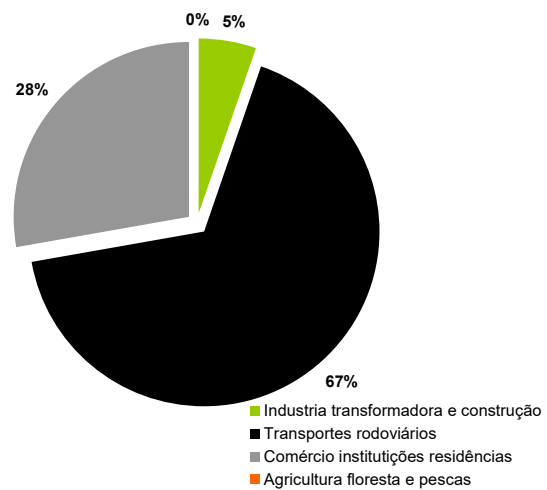


Figura 8 - Emissões de COVNM de fontes em área por actividade em 2004 no concelho do Porto.

3.1.2. Análise das emissões por freguesia

A análise dos resultados mostra que existem variações significativas entre freguesias, quando a análise é efectuada espacialmente (por km²), embora o padrão de distribuição seja muito semelhante quando a análise é efectuada por poluente. Quando a análise é efectuada por sector de actividade, a distribuição das emissões por freguesia é constante para todos os poluentes pelo que para cada uma das actividades será apresentado um exemplo do padrão de distribuição dessas emissões.

Centrando a análise apenas no concelho do Porto, em relação às emissões provenientes ao sector industrial e de produção de energia, a freguesia de Ramalde é a freguesia onde foram alocadas mais emissões por área, correspondentes à localização da zona industrial do concelho do Porto. A título de exemplo, na Figura 9 apresentam-se as emissões de NO_x para as freguesias do domínio de estudo. A Tabela 4 apresenta, para todos os poluentes analisados, um resumo da informação relativa aos valores de emissão, por poluente e freguesia, para o concelho do Porto para o sector industrial e de produção de energia.

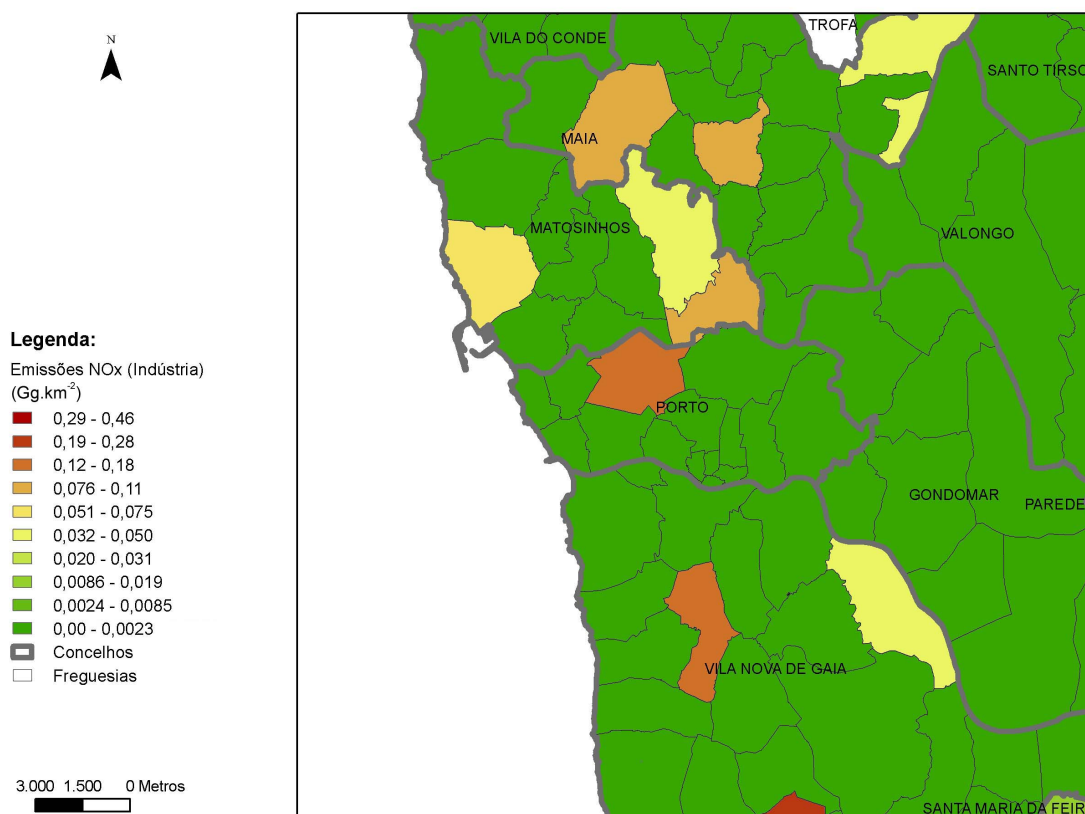


Figura 9 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO_x provenientes do sector da indústria e de produção de energia para o ano de referência de 2004 (Gg.km⁻²).

Tabela 4 - Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector da indústria e da produção de energia para o ano de referência de 2004 (Gg).

Local		Emissões (Gg)			
		SO _x	NO _x	CO	COVNM
Freguesia	Nevogilde	0	0	0	0
	Campanhã	0	0	0	0
	Lordelo do Ouro	0	0	0	0
	Paranhos	0	0	0	0
	Ramalde	1,278	0,826	0,233	0,106
	Aldoar	0	0	0	0
	Bonfim	0	0	0	0
	Santo Ildefonso	0	0	0	0
	Cedofeita	0	0	0	0
	Foz do Douro	0	0	0	0
	Vitória	0	0	0	0
	Miragaia	0	0	0	0
	Massarelos	0	0	0	0
	Sé	0	0	0	0
	S. Nicolau	0	0	0	0
Total:		1,278	0,826	0,233	0,106

No sector dos transportes rodoviários as freguesias localizadas no centro da cidade como São Nicolau, Sé, Cedofeita, Vitória e Bonfim são as que apresentam valores mais elevados de emissão por área enquanto que Nevogilde, Foz do Douro e Massarelos apresentam os valores mais reduzidos (Figura 10). A Tabela 5 apresenta, para todos os poluentes analisados, um resumo da informação relativa aos valores de emissão por poluente e freguesia do domínio em estudo para o sector dos transportes rodoviários respectivamente.

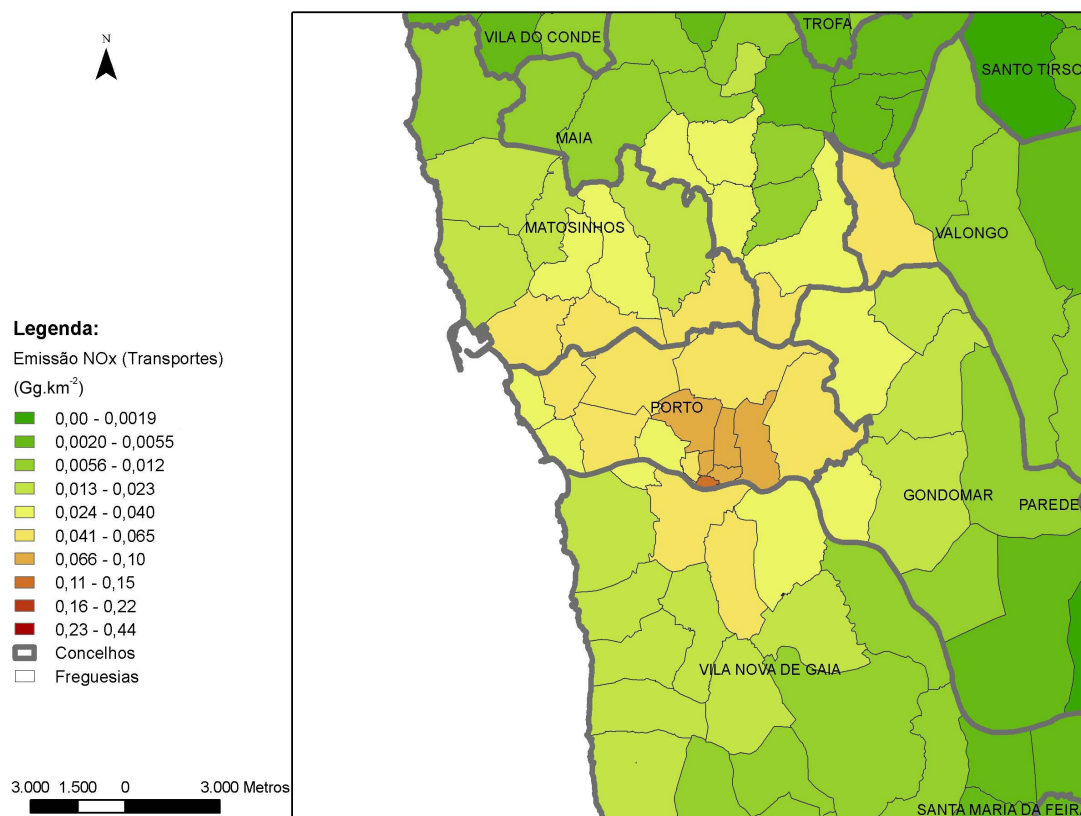


Figura 10 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO_x provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2004 (Gg.km⁻²).

Tabela 5 - Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2004 (Gg).

Local		Emissões (Gg)			
		SO _x	NO _x	CO	COVNM
Freguesia	Nevogilde	0,002	0,048	0,137	0,027
	Campanhã	0,012	0,353	1,006	0,199
	Lordelo do Ouro	0,007	0,202	0,577	0,114
	Paranhos	0,015	0,444	1,264	0,250
	Ramalde	0,011	0,343	0,978	0,193
	Aldoar	0,004	0,127	0,362	0,072
	Bonfim	0,009	0,260	0,742	0,146
	Santo Ildefonso	0,003	0,092	0,261	0,051
	Cedofeita	0,008	0,226	0,644	0,127
	Foz do Douro	0,002	0,052	0,147	0,029
	Vitória	0,001	0,025	0,071	0,014
	Miragaia	0,001	0,026	0,073	0,014
	Massarelos	0,002	0,071	0,201	0,040
	Sé	0,001	0,043	0,123	0,024
S. Nicolau	0,001	0,027	0,076	0,015	
Total:		0,078	2,338	6,663	1,315

No que respeita ao sector do comércio, instituições e zonas residenciais os resultados mais elevados em termos de emissões por área verificam-se nas freguesias de São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita. À semelhança das actividades anteriores Nevogilde e Foz do Douro são as freguesias que apresentam valores mais reduzidos de emissão por área (Figura 11). A Tabela 6 apresenta para todos os poluentes analisados um resumo da informação relativa aos valores de emissão para o sector do comércio, instituições e zonas residenciais, por poluente e freguesia para o domínio em estudo.

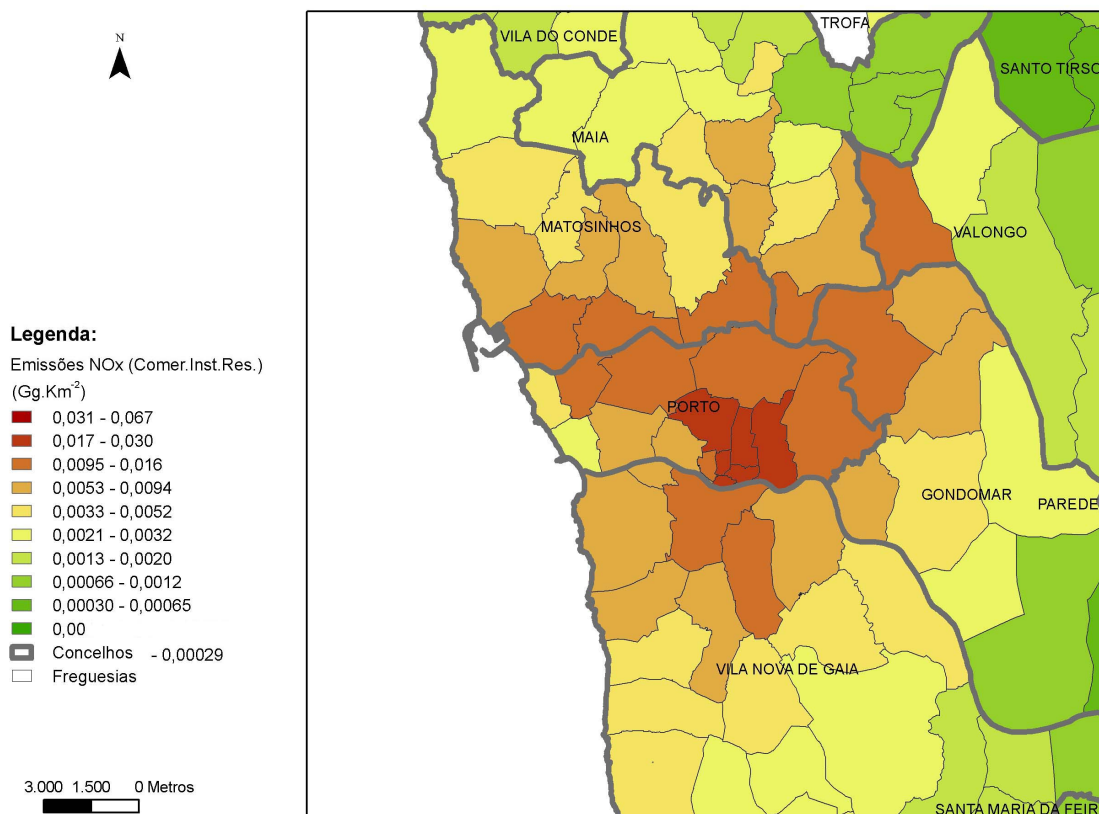


Figura 11 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO_x provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residências para o ano de referência de 2004 (Gg.km²).

