

# **INFLUÊNCIA DAS LOMBAS REDUTORAS DE VELOCIDADE NAS EMISSÕES POLUENTES GERADAS PELOS VEÍCULOS AUTOMÓVEIS**

**João Pedro Cruz da Silva**

Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal

**Álvaro Jorge da Maia Seco**

**Ana Maria César Bastos Silva**

Departamento de Engenharia Civil, FCTUC, Universidade de Coimbra, Portugal

**Maria Helena de Aguiar Pereira e Pestana**

Departamento de Métodos Quantitativos, ISCTE, Instituto Universitário de Lisboa, Portugal

## **RESUMO**

A implementação de lombas redutoras de velocidade (LVR) procura normalmente reduzir a velocidade dos veículos incrementando os níveis de segurança locais. Trata-se de uma estratégia essencial para assegurar a coexistência pacífica entre modos de transporte com características de operação potencialmente diversas. Apesar das LRV se revelarem eficazes na compatibilização das velocidades entre os diversos modos envolvidos, as suas implicações em termos de alterações nos níveis de poluição gerados pelos veículos são ainda pouco conhecidas. No entanto, e tendo em conta a importância crescente da vertente ambiental este é um tema que urge analisar. Neste contexto o presente artigo descreve um trabalho de investigação, realizado recorrendo a um veículo instrumentado, no qual um conjunto de 18 condutores percorreu repetidamente 17 lombas com características diferentes. Os dados coligidos permitiram, recorrendo a um modelo de emissões instantâneas, melhorar o nível de conhecimento relativo à influência do comportamento dos condutores nas emissões poluentes.

## **ABSTRACT**

Usually the implementation of speed humps is done to reduce vehicles speed and therefore increasing safety levels and improving the quality of the urban area. As a result it is an essential strategy to ensure peaceful coexistence between modes of transport with potentially different operating characteristics. If speed humps prove effective in matching the speeds of the various modes of transport the implications in terms of pollution levels generated by vehicles are still poorly known. However, given the growing importance of the environmental issues this is a theme that must be addressed. In this context the present article describes a research work carried out using an instrumented vehicle in which a group of 18 drivers traveled repeatedly in 17 speed humps. The data collected allowed, through the use of an instantaneous emissions model, the improvement of the level of knowledge regarding the influence of driver behavior in polluting emissions.

## **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de lombas redutoras de velocidade (LRV) como medida de acalmia de tráfego é, nos dias de hoje, uma prática corrente em todo o mundo. No entanto, estas têm surgido como uma forma simples e eficaz de solucionar uma questão de segurança decorrente da necessidade de compatibilizar as velocidades de modos de transporte que exibem características de operação diferentes. Nesta conformidade a sua implementação embora, habitualmente, resolva ou atenuar os problemas de segurança identificados, pode revelar-se como não sendo uma medida globalmente eficiente, designadamente quando se efectua uma avaliação integrada que tenha em conta as questões ambientais.

Neste contexto o presente artigo tem como objectivo central contribuir para melhorar o nível de conhecimento relativo aos impactos ambientais decorrentes da implementação de LRV em função das várias tipologias de comportamentos dos condutores de veículos automóveis.

O trabalho foi realizado recorrendo a dados reais coligidos no decurso de numerosas sessões de recolhas de dados efectuadas em vários locais e suportadas por um veículo instrumentado para o efeito e que foi conduzido por um conjunto de condutores.

De forma resumida descreve-se o processo de instrumentação do veículo dando-se particular

ênfase aos indicadores seleccionados para caracterizar o comportamento do condutor e aos equipamentos adoptados para a sua recolha. A metodologia de recolha de dados é, igualmente, abordada sendo expostas as principais variáveis obtidas e que suportaram a realização das fases subsequentes.

O cálculo dos valores de poluição emitidos nas sessões de condução nomeadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foi efectuado através de um modelo de emissões instantâneas conforme indicado no ponto 3 do presente artigo.

No ponto 4 estabelecem-se, com base nos dados obtidos e análises efectuadas, algumas relações que permitem quantificar a influência das LRV nas emissões de CO<sub>2</sub> face a diversas tipologias de comportamento de condutores.

## **2. RECOLHA DE DADOS**

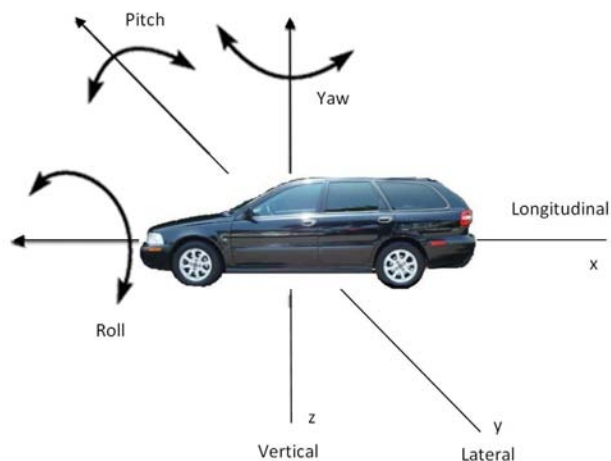
### **2.1. Instrumentação do Veículo**

Para suportar a recolha de dados foi utilizado um veículo ligeiro instrumentado, tipo carrinha, da marca *Volvo*, modelo V40. Esta viatura, pela sua relação peso/potência e características de condução/utilização, está perfeitamente enquadrada nos segmentos C e D que são os mais representativos a nível Europeu representando o típico veículo ligeiro médio. Este, no início das sessões de campo, tinha uma quilometragem bastante baixa (20 000 km) estando em perfeitas condições de conservação e manutenção, constituindo assim uma excelente plataforma de base à instrumentação realizada e, consequentemente, às posteriores sessões de recolha de dados.

#### *2.1.1. Selecção das Variáveis a Recolher*

Em termos estratégicos optou-se por dotar o veículo com um conjunto de equipamentos que permitisse a recolha de variáveis e dados para o presente trabalho e que pudesse igualmente constituir uma plataforma para a realização de outros estudos comportamentais, tais como para o estudo das inter-relações entre as três componentes do sistema de tráfego (condutor, infra-estrutura e veículo). Nessa óptica considerou-se essencial dispor de um sistema que permitisse a recolha do seguinte conjunto de variáveis:

- Posição;
- Velocidade instantânea;
- Aceleração segundo um sistema de eixos triaxial ortonormado (Figura 1);
- Rotação angular segundo o sistema de eixos anterior (*Pitch*, *Roll* e *Yaw* de acordo com a nomenclatura anglo-saxónica, (Grewal *et al.*, 2007);
- Accionamento do acelerador do veículo;
- Rotação do motor.



**Figura 1:** Sistema de eixos adoptado

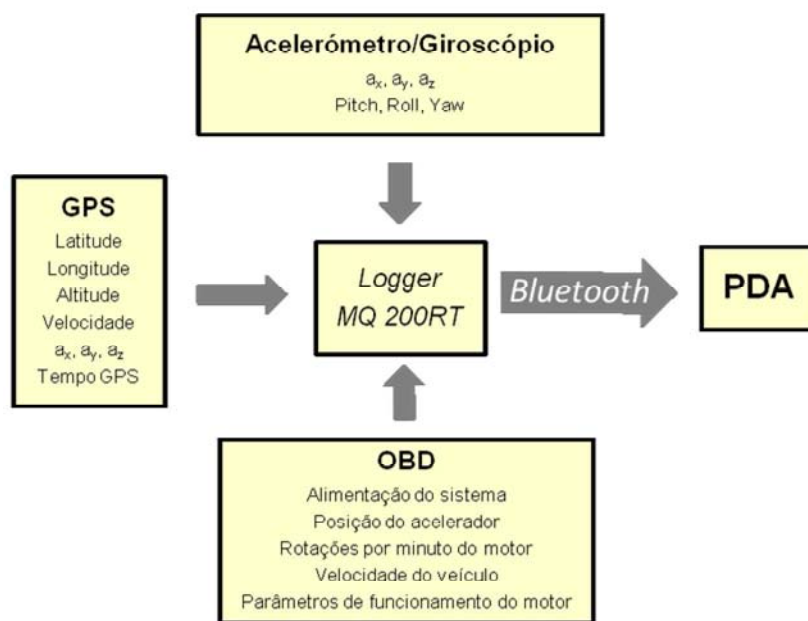
No âmbito do presente estudo, a posição do veículo, a velocidade, a aceleração segundo a direcção do movimento do veículo e o *Pitch* (a rotação angular em torno de um eixo horizontal perpendicular à direcção do movimento do veículo), são consideradas como as variáveis mais relevantes.