Tabela 6 - Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector do comércio, instituições e residências para o ano de referência de 2004 (Gg).

Local		Emissões (Gg)			
		SO _x	NO _x	CO	COVNM
Freguesia	Nevogilde	0,001	0,009	0,135	0,011
	Campanhã	0,009	0,087	0,999	0,083
	Lordelo do Ouro	0,003	0,034	0,572	0,046
	Paranhos	0,009	0,092	1,254	0,103
	Ramalde	0,006	0,061	0,969	0,079
	Aldoar	0,003	0,025	0,359	0,029
	Bonfim	0,007	0,064	0,737	0,061
	Santo Ildefonso	0,003	0,028	0,259	0,022
	Cedofeita	0,006	0,055	0,639	0,053
	Foz do Douro	0,000	0,005	0,146	0,012
	Vitória	0,001	0,007	0,070	0,006
	Miragaia	0,001	0,007	0,072	0,006
	Massarelos	0,001	0,014	0,200	0,016
	Sé	0,002	0,014	0,123	0,010
	S. Nicolau	0,000	0,005	0,076	0,006
Total:		0,052	0,506	6,610	0,545

No sector agrícola, floresta e pescas não foram alocadas emissões ao concelho do Porto contudo verifica-se que à medida que nos afastamos do centro urbano a emissão em área alocada aumenta gradualmente (Figura 12).

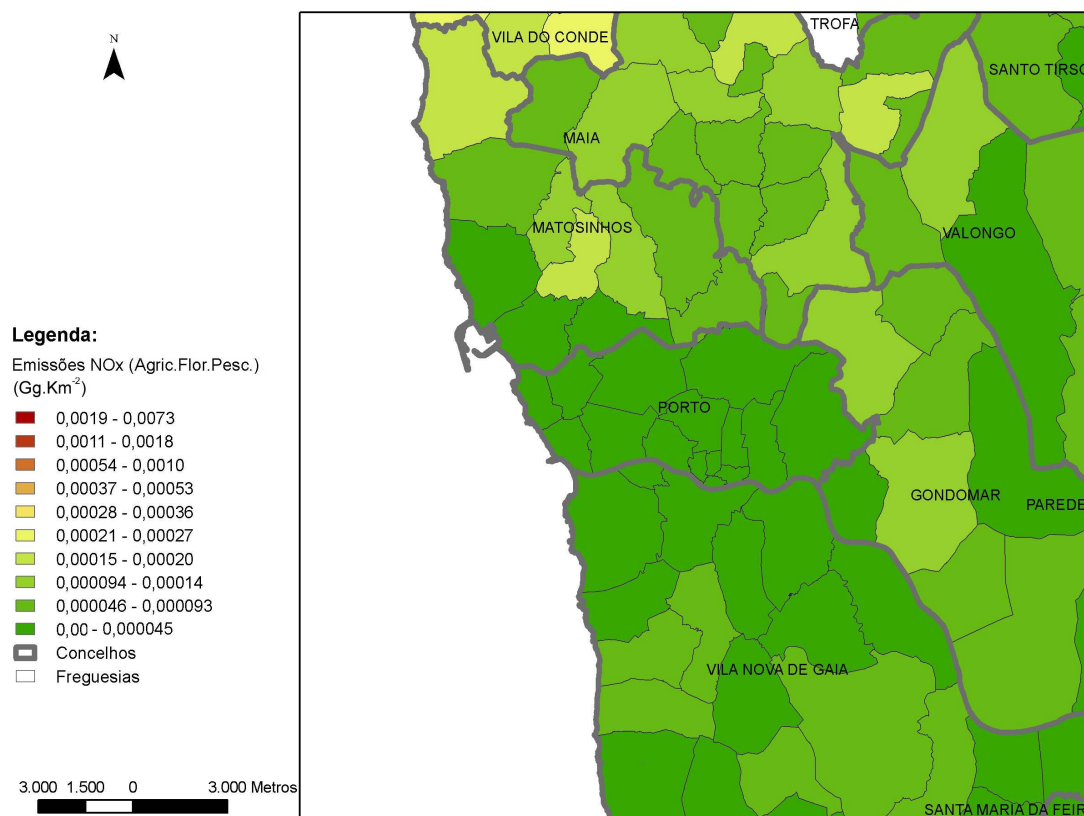


Figura 12 - Emissões por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO_x provenientes do sector de actividade da agricultura, floresta e pescas para o ano de referência de 2004 (Gg.km²).

Relativamente às emissões totais, estas correspondem à soma das emissões, por poluente, dos quatro sectores de actividade considerados: indústria e produção de energia; transportes rodoviários; comércio, instituições e residências; e agricultura floresta e pescas.

Pela análise espacial destas emissões verifica-se que existem variações significativas entre freguesias embora o padrão de distribuição seja muito semelhante quando a análise é efectuada por poluente. Genericamente as maiores emissões são registadas nas freguesias localizadas no centro da cidade, São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita onde a densidade urbanística e populacional é também bastante elevada. Nevogilde, Massarelos e Foz do Douro são as freguesias que apresentam valores mais reduzidos de emissões totais em área por quilómetro quadrado. No caso do SO_x a distribuição do padrão das emissões varia um pouco em relação aos restantes poluentes em análise. Este facto ocorre devido à distribuição das emissões provenientes do sector da indústria transformadora e energia, o maior responsável pela emissão deste poluente (Figura 13 à Figura 16).

O resumo da informação relativa aos valores de emissão total por poluente e freguesia para o concelho do Porto, estão apresentados na Tabela 7.

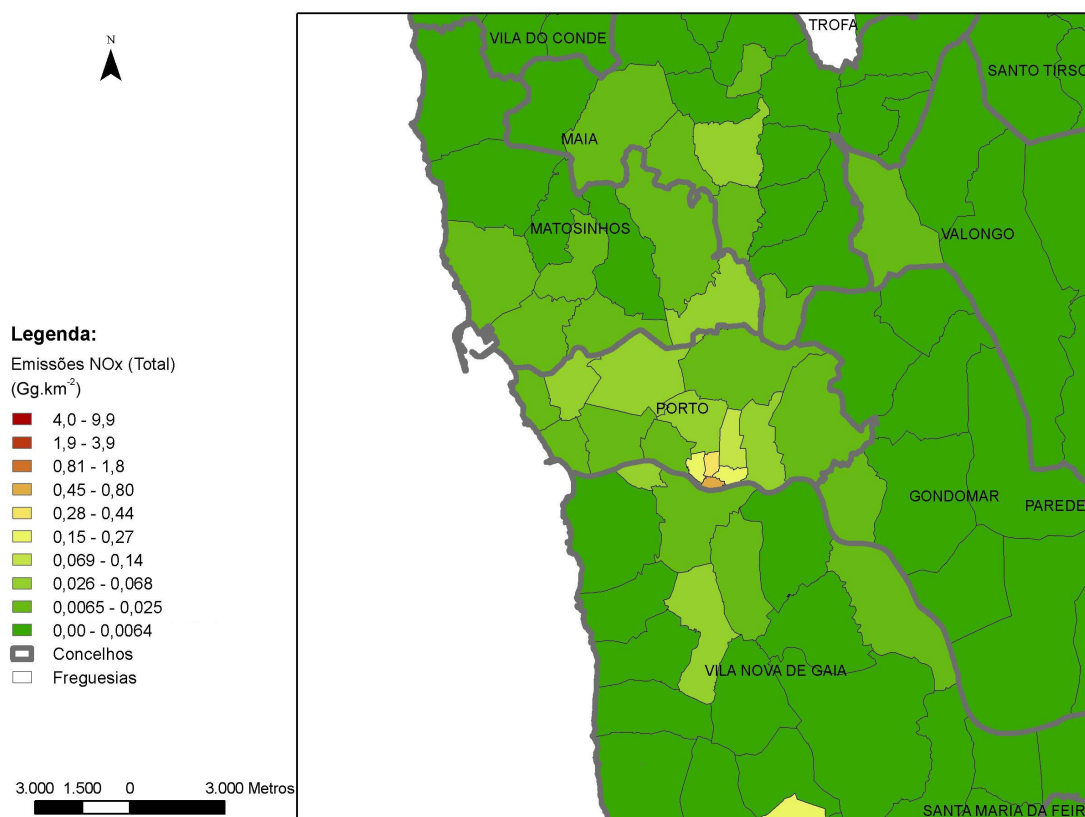


Figura 13 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente NO_x para o ano de referência de 2004 (Gg.km⁻²).

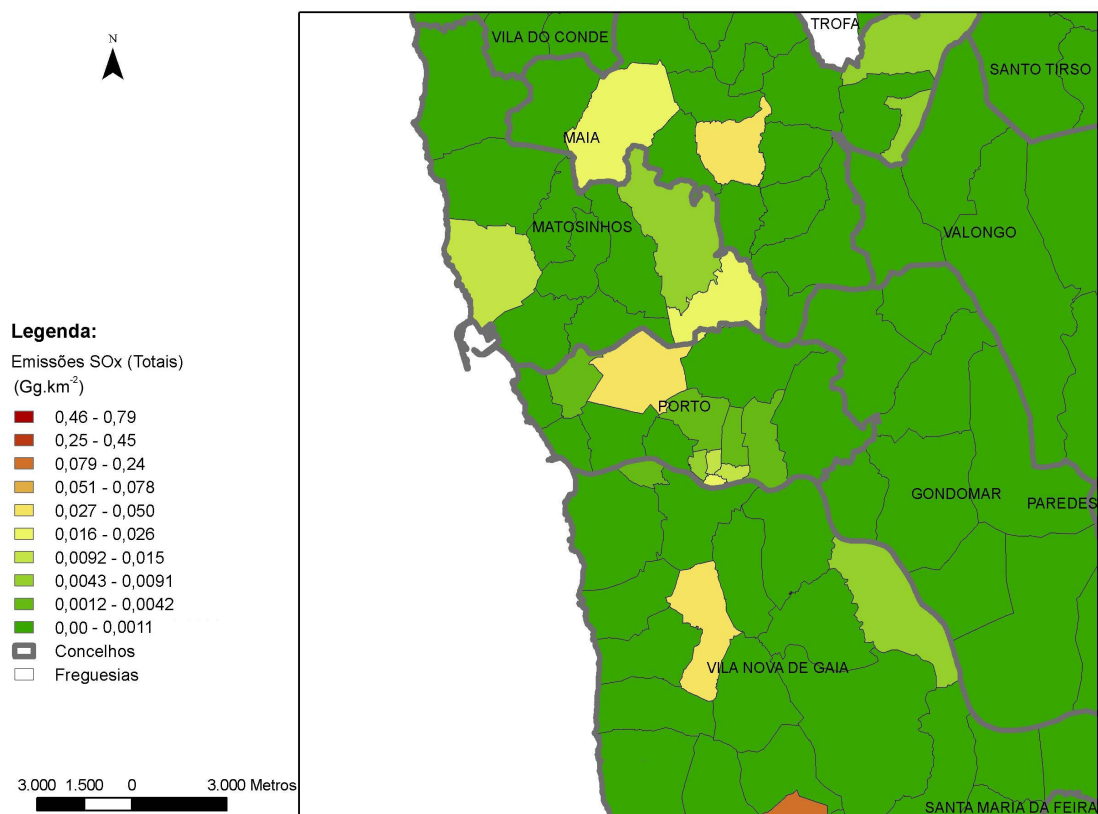


Figura 14 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente SO_x para o ano de referência de 2004 (Gg.km⁻²).

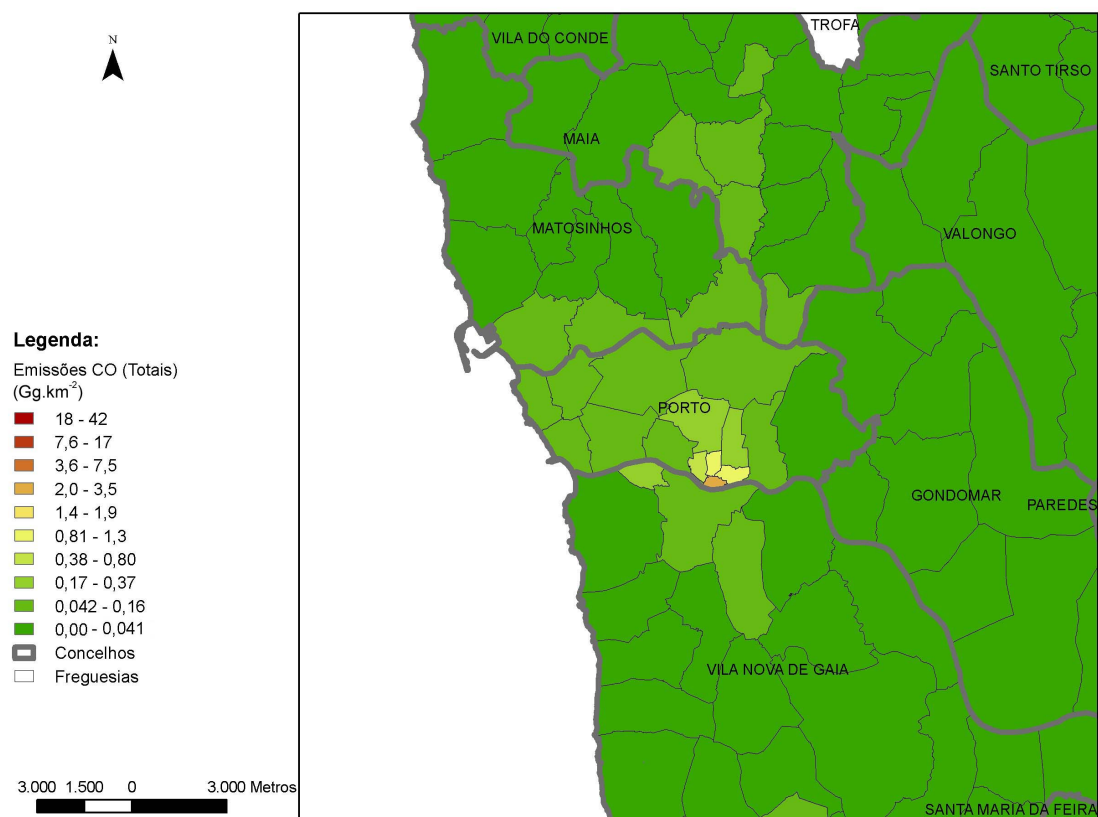


Figura 15 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente CO para o ano de referência de 2004 (Gg.km⁻²).