Em complemento, foi ainda desenvolvido um sistema de recolha de imagens que permite a caracterização do enquadramento do veículo no ambiente rodoviário. É assim possível avaliar a existência de eventuais condicionamentos impostos pela presença de outros veículos na sua proximidade, ou ainda o nível de serviço do arruamento registado numa determinada situação.

#### 2.1.2. Equipamentos Adoptados

A recolha das variáveis referentes ao movimento do veículo foi conseguida por recurso a um equipamento de recolha de sinais dotado de um receptor GPS (*Global Positioning System*), três acelerómetros perpendiculares entre si, um giroscópio para registo dos valores de *Pitch*, *Roll* e *Yaw* e uma ligação à OBD (*On Board Diagnosis*) do veículo. Designado de Maxqdata MQ 200RT (Maxqdata, 2007). Este sistema possui um *software* próprio que permite a visualização dos dados obtidos bem como a sua exportação para outros formatos compatíveis, nomeadamente folhas de cálculo.

Todos os dados coligidos a partir das várias fontes são transmitidos em tempo real e de forma bastante fiável (Prabhu e Reddi, 2006), através do protocolo Bluetooth, para um PDA (*Personal Digital Assistant*) e gravados para um cartão de memória do tipo SD (*Secure Digital*), recorrendo ao *software* facultado pelo fabricante do equipamento. Dada a grande capacidade dos cartões de memória SD este sistema permite, assim, uma autonomia de gravação de dados muito grande tendo revelado uma elevada fiabilidade e facilidade de utilização. A Figura 2 resume a arquitectura geral adoptada para a recolha de variáveis dinâmicas.



**Figura 2:** Fluxograma ilustrativo da recolha de dados dinâmicos

O receptor GPS funciona a uma cadência de 5 Hz facultando para além da posição e velocidade do veículo, as correspondentes acelerações laterais e longitudinais calculadas pelo sistema GPS. Em termos posicionais, a precisão deste tipo de receptores é da ordem dos 3 m, com um grau de certeza de 95%, para valores de precisão horizontal ou HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) inferiores a 1,5 (Ghilani e Wolf, 2008). Refira-se que o MQ-200RT faculty este dado igualmente a 5 Hz, e que no decurso das sessões de recolha de dados ele esteve sempre abaixo desse valor. A antena do GPS foi instalada por colagem magnética no tejadilho do veículo, assegurando a melhor visibilidade possível em relação aos satélites.

A velocidade foi calculada a partir do efeito *Doppler* da onda portadora do sistema GPS (Samama, 2008). De acordo com a generalidade dos fabricantes os níveis de fiabilidade e precisão conseguidos, recorrendo a esta metodologia, são excelentes apresentando erros da ordem dos 0,1 a 0,2 m/s independentemente do valor da velocidade (RT, 2008; Racelogic, 2009). Testes independentes confirmaram a robustez deste procedimento tendo-se verificado que em trajectos rectilíneos 82% dos resultados estavam a menos de 0,4 m/s do valor real (Witte e Wilson, 2004).

As acelerações vertical, lateral e longitudinal foram obtidas a partir de um dos acelerómetros internos do MQ 200RT com uma resolução máxima de 0,01 g a uma frequência de 50 Hz (Maxqdata, 2007). Refira-se que dada a natureza do estudo a aceleração vertical é um parâmetro extremamente importante uma vez que é, geralmente, utilizado como um indicador do desconforto percebido pelo condutor (Watts, 1974; Blundell e Harty, 2004; DfT, 2007; Ewing e Brown, 2010).

Por sua vez, os valores de *Pitch*, *Roll* e *Yaw* são disponibilizados pelo giroscópio triaxial do sistema MQ 200RT com uma resolução de 0,1 grau/s. Para a presente análise o único relevante é o valor do *Pitch* o qual apresentou oscilações bastante acentuadas sempre que o veículo “embatia” na LRV.

No que concerne à recolha de imagens relativas ao enquadramento do veículo o sistema adoptado baseou-se na montagem de um computador na bagageira dotado de uma placa de aquisição de imagem do tipo GV 800-4 que permite a aquisição e gravação de imagens de quatro câmaras a uma cadência de 30 imagens por segundo (por câmara) (Geovision, 2006). Foram instaladas, no veículo, três câmaras sendo uma delas voltada para a frente do veículo outra para a retaguarda e uma terceira voltada para o condutor e que permitia, igualmente, visualizar a parte lateral esquerda exterior ao veículo (Figura 3). A visualização das imagens, que é efectuada através do *software* próprio do equipamento, permitiu detectar nomeadamente se o condutor circulava ou não em regime livre de circulação.