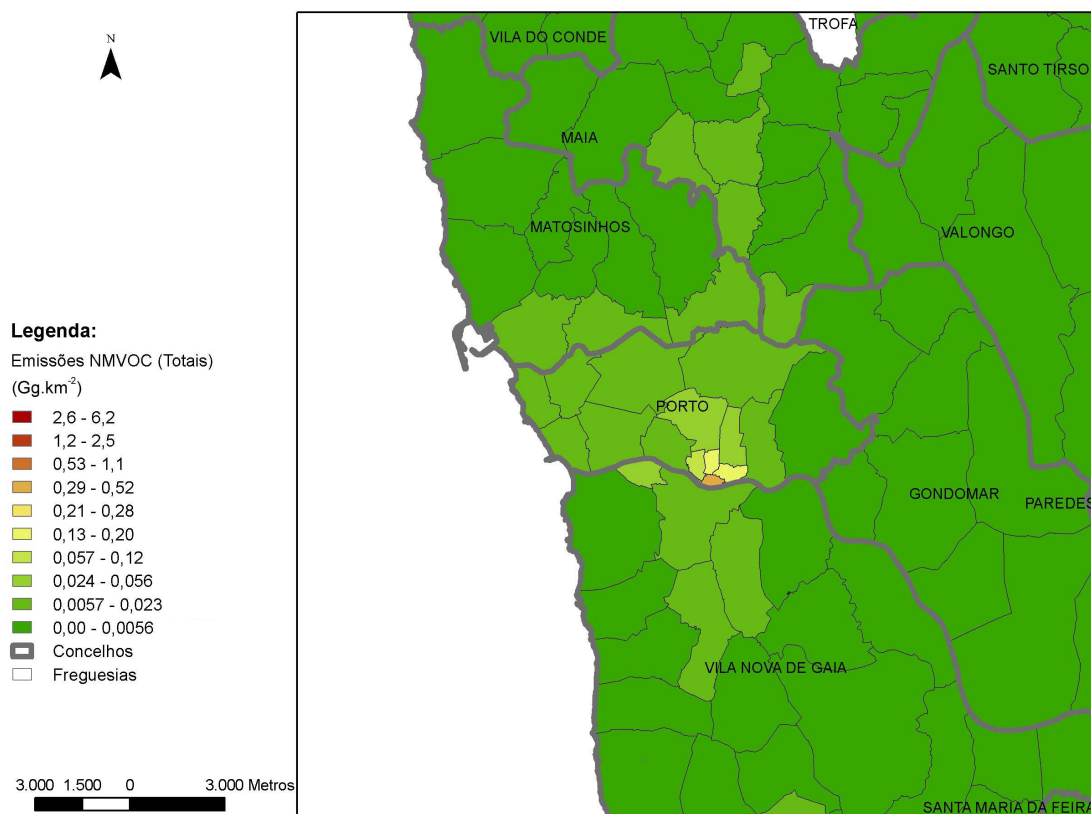


Figura 16 - Emissões totais por freguesia para o domínio de estudo para o poluente COVNM para o ano de referência de 2004 (Gg.km⁻²).

Tabela 7 - Emissões totais para o concelho do Porto por freguesia e poluente para o ano de referência de 2004 (Gg).

Local		Emissões (Gg)			
		NO _x	CO	COVNM	SO _x
Freguesia	Nevogilde	0,057	0,272	0,038	0,003
	Campanhã	0,440	2,006	0,282	0,021
	Lordelo do Ouro	0,236	1,149	0,160	0,010
	Paranhos	0,536	2,518	0,353	0,024
	Ramalde	1,231	2,180	0,378	1,296
	Aldoar	0,152	0,722	0,101	0,007
	Bonfim	0,324	1,479	0,208	0,015
	Santo Ildefonso	0,119	0,520	0,073	0,006
	Cedofeita	0,281	1,282	0,180	0,013
	Foz do Douro	0,056	0,293	0,041	0,002
	Vitória	0,032	0,141	0,020	0,002
	Miragaia	0,032	0,145	0,020	0,002
	Massarelos	0,085	0,401	0,056	0,004
	Sé	0,057	0,246	0,035	0,003
S. Nicolau	0,032	0,152	0,021	0,001	
Total:		3,669	13,507	1,967	1,408

3.2. Emissões de fontes em linha

No presente ponto, é apresentada a metodologia para a estimativa das emissões atmosféricas em linha, implementada no modelo de cálculo ARLIPE - Area, Line and Point Source Emission Model (Fontes et al., 2007).

De acordo com esta metodologia, as emissões totais resultantes dos veículos automóveis são calculadas efectuando a soma das emissões a quente (que corresponde ao funcionamento estável do motor), as emissões a frio (que correspondem à operação de aquecimento do motor) e as emissões correspondentes à evaporação. Neste trabalho são apenas calculadas as emissões a quente, considerando que o tráfego em análise é composto essencialmente por veículos em circulação e por isso em condições térmicas estabilizadas.

O cálculo das emissões é dado pela seguinte expressão:

$$E = FEP_{ijv} * C \quad [1]$$

Onde:

E = Emissão;

FEP = Factor de emissão ponderado;

i = Poluente;

j = Categoria de veículo;

v = Velocidade;

C = Número de veículos.

Assim, inicialmente procedeu-se ao cálculo dos Factores de Emissão Ponderados (FEP) associados ao tráfego rodoviário para os poluentes, CO, NO_x, COV e PM. Estes poluentes correspondem a poluentes “regulados”, isto é, poluentes objecto de legislação relevante. Os FEP para os vários poluentes foram calculados tendo por base o relatório EMEP/CORINAIR (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe/CORe INventory AIR emissions), (EMEP/CORINAIR, 2006). Para a estimativa dos FEP recorreu-se aos volumes de tráfego por categoria de veículo, à idade, à cilindrada, à tara, ao tipo de combustível e à velocidade média de deslocação segundo uma metodologia desenvolvida por Barros et al., (2004).

$$FEP_{ijv} = \left[\%_g * \sum_{n=1}^x (\%_n * FE_{ng})_{ijv} \right] + \left[\%_d * \sum_{n=1}^x (\%_n * FE_{nd})_{ijv} \right] \quad [2]$$

Onde:

i = Poluente;

j = Categoria de veículo;

v = Velocidade;

n = Classes de idade dos veículos;

g = Gasolina;

d = Diesel;

% g = Percentagem de veículos a gasolina;

% d = Percentagem de veículos a gasóleo;

% n = Percentagem de veículos da classe de idades n;

x = Número de classes de idades.

Os dados do número de veículos disponíveis dizem respeito ao volume total de tráfego em circulação não efectuando distinção entre categorias. Tendo em conta as definições adoptadas pelo EMEP/CORINAIR (2006) e pelo Instituto de Seguros de Portugal (ISP, 2003), estes dados foram desagregados considerando seis categorias de veículos:

- a) Ligeiros de passageiros: englobam os ligeiros particulares, praças, táxis, aluguer sem condutor para transporte de passageiros com o máximo de 9 lugares;
- b) Ligeiros de mercadorias: englobam os ligeiros particulares de carga até 1600 kg de peso bruto, ligeiros sem condutor de carga até 3,5 toneladas, misto particular, camionetas;
- c) Pesados de passageiros: englobam os autocarros;
- d) Pesados de mercadorias: englobam os reboques e os camiões com peso bruto entre 3,5 e 16 toneladas;
- e) Motociclos > 50 cm³;
- f) Motociclos < 50 cm³.

A Figura 17 descreve a metodologia *bottom-up* implementada pelo modelo ARLIPE para o cálculo de emissões em linha.

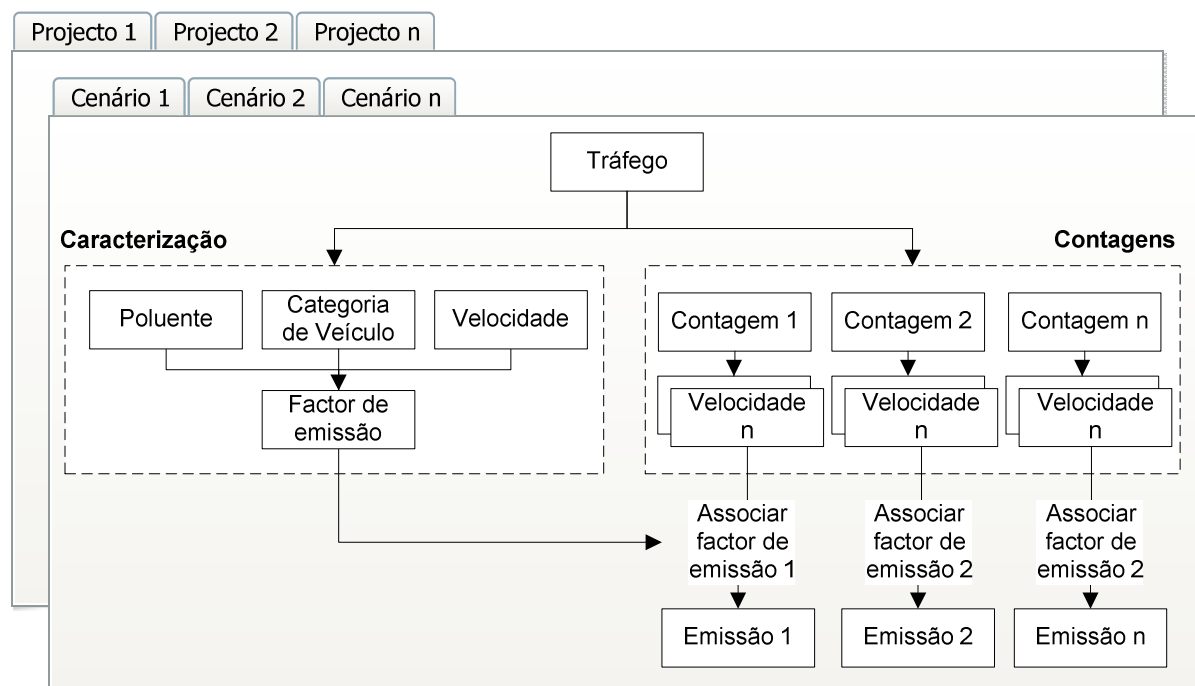


Figura 17 - Metodologia *bottom-up* usada no cálculo das emissões em linha no modelo ARLIPE (Fontes et al, 2007).

Dada a ausência de dados de contagens de tráfego na Avenida da Boavista foi considerada apenas uma via de tráfego: a Via de Cintura Interna (VCI). Por outro lado, como não existem contadores automáticos do sistema SIGA na Via de Cintura Interna foram usadas as contagens manuais de tráfego realizadas no âmbito do projecto ImpactAir (Barros et al. 2005). Dada a dimensão da VCI, cerca de 11 km, esta foi dividida em quatro sub-domínios considerados representativos: Boavista, Prelada, Amial e Antas. A Tabela 8 mostra as suas características e a Figura 18 apresenta a sua localização.

As contagens na VCI foram efectuadas por categoria de veículo, ao longo de 24 horas, em períodos alternados de 15 minutos, perfazendo um total de 48 períodos por dia, o que equivale a 12 horas de contagens por ponto e sentido de tráfego. Admitiu-se assim, que os períodos alternados de 15 minutos, num total de meia hora, são representativos da hora em que se inserem. Foram amostrados nove dias (Tabela I do Anexo I). Destes, em dois dias, um na zona do Amial e outro na zona da Prelada, por razões técnicas, não foi possível amostrar a totalidade do dia, ficando apenas disponíveis 8 e 16 horas de amostragens, respectivamente.

Pelo facto da VCI se tratar de uma auto-estrada, os motociclos com menos de 50 c.c. não foram considerados a circular nesta via.

Tabela 8 - Número médio diário de veículos em 2004 nas vias de tráfego consideradas (Barros et al., 2005).

Local	Comprimento	N.º médio diário de veículos	Fonte de dados
VCI: zona da Boavista	2,5 km	119 815	Contagens manuais realizadas entre 30/03 e 05/04/2004 (Anexo I)
VCI: zona da Prelada	1,85 km	148 737	
VCI: zona do Amial	1.6 km	124 072	
VCI: zona das Antas	5 km	84 390	

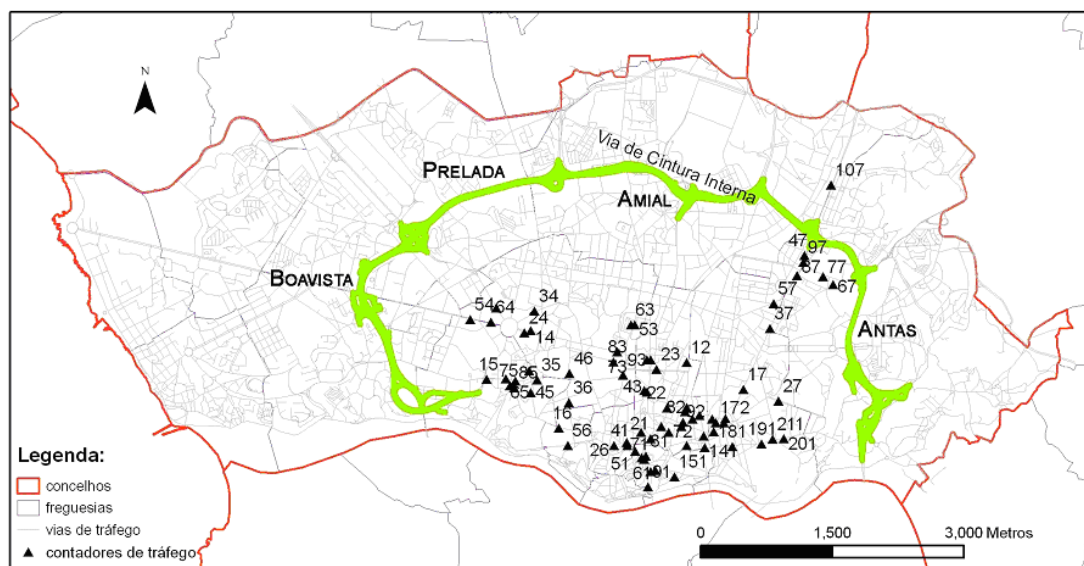


Figura 18 - Localização dos contadores de tráfego do sistema SIGA e das vias de tráfego em análise: VCI.

Como referido, o factor de emissão para cada categoria de veículo do parque automóvel português foi seleccionado e ponderado de acordo com a idade, cilindrada, tara, tipo de combustível e velocidade média de deslocação de acordo com dados médios do parque automóvel nacional. De acordo com medições efectuadas na VCI foi considerada a velocidade média e circulação de 75 km.h⁻¹. Para a determinação dos factores de emissão aplicando a metodologia EMEP/CORINAIR foram tidos em conta os factores constantes na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros tidos em conta para a estimativa das emissões em linha na VCI (<http://www.autoinforma.pt/>; ACAP (2001); CENSOS 2001).

		Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50cm ³)
Distribuição dos veículos por categoria	VCI: Boavista	77,5%	11,9%	0,2%	10,0%	0,4%
	VCI: Prelada	87,0%	9,2%	0,3%	3,0%	0,5%
	VCI: Amial	87,2%	9,4%	0,2%	2,7%	0,5%
	VCI: Antas	78,8%	12,7%	0,5%	7,7%	0,4%
Combustível	Gasolina	62,7 %	2,00%	0,0%	10,0%	100,0%
	Gasóleo	37,4%	98,00%	100,0%	100,0%	0,0%
Classe de idade		[0-5]: 26,2%]5-10]: 34,8%]10-30]: 39,0%	[0-5]: 28,0%]5-10]: 31,9%]10-30]: 40,1%	[0-5]: 23,9%]5-10]: 21,8%]10-30]: 54,3%	[0-5]: 15,6%]5-10]: 24,3%]10-30]: 60,0%	[0-5]: 37,2%]5-10]: 32,9%]10-30]: 29,9%
Cilindrada (l)		[<1,4]: 50,1%]1,4-2,0]: 42,7% >2,0]: 7,2%	[<1,4]: 63,8%]1,4-2,0]: 36,2%	[<28]:100%	[<7,5]: 3,9%]7,5-16]: 23,4%]16,-32]: 72,6%	[50-250]: 31,6%]250-750]: 38,8% >750]: 29,6%

3.2.1. Análise dos resultados

A análise da distribuição percentual das diferentes classes de veículos mostra que, em média, na VCI, durante o período de amostragem, circularam cerca de 119 mil veículos por dia em ambos os sentidos, dos quais 82,6% eram ligeiros de passageiros, 10,8% eram ligeiros de mercadorias, 5,9% eram pesados de mercadorias e apenas 0,3% eram pesados de passageiros. Os motociclos constituíam a fracção restante, cerca de 0,4%. Esta distribuição média flutua relativamente pouco entre os dois sentidos de tráfego (Arrábida/Freixo ou Freixo/Arrábida). Verifica-se uma diferença significativa no padrão de distribuição de fim-de-semana quando comparado com o verificado ao longo da semana de trabalho, em particular relativamente a ligeiros de passageiros e pesados de mercadorias, atingindo os primeiros quotas 10 a 20% mais elevadas ao fim-de-semana e os segundos apenas valores residuais, em particular, ao Domingo, como seria de esperar, dada a legislação em vigor limitativa da circulação deste tipo de veículo.

Em termos de distribuição percentual das diferentes classes de veículos nos diferentes sub-domínios da VCI durante a semana de trabalho, verifica-se que os sub-domínios da Prelada e do Amial apresentam um perfil de tráfego essencialmente associado aos ligeiros de passageiros ao contrário dos sub-domínios da Boavista e das Antas, onde o tráfego pesado de mercadorias tem um volume significativo. Este padrão de distribuição indicia a presença de tráfego pesado de longo curso nos sub-domínios das Antas e da Boavista, justificado pela presença dos nós de Francos e das Antas, ambos distribuidores de tráfego para Norte.

Em termos de pesos de passageiros, a sua presença é baixa face às restantes classes e praticamente constante, quer em termos temporais, quer em termos espaciais. Os motociclos apresentam uma peso relativamente baixo, sendo apenas de destacar o sua maior expressão, face aos restantes sub-domínios, no sub-domínio da Boavista (Barros et al, 2005).

A análise do FEP para o CO mostra que os motociclos emitem entre 3 a 6 g.km⁻¹. Verifica-se ainda que os veículos ligeiros de passageiros emitem entre 4 a 5 vezes mais do que os veículos ligeiros de mercadorias. Quanto aos veículos pesados, os FEP calculados são muito semelhantes entre si, em média 0,6 g.km⁻¹. A variação dos FEP com a velocidade mostra que todas as categorias emitem mais CO à velocidade de 20 km.h⁻¹, com excepção dos motociclos onde a emissão é também elevada a 100 km.h⁻¹ (Figura 19).

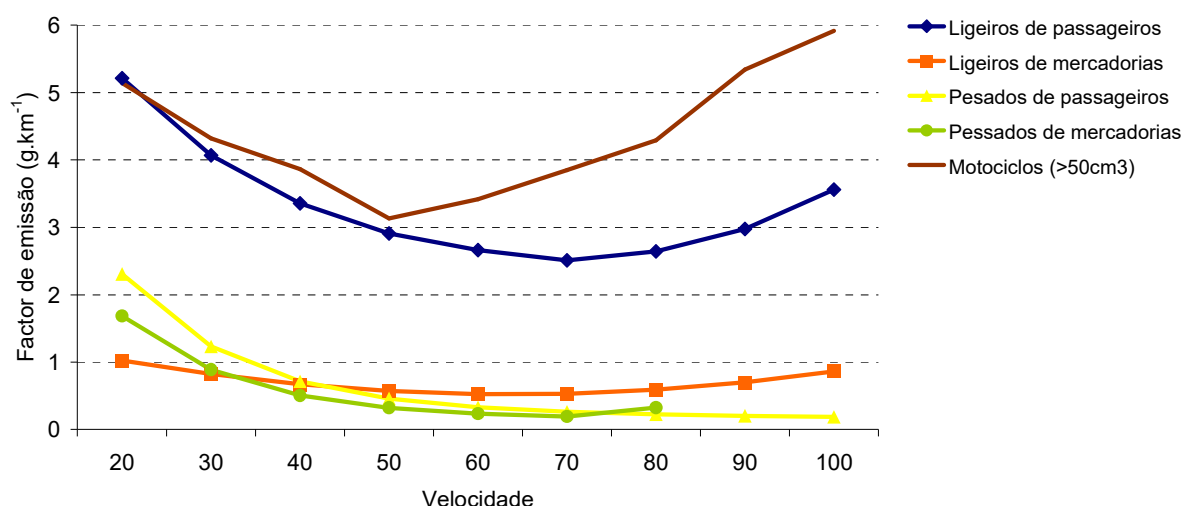


Figura 19 - Resultados do FEP para o poluente CO em função da velocidade.

Relativamente aos FEP do NO_x constata-se que os veículos pesados emitem quantidades muito superiores aos das restantes categorias, entre 0,2 e 5,2 g.km⁻¹, sendo os motociclos os que apresentam valores mais reduzidos, entre 0,09 e 0,18 g.km⁻¹. Verifica-se uma tendência decrescente das emissões com a velocidade (Figura 20).

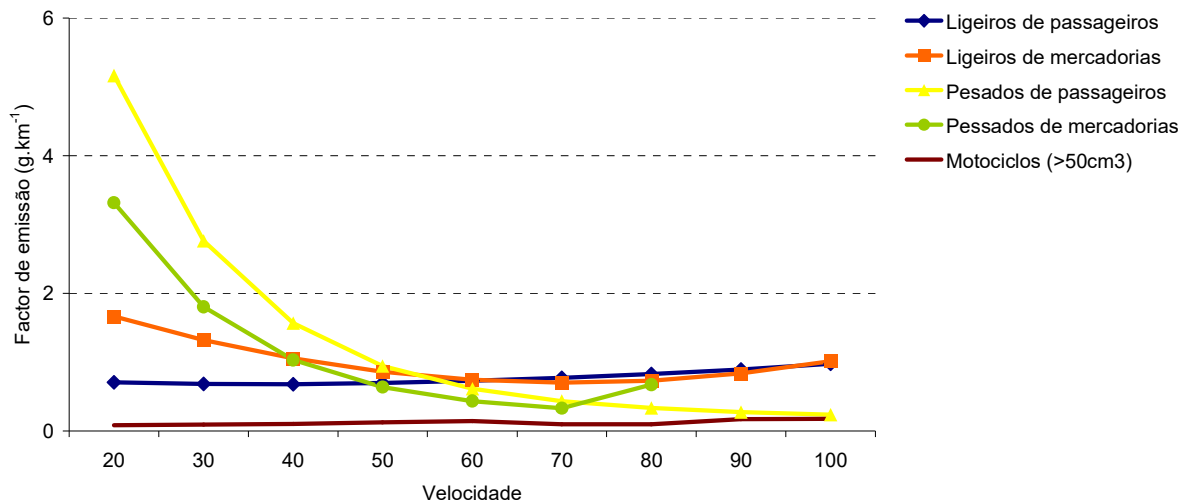


Figura 20 - Resultados do FEP para o NO_x em função da velocidade.

A análise do FEP dos COV's, tal como referido previamente, mostra que os motociclos são a classe de veículos que mais emitem, entre 0,7 e 1,5 g.km⁻¹. Os veículos pesados assim como os veículos ligeiros de passageiros emitem em média 0,3 g.km⁻¹, enquanto que os ligeiros de mercadorias emitem um pouco menos, em média 0,1 g.km⁻¹. Com excepção dos motociclos, a análise em função da velocidade mostra que a emissão diminui com o aumento da velocidade (Figura 21).

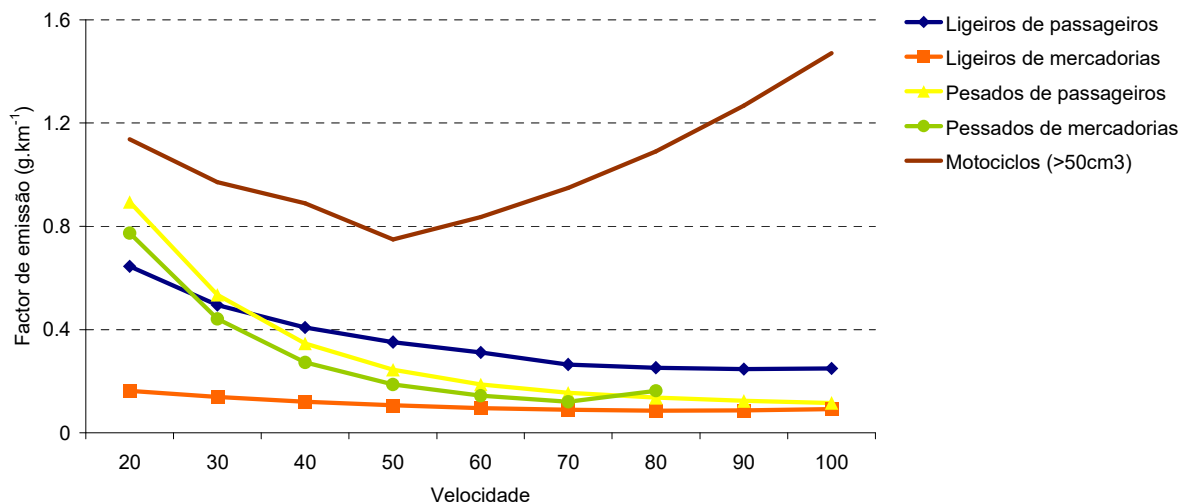


Figura 21 - Resultados do FEP para o poluente COV em função da velocidade.

Em relação às PM, os veículos pesados, nomeadamente os de mercadorias, são os principais responsáveis pela emissão deste poluente. Enquanto que nos veículos pesados a emissão tende a diminuir com a velocidade, nos veículos ligeiros verifica-se que a emissão mínima é atingida à velocidade intermédia (entre os 50 e 70 km.h⁻¹) (Figura 22).

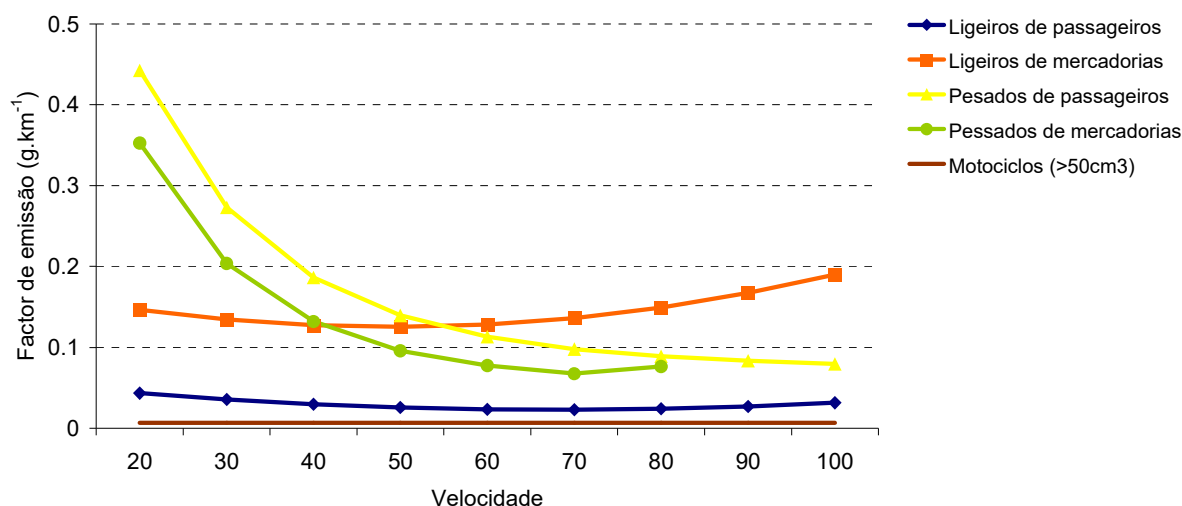


Figura 22 - Resultados do FEP para o poluente PM em função da velocidade.

Relativamente às emissões ocorridas durante o período analisado, verificou-se que o maior volume se verificou no sub-domínio da Prelada, que corresponde também ao local onde o volume de tráfego total é maior.

À semelhança da variação diária do tráfego, a análise das emissões permitiu constatar que os valores mínimos são registados durante a noite, entre as 04h00 e as 06h00, enquanto que os máximos se registam durante a manhã, entre as 09h00 e as 21h00, sendo esta essencialmente marcada pela circulação de veículos ligeiros de passageiros. Durante o período diurno a variação não é muito significativa.

No que respeita às emissões de CO e COV estas são essencialmente provenientes da circulação de veículos ligeiros de passageiros (cerca de 95%). No que respeita ao NO_x a influencia dos veículos ligeiros de passageiros é maioritária (84%), sendo também importante a contribuição dos veículos ligeiros e pesados de mercadorias cuja contribuição ronda os 10% e os 5% respectivamente. Em relação às PM, os veículos ligeiros de passageiros são também a categoria com maior peso (48%) sendo o restante essencialmente emitido pelos veículos ligeiros e pesados de mercadorias cuja contribuição ronda os 41% e os 11%.

No que respeita às quantidades emitidas, verifica-se que a globalmente a VCI emite anualmente, em média, 963 mil kg de CO, 344 mil kg de NO_x, 102 mil kg de COV e 17 mil kg de PM. Comparativamente com o total em área, verifica-se que esta grande via de tráfego corresponde, em média, a 16% do total das emissões rodoviárias da cidade do Porto

As Figura 23 à Figura 26 apresentam a distribuição média horária das emissões para os diversos poluentes em análise e as

Tabela 10 a

Tabela 13 mostram as emissões totais por ano e sub-domínio.

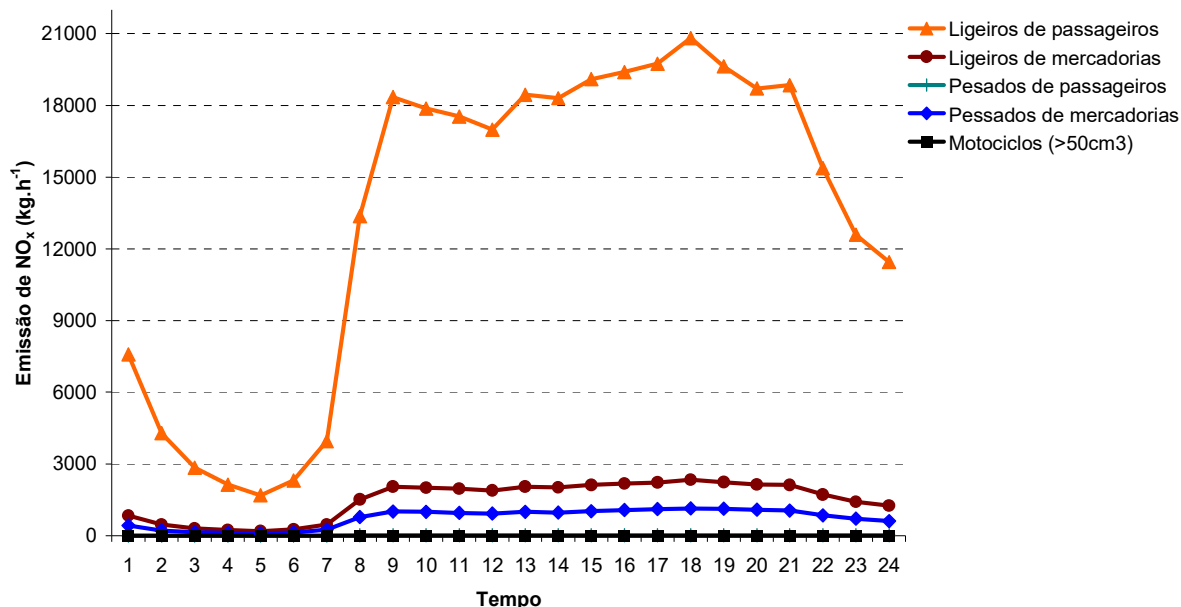


Figura 23 - Emissão de NO_x para a VCI por categoria de veículo (kg.h⁻¹).

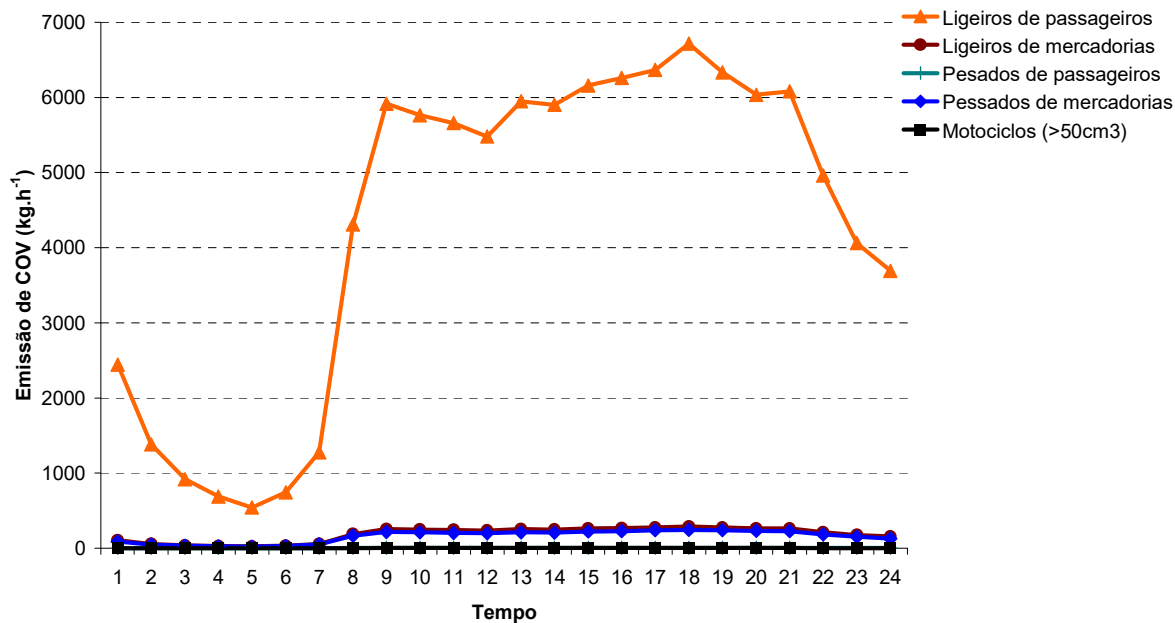


Figura 24 - Emissão de COV para a VCI por categoria de veículo (kg.h⁻¹).

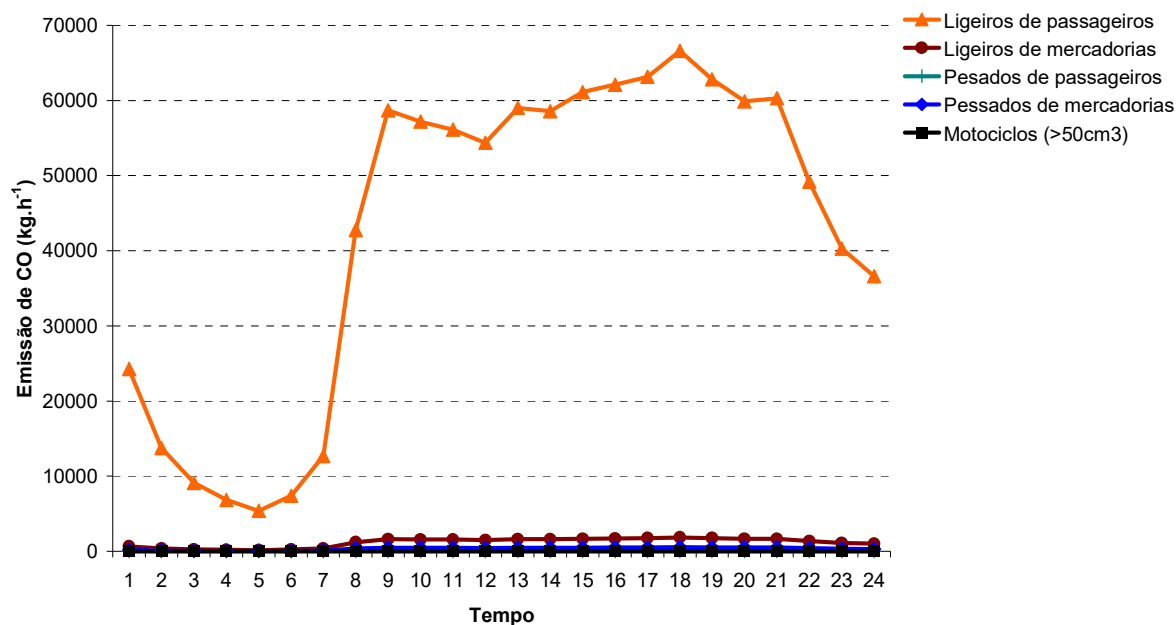


Figura 25 - Emissão de CO para a VCI por categoria de veículo (kg.h⁻¹).

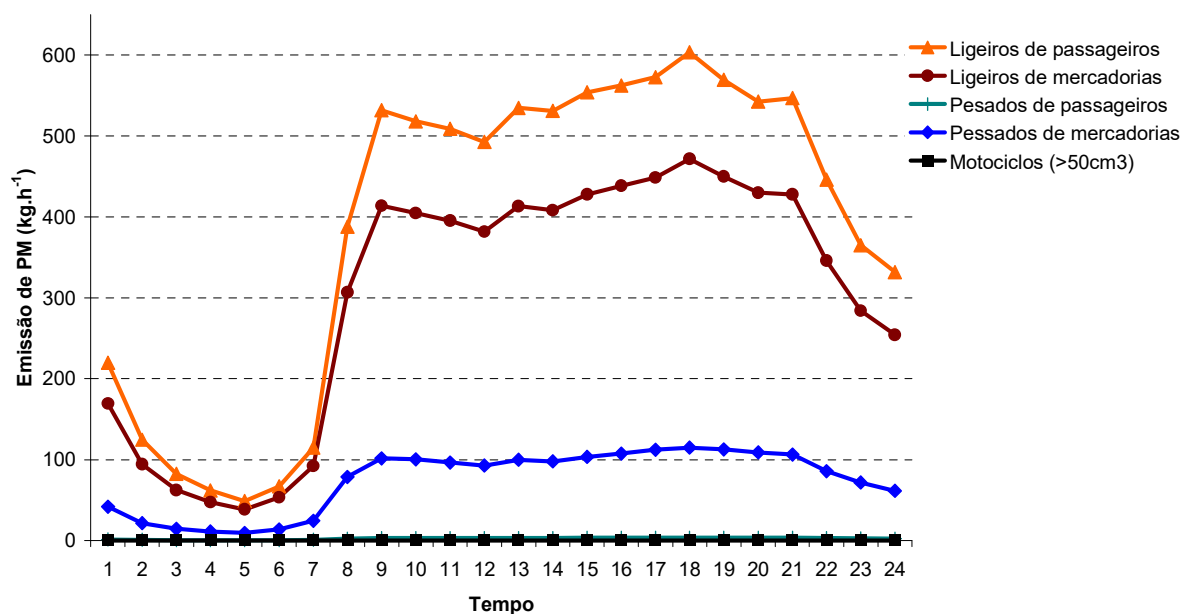


Figura 26 - Emissão de PM para a VCI por categoria de veículo (kg.h⁻¹).

Tabela 10 - Resultados das emissões de NO_x das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de NO _x (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm ³)
VCI: zona da Boavista	84 187	67 622	9 180	81	7 304	1
VCI: zona da Prelada	78 570	69 904	6 535	112	2 018	1
VCI: zona do Amial	58 136	51 850	4 942	0	1 344	1
VCI: zona das Antas	122 744	100 234	14 300	0	8 209	1

Tabela 11 - Resultados das emissões de CO das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de CO (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm ³)
VCI: zona da Boavista	227 059	216 369	7 213	50	3 389	0
VCI: zona da Prelada	229 856	223 671	5 135	69	936	44
VCI: zona do Amial	170 444	165 906	3 883	0	624	32
VCI: zona das Antas	335 819	320 718	11 236	0	3 809	55

Tabela 12 - Resultados das emissões de COV das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de COV (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm ³)
VCI: zona da Boavista	24 531	21 811	1 128	29	1 555	0
VCI: zona da Prelada	23 830	22 547	803	40	429	10
VCI: zona do Amial	17 625	16 724	607	0	286	8
VCI: zona das Antas	35 848	32 330	1 757	0	1 747	13

Tabela 13 - Resultados das emissões de PM das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de PM (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm ³)
VCI: zona da Boavista	4 562	1 961	1 849	18	734	0
VCI: zona da Prelada	3 571	2 027	1 317	25	203	0
VCI: zona do Amial	2 634	1 504	996	0	135	0
VCI: zona das Antas	6 613	2 907	2 881	0	825	0

3.3. Emissões de fontes pontuais

Nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao concelho do Porto e respectiva área envolvente considerada passível de influenciar a sua qualidade do ar (domínio de estudo). Estas unidades desenvolvem actividade nos sectores têxtil, transformação, produção e processamento de metais e cogeração. Os mapas da Figura 27 mostram a evolução do número de fontes de emissão de 2001 para 2004.

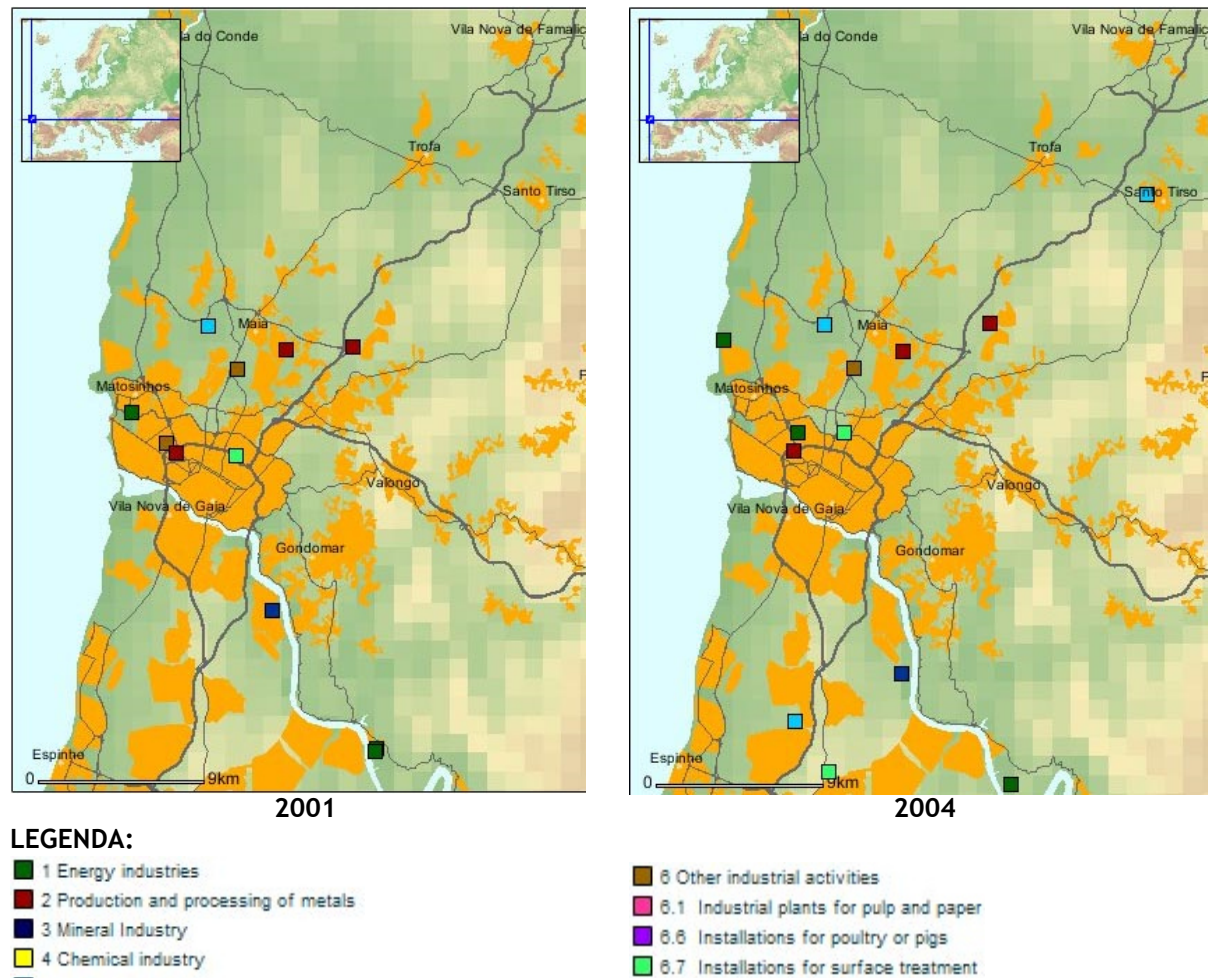


Figura 27 - Localização das indústrias identificadas pelo EPER com emissões atmosféricas no domínio de estudo e áreas envolventes (<http://www.eper.cec.eu.int/>).

A Tabela 14 apresenta o inventário das fontes emissoras identificadas no domínio de estudo e sua área envolvente. As emissões são constituídas por diversos tipos de poluentes, nomeadamente, CO, NO_x, SO_x, COVNM, e metais (níquel, zinco, cádmio, etc.), bem como os gases com efeito de estufa, dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄).

Tabela 14 - Emissões atmosféricas das indústrias identificadas pelo EPER no domínio de estudo (<http://www.eper.cec.eu.int/>).

Empresa	Longitude / Latitude	Poluente	Quantidade (toneladas)	
			2001	2004
RAR - Cogeração Unipessoal Lda.	-8.645628 / 41.174586	SO ₂	-	158
		Níquel	-	0,0918
Monteiro Ribas - Indústrias SA	-8.617592 / 41.183216	COVNM	1400	770
Ernesto do Sousa Ribeiro SA	-8.644076 / 41.166507	Tricloroetano	60	47
Unidade Fabril de Avintes	-8.531148,4 / 1.086923	NO _x	429	192
		SO _x	206	307
		Arsénio	-	0,0232
		Chumbo	0,706	0,348
Aterro Sanitário de Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira (Sermonde)	-8.584110 / 41.047243	CH ₄	-	372
Soplaril Portugal-Industria de transformação e venda de suportes flexíveis para embalagem, Lda	-8.553568 / 41.030773	COVNM	-	863
SN MAIA Siderurgia Nacional, SA	-8.554412 / 41.257542	CO	-	2 660
		CO ₂	535 000	167 000
		NO _x	134	143
		SO _x	243	241
		Arsénio	-	0,0571
		Níquel	0,191	0,0898
		Chumbo	0,671	0,616
		Zinco	6,73	3,18
Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro	-8.441872 / 41.057915	CO ₂	2 720 000	2 310 000
		N ₂ O	-	31,5
		NO _x	3 170	2 410
PortCast, Fundação nodular SA	-8.600008 / 41.229552	Cádmio	0,015	0,0241
		Mercurio	-	0,138
Unicer Cervejas SA - Centro de Produção de Leça do Balio	-8.626640 / 41.213630	NO _x	389	319
Central de Tratamento de Resíduos Urbanos do Grande Porto	-8.652983 / 41.227506	CO ₂	-	369 000
		NO _x	259	383
		HCl	17	12,3
Refinaria do Porto	-8.710568 / 41.202227	CO	-	313 000
		CO ₂	958 000	1 130 000
		N ₂ O	-	11,3
		COVNM	-	374
		NO _x	2 380	2 660
		SO _x	15 400	10 700
		Cádmio	0,269	0,523
		Crómio	1,7	0,532
		Cobre	-	0,275
		Níquel	11,4	1,42
Zinco	-	1,58		
Aterro Sanitário de Santo Tirso	-8.488712 / 41.342600	CH ₄	-	156

Da análise dos dados da Tabela 14 verifica-se que de 2001 para 2004 a emissões tem vindo



a diminuir. Por outro lado a análise dos mapas da Figura 27 mostra que o número de empresas situadas nos concelhos vizinhos ao Porto têm vindo a aumentar, de 7 em 2001, para 10 em 2004 (dois aterros sanitários e uma empresa de tratamentos de superfície e produtos orgânicos solventes).

Como anteriormente referido, estas fontes foram integradas na base de dados criada durante este trabalho.

Por outro lado, em termos de emissões de poluentes ditos regulados (para os quais existe legislação específica para a qualidade do ar), pela análise da Tabela 15 é possível verificar que no domínio de estudo foram emitidas quantidades significativas destes poluentes. Em particular, é de realçar que os poluentes emitidos em área na cidade do Porto, correspondem respectivamente, a 61,5 % do NO_x, a 4,3 % do CO e a 12,4 % do SO_x emitido pelas fontes pontuais EPER em todo o domínio.

Tabela 15 - Peso relativo das fontes em área no concelho do Porto face às fontes pontuais

Poluentes regulados \ Emissões (ton)	Fontes Pontuais no domínio	Fontes em Área no concelho do Porto	Peso relativo das fontes em área face às pontuais (%)
Óxidos de enxofre (SO _x)	11 406,0	1 410,0	12,4
Óxidos de azoto (NO _x)	5 964,0	3 670,0	61,5
Monóxido de carbono (CO)	315 660,0	13 510,0	4,3
Partículas (PM ₁₀)	73,2	nd	--
Chumbo (Pb)	0,964	nd	--

nd: Dados não disponíveis

Por esta razão, será de esperar uma forte influência das fontes pontuais, em particular para o CO e SO_x.

4. Modelação da qualidade do ar

A modelação da qualidade do ar, foi realizada por aplicação de um modelo numérico de prognóstico, quer dos parâmetros meteorológicos, quer dos valores de concentração dos diversos poluentes na atmosfera. Nesta fase, tal como foi referido, apenas foram modelados o SO₂, o NO₂ e o CO. As estimativas efectuadas foram validadas face aos dados observados nas estações de qualidade do ar do domínio de estudo. Os resultados obtidos permitem desde já afirmar que as freguesias que apresentam maior degradação da qualidade do ar relativamente aos poluentes em análise, são as freguesias de Ramalde e Paranhos. Outro aspecto relevante é a importância para a qualidade do ar da cidade do Porto de algumas das fontes industriais mais relevantes existentes na sua envolvente, em particular a Noroeste, quadrante dos ventos predominantes na região.

4.1. Modelo

O modelo TAPM (The Air Pollution Model)(Figura 28) é um modelo de prognóstico de dispersão atmosférica 3D desenvolvido pelo CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research University Organization na Austrália (Hurley et al., 2005). Trata-se de um modelo usado para a simulação da dispersão, tanto à escala local como à escala regional, constituído por um módulo para prognóstico à mesoscala dos parâmetros meteorológicos e outro de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos.

O módulo meteorológico do TAPM é um modelo que pode operar, quer em modo hidrostático, quer em modo não-hidrostático, e que resolve as equações primitivas que descrevem as variáveis atmosféricas sobre uma malha tridimensional cuja coordenada vertical segue o traçado do terreno (terrain-following). Pertence ao grupo de modelos usados para o prognóstico à mesoscala dos campos meteorológicos e por isso utiliza bases de dados topográficas e de uso do solo para caracterizar detalhadamente o terreno e os parâmetros que afectam a evolução da situação meteorológica.

Para a transferência de informação entre a escala sinóptica e a escala local/regional seja mais eficaz o TAPM permite a utilização da técnica de *nesting*. Assim, é assegurado que os campos de ventos obtidos para uma região relativamente pequena incluem os efeitos introduzidos por estruturas orográficas não contempladas no domínio de estudo mais pequeno, mas que modificam de forma significativa o regime de circulação. Para o forçamento inicial das condições fronteira, o modelo utiliza por defeito os dados da análise sinóptica realizados pelo *Bureau of Metereology* australiano sendo também possível usar dados europeus, ECMWF ou americanos, AVN.

A componente de dispersão atmosférica pode ser efectuada, quer com base numa formulação lagrangeana, especialmente útil para a realização de estudos junto a fontes pontuais com a simulação dos efeitos dos edifícios próximos, quer com base num modelo euleriano de dispersão que inclui reacções fotoquímicas entre os poluentes reactivos. Esta componente que usa os dados do componente meteorológico encontra-se dividida em quatro módulos responsáveis pela resolução de equações de prognóstico da concentração, correlação da concentração e da temperatura potencial virtual, cálculos da dispersão junto à fonte, cálculos da dispersão da pluma, etc.. A componente da relativa ao tratamento dos poluentes na atmosfera inclui também um módulo para a simulação da deposição seca e húmida. A componente fotoquímica é baseada num mecanismo semi-empírico denominado Generic Reaction Set, sendo também incluídas as reacções na fase gasosa do dióxido de enxofre e partículas.

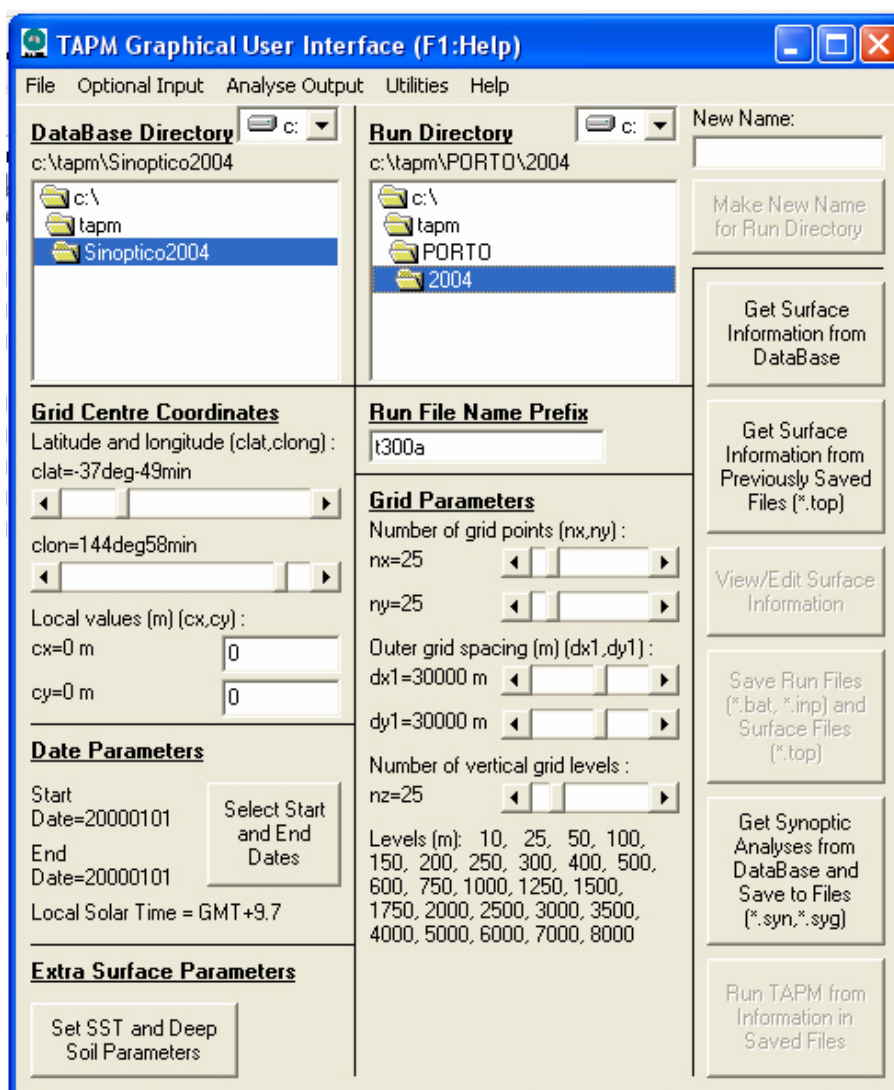


Figura 28 - Interface do modelo TAPM.

4.2 Metodologia

Para o cálculo da qualidade do ar para a cidade do Porto foram usadas as emissões totais antropogénicas de SO_x, NO_x, CO e COVNM, associadas aos sectores de actividade da produção de energia, indústria transformadora, transportes rodoviários, comércio, serviços, zonas residenciais, agricultura, floresta e pescas anteriormente estimados para o ano de referência de 2004 (vide ponto 3).

O modelo foi usado no seu modo reactivo para quatro sub-domínios meteorológicos segundo uma técnica de *nesting*. O primeiro sub-domínio possuía 750 km x 750 km, correspondentes a uma malha quadrangular de 25 x 25 células de 30 km x 30 km; o segundo sub-domínio tinha 250 km x 250 km, correspondentes a uma malha quadrangular de 25 x 25 células de 10 km x 10 km; O terceiro sub-domínio tinha 75 km x 75 km, correspondentes a uma malha quadrangular de 25 x 25 células de 3 km x 3 km e, por último, o quarto sub-domínio com 25 km x 25 km, correspondentes a uma malha quadrangular de 25 x 25 células de 1 km x 1 km. As emissões foram distribuídas sobre a malha mais interior e com igual resolução (1 km x 1 km). O ponto central de todas as malhas coincide com um ponto central da cidade do Porto localizado na escola secundária Carolina Michaelis (Figura 29).

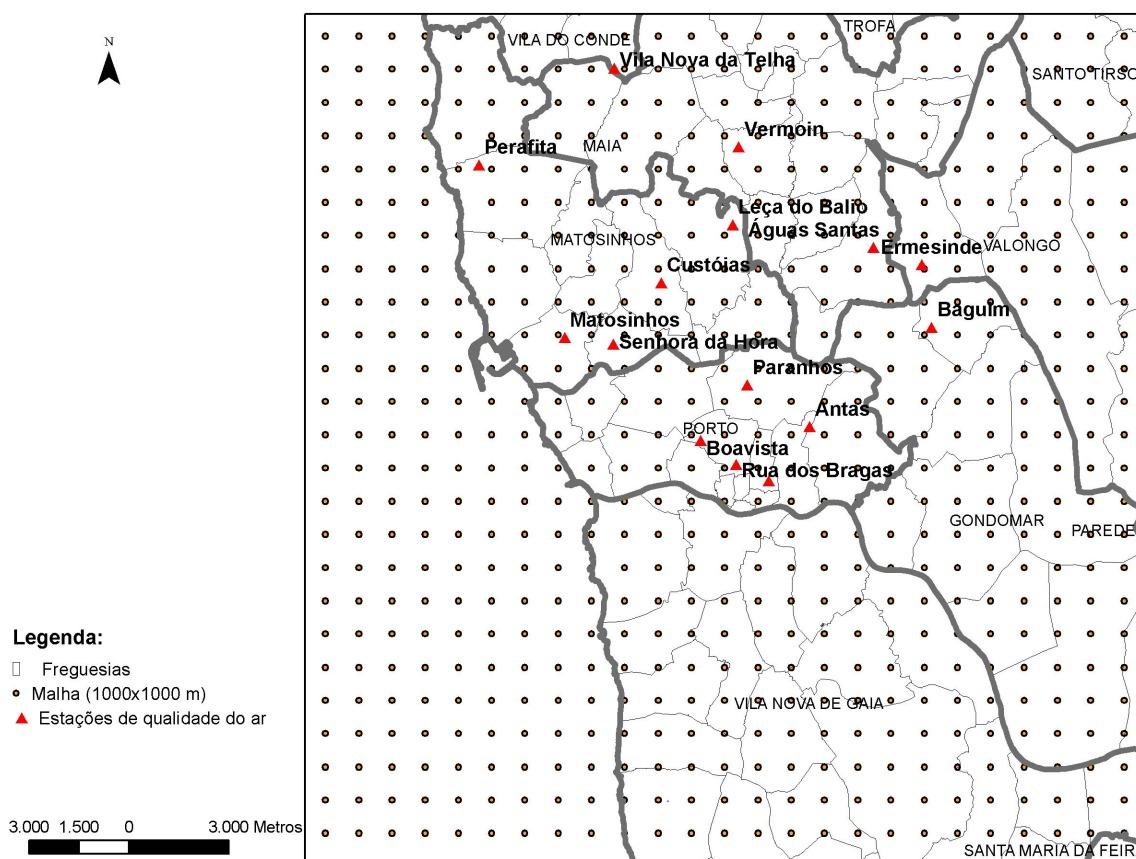


Figura 29 - Domínio de estudo.



O modelo usou como concentração de fundo os valores médios de concentração da estação de fundo de Vila Nova da Telha (Tabela 16).

Tabela 16 - Concentração média ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) registada na estação de Vila Nova da Telha entre os anos de 2000 e 2004 inclusive, para SO_2 , NO_x e CO.

	Poluentes		
	SO_2	NO_x	CO
Concentração média ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	5,27	21,59	394,17

4.3 Análise de resultados

Como anteriormente referido, o modelo foi corrido para o ano de referência de 2004 para SO₂, NO₂ e CO. Todos os resultados serão, nesta fase, apresentados em base média horária ou octo-horária, no caso do CO.

Na Figura 30 apresentam-se os resultados relativos à estimativa das concentrações médias horárias para SO₂. Como pode ser observado, existe uma forte associação dos valores mais elevados de SO₂ às áreas onde estão referenciadas fontes pontuais ou em área importantes. É relevante referir que as freguesias do concelho do Porto mais afectadas são as de Ramalde e Paranhos, no entanto, os valores observados estão muito abaixo dos valores limite para protecção à saúde Humana.

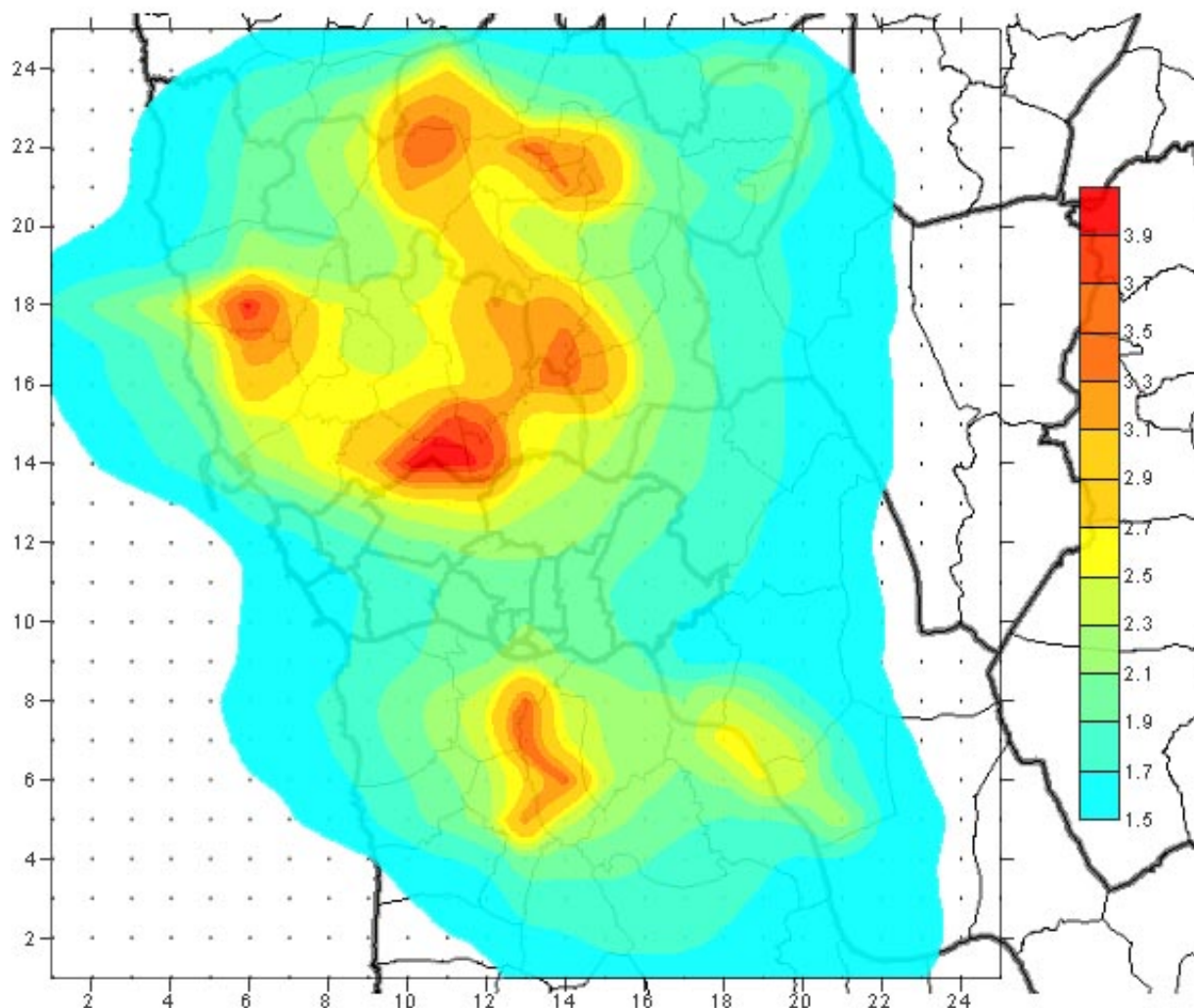


Figura 30 - Concentração média horária de SO₂ no domínio de estudo para o ano de 2004 (μg.m⁻³).

Na Figura 31 apresentam-se os resultados relativos à estimativa das concentrações médias horárias para NO₂. Como pode ser observado, existe uma forte associação dos valores mais

elevados de NO₂ às áreas onde estão referenciadas não só fontes pontuais, mas também as zonas mais densamente povoadas. Este fenómeno está directamente relacionado com a importância que o tráfego rodoviário tem nas concentrações atmosféricas deste poluente.

Embora as freguesias de Ramalde e Paranhos continuem a ser as que apresentam uma qualidade do ar mais degradada, outras freguesias do centro da cidade do Porto apresentam níveis elevados deste poluente. É relevante referir, no entanto, que os valores observados estão abaixo dos valores limite para protecção à saúde Humana.

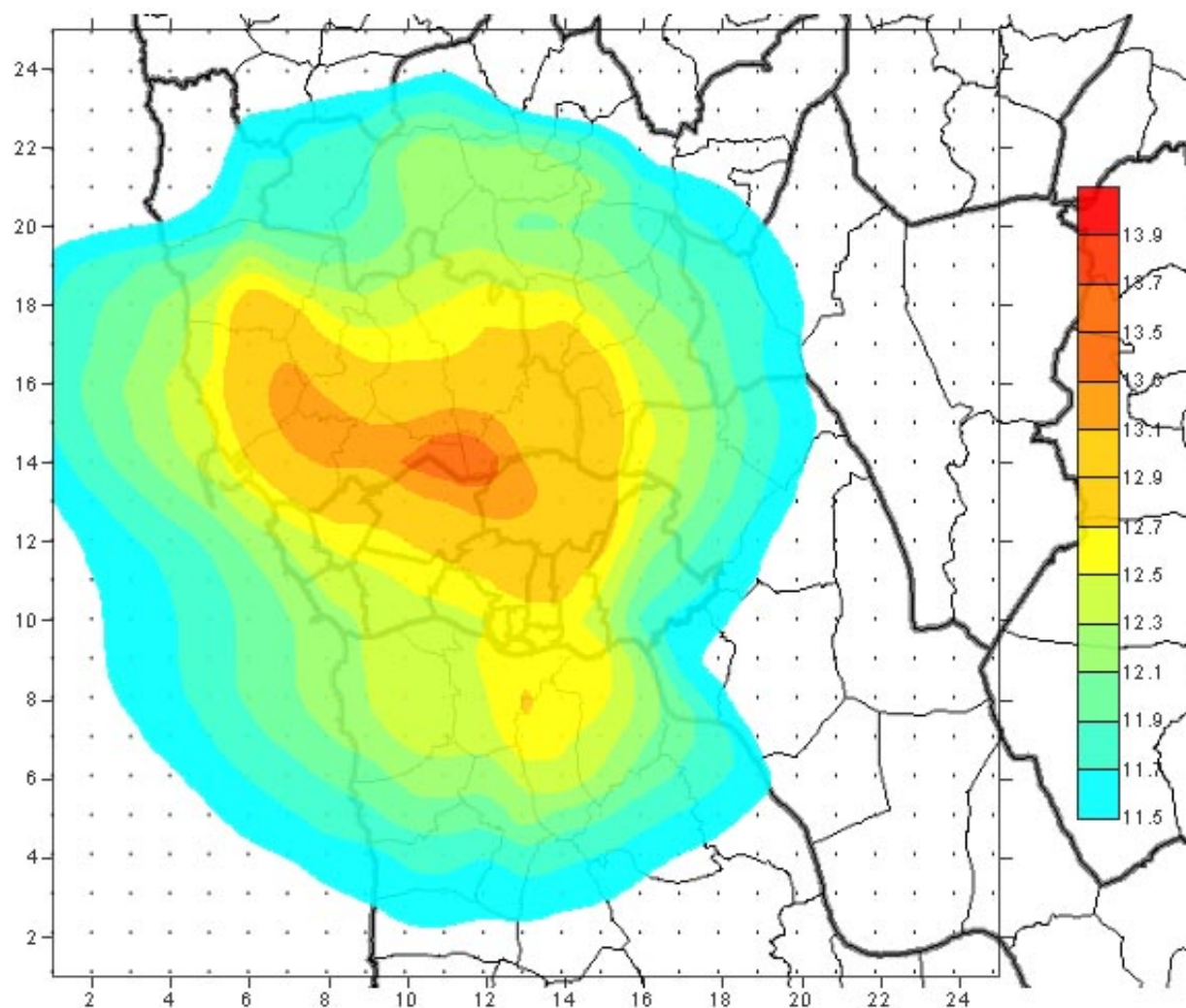


Figura 31 - Concentração média horária de NO₂ no domínio de estudo para o ano de 2004 (µg.m⁻³).

Na Figura 32 apresentam-se os resultados relativos à estimativa das concentrações médias octo-horárias para CO. Como pode ser observado, existe uma forte associação dos valores mais elevados de CO às áreas onde estão referenciadas fontes pontuais. Salientem-se as fontes pontuais situadas no concelho de Matosinhos e a fonte pontual de produção energética situada a Sul no concelho de Gondomar.

Embora o concelho do Porto seja atingido pelo penacho, em particular das fontes pontuais situadas a Noroeste, os valores observados são relativamente baixos face aos valores limite legalmente estabelecidos para protecção à saúde Humana.

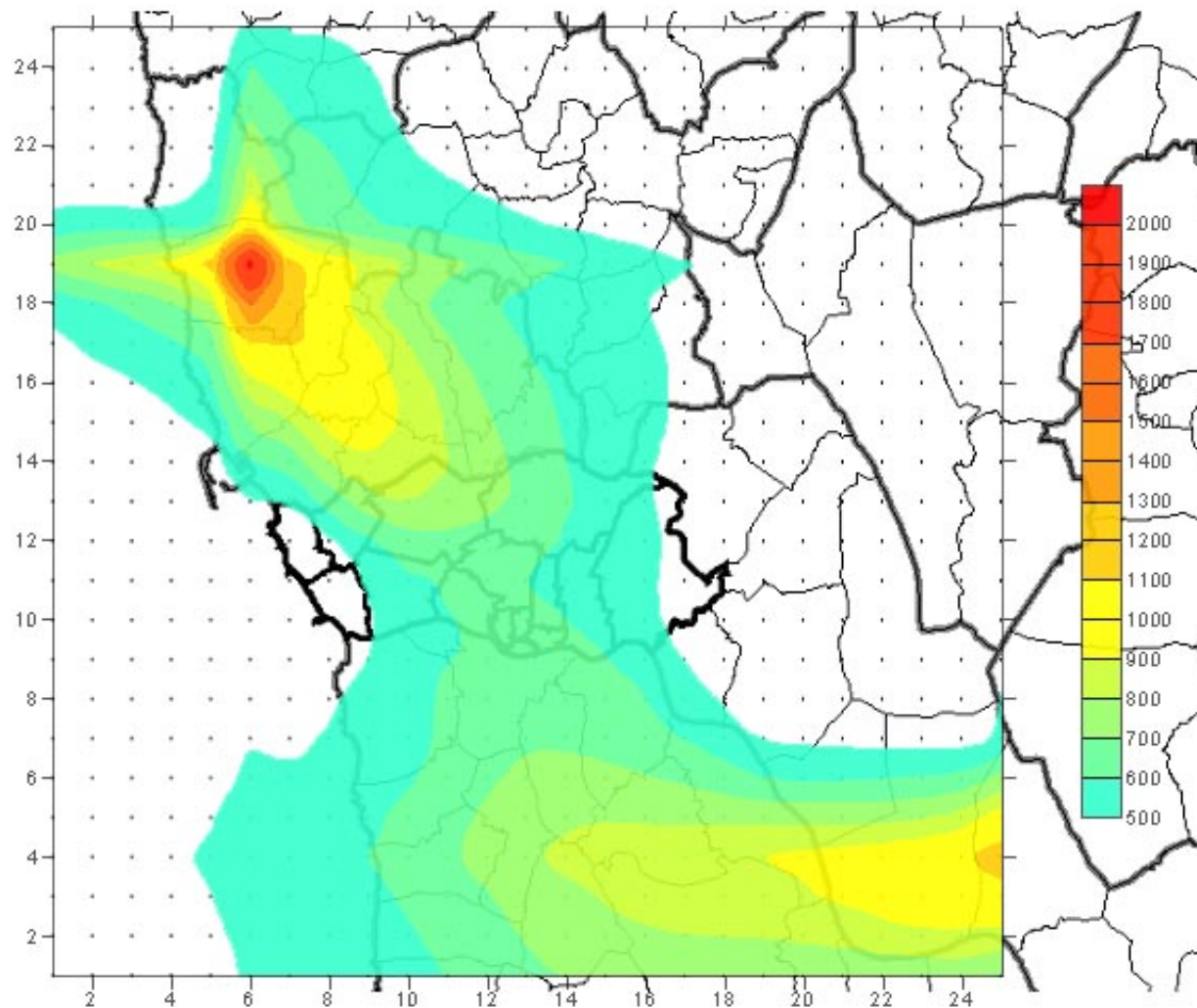


Figura 32 - Concentração média octo-horária de CO no domínio de estudo para o ano de 2004 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

4. Conclusão

A presença de poluentes na atmosfera tem efeitos na qualidade de vida e saúde humana, impacte na fauna e flora, bem como nos materiais, no clima e nas características da atmosfera. A exposição por curtos períodos a concentrações elevadas de poluentes atmosféricos tem impactos associados facilmente identificados. No entanto, exposições prolongadas a concentrações relativamente baixas têm efeitos cujo conhecimento está ainda em clara evolução, pois dependem da amplitude temporal que pode ainda não ter sido atingida. Apesar de ser vastíssimo o conjunto dos compostos que actualmente são considerados poluentes atmosféricos, pode-se encontrar um grupo mais restrito, sobre o SO_x , o NO_x , o CO e um conjunto de COV's.

Com este trabalho pretendeu-se efectuar uma avaliação da situação das emissões provenientes de vários tipos de fontes localizadas na cidade do Porto e seu impacte na qualidade do ar da cidade. Assim, concluiu-se que:

1. Emissões de fontes em área

Pela análise das emissões por freguesia segundo origem da fonte, verifica-se que a maioria das emissões de NO_x , CO e COVNM, são provenientes do sector dos transportes rodoviários, em média mais de 50% da emissão, e 90% do SO_x é fundamentalmente proveniente do sector industrial e de produção de energia.

A análise espacial por freguesia, fonte e poluente mostra que em termos de emissões totais por área, as maiores emissões se registam-se na zona central da cidade nomeadamente nas freguesias de São Nicolau, Sé, Cedofeita e Bonfim, enquanto que as menores emissões se registam nas freguesias de Nevogilde e Foz do Douro.

Em relação à análise por sector de actividade, verifica-se que as maiores emissões são provenientes do sector industrial e da produção de energia, bem como do sector dos transportes rodoviários, e se registam com maior expressão na freguesia da São Nicolau, Cedofeita e Bonfim. No que respeita ao sector comercial, instituições e zonas residenciais, os resultados mais elevados em termos de emissões registam-se na zona central da cidade, nomeadamente São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita. Relativamente ao sector da agricultura, floresta e pescas não foram alocadas emissões à cidade Porto.

Dos sectores de actividade analisados destaca-se o facto do sector da agricultura, floresta e pescas ser o que menos contribui (zero) para as emissões

totais ao contrário do sector dos transportes rodoviários que corresponde ao de maior peso no domínio em estudo.

2. Emissões de fontes em linha

A metodologia utilizada, permite verificar que os motociclos são a categoria de veículos que apresenta um Factor de Emissão Ponderado (FEP) mais elevado para o CO e para os COV's, enquanto que os veículos pesados são a categoria de veículos que apresenta um FEP mais elevado para o NO_x e para as PM.

Os resultados das emissões em linha para a VCI indicam que os veículos ligeiros de passageiros são os veículos que maior quantidade de poluentes emite. De acordo com o poluente considerado, as emissões relativas variam entre os 48% e os 95% do total de emissões. Este aspecto toma especial relevância na zona da Prelada, onde o volume de tráfego é maior. Os picos de emissão ocorrem durante o período diurno entre as 10h0 e as 21h00, mantendo-se relativamente constante durante todo dia, enquanto que os valores mínimos registam-se por volta das 05h00. No caso do NO_x e das PM a contribuição dos veículos ligeiros e pesados de mercadorias assume um papel relevante, representando cerca de 41% e 11% respectivamente. Em média, na VCI são emitidas anualmente 963 ton de CO, 344 ton de NO_x, 102 ton de COV e 17 ton de PM. Comparativamente com o total em área, verifica-se que esta grande via de tráfego corresponde, em média, a 16% do total das emissões rodoviárias da cidade do Porto.

3. Emissões de fontes pontuais

Segundo o EPER existem três grandes fontes emissoras no domínio de estudo. Na sua envolvente estão instaladas mais 10 que, pela sua dimensão, têm potencialmente capacidade para influenciar a qualidade do ar na cidade do Porto. Todas estas fontes emissoras foram integradas na base de dados agora constituída.

Relativamente à modelação da qualidade do ar, esta foi realizada por aplicação de um modelo numérico de prognóstico, quer dos parâmetros meteorológicos, quer dos valores de concentração dos diversos poluentes na atmosfera: SO₂, NO₂ e CO.

Os resultados obtidos permitem afirmar que as freguesias que apresentam maior degradação da qualidade do ar relativamente aos poluentes em análise, são as freguesias de Ramalde e Paranhos. Outro aspecto relevante é a importância para a qualidade do ar da cidade do Porto de algumas das fontes industriais mais relevantes existentes na sua envolvente, em particular a Noroeste, quadrante dos ventos predominantes na região.



Este trabalho constitui uma primeira abordagem à modelação da qualidade do ar na cidade do Porto e sua envolvente, esperando-se para breve a sua expansão a mais poluentes, nomeadamente às partículas (PM10) e ao ozono (O₃) e um maior refinamento da base de dados de emissões utilizada.

5. Referências

- ACAP, (2001). Valores da idade do parque automóvel português. Associação do Comércio Automóvel de Portugal.
- Baldasano, J. M., Power, H. (1998). Air Pollution Emissions Inventory. WIT Press.
- Barros, N., Fontes, T., Brás, C. (2004). Comparação das Emissões do Tráfego Rodoviário por Análise dos Factores de Emissão. Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa, N.º. 1, pp. 29.
- Barros, N., Fontes, T., Brás, C., Cunha, L.M., (2005). Emissões nas Grandes Linhas de Tráfego Urbanas: O caso da VCI na cidade do Porto, Lisboa, 8.º Conferência Nacional do Ambiente.
- Borrego, J. & Fonseca, C.C. (2004): Transportes e energia: em busca de solução. Transportes em revista, Ano II, n.º 6.
- EMEP/CORINAIR (2006). Emission Inventory Guidebook - Technical report N.º 30, 3.º edição, Copenhaga, European Environment Agency.
- Fontes, T, Barros, N., Gouveia, A., Marques, R., Borrego, C., (2007). Modelo de cálculo de emissões de poluentes atmosféricos: ARLIPE, Aveiro, 9.º Conferência Nacional do Ambiente, pp. 793-801.
- Homepage da Autoinforma. [Em linha]. Disponível em <<http://www.autoinforma.pt/download/Vendas/COMPLP2002.xls>>, [Consultada em 11/02/2005].
- Homepage da Direcção Geral de Geologia e Energia do Ministério das Actividades Económicas e do Trabalho. [Em linha]. Disponível em <http://www.dge.pt/arquivo/comb_conc2000_2003.zip>, [Consultada em 08/01/2005].
- Homepage da EMEP - Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmissions of air pollutants in Europe. [Em linha]. <<http://webdab.emep.int/>>, [Consultada em 16/05/2007].
- Homepage da EPER - The European Pollutant Emission Register. [Em linha]. <<http://www.eper.cec.eu.int/>>, [Consultada em 23/04/2007].
- Homepage da UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, National Inventory Submissions - Portugal. [Em linha]. Disponível em <http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761txt.php> [Consultada em 08/01/2005].
- IA (2002). Relatório do Estado do Ambiente 2001, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.
- ISP (2003). Parque Automóvel Seguro 2000-2001, Instituto de Seguros de Portugal.



Torres, S. & Pereira A, Padrões Habitacionais na Área Metropolitana do Porto, Instituto Nacional de Estatística, Estatísticas & Estudos Regionais - Região Norte, Jan-Abr 1999, N°.19.

Hurley, P., 2005. The Air Pollution Model (TAPM) Version 3. User Manual, CSIRO Atmospheric Research, Internal Paper n31.