**Figura 3:** Câmara frontal e lateral (a) e traseira (b)

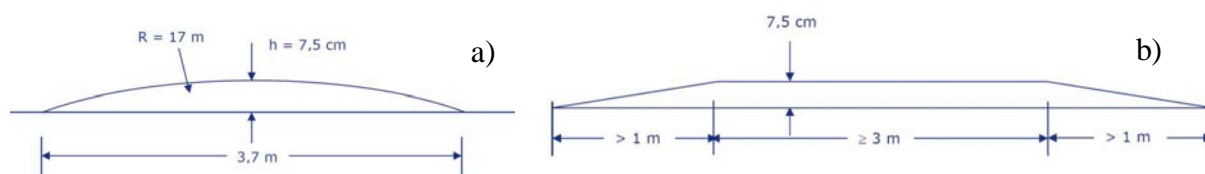
## 2.2. Selecção dos Locais e Condutores

A escolha dos locais objecto de estudo requereu uma procura de locais providos de lombas, ou sequência de lombas, integradas na rede rodoviária e que respondessem aos objectivos pré-estabelecidos para o estudo. Por razões logísticas, que se prendem essencialmente com a facilidade/custos de deslocação do equipamento e dos condutores envolvidos, optou-se por limitar a selecção dos locais à região centro de Portugal. Complementarmente foram ainda considerados os seguintes critérios de selecção:

- Características físicas da medida de acalmia. A lomba foi considerada relativamente bem concebida do ponto de vista geométrico, tendo por referência recomendações das referências bibliográficas mais conceituadas (ITE, 1993; Webster, 1993) bem como o enquadramento técnico nacional (DGV, 2004) ilustrado na Figura 4;
- Traçado em planta e perfil longitudinal do trecho. De forma a minimizar influências externas na velocidade foram considerados trechos de aproximação e de inserção da lomba com traçados em planta relativamente rectilíneos e com inclinação longitudinal pouco significativa (inferior a 2%);
- Visibilidade. Foram consideradas as medidas inseridas num trecho com boas condições de visibilidade;
- Localização relativa no trecho. Foram seleccionadas medidas localizadas fora da área de influência de outras singularidades do traçado (cruzamentos, locais de estacionamento, estreitamentos de via, outras medidas, etc.) de modo a restringir as variáveis que influem na velocidade seleccionada pelo condutor;
- Fluxos de tráfego. Todos os locais seleccionados estão sujeitos a fluxos de tráfego baixo ou médio de modo a viabilizar secções de recolha de dados em regime livre de circulação;
- Número de lombas no trecho. De modo a optimizar os recursos humanos e financeiros, foi



considerada como condição favorável a existência de lombas sucessivas em cada trecho mas respeitando uma separação mínima de acordo com o critério acima referido.



**Figura 4:** Lomba circular (a) e trapezoidal (b)

Tendo por base estes critérios foram seleccionados três trechos: a N110 no trecho localizado entre Antanhol e Valongo, a EM589 junto a Casal do Barril e a N362 junto a Porto de Mós. Por facilidade de identificação dos trechos estes serão designados por N110, Casal do Barril e Porto de Mós, respectivamente (Figura 5). Em conjunto estes três locais dispõem de um total de 17 LRV (4 circulares e 13 trapezoidais) com alturas compreendidas entre 0,05 e 0,09 m e comprimentos que variam entre 4,2 e 11,4 m.



**Figura 5:** Locais de recolha de dados (Fonte: Google Earth e Google Maps)

Foi considerada uma amostra de 18 condutores. O grupo era maioritariamente constituído por condutores masculinos integrando, no entanto, também cinco condutoras. Todos tinham pelo menos dois anos de experiência de condução, conduziam um mínimo de 10 000 km anuais e tinham idades compreendidas entre os 24 e os 29 anos. Estes critérios centraram-se na definição de uma amostra razoavelmente homogénea de condutores, procurando reduzir ao mínimo um nível de variabilidade dos dados que era incomportável caracterizar em profundidade, já que a tentativa de representação da população portuguesa se revelava, do ponto de vista humano, financeiro e temporal, impraticável. Os critérios utilizados na formação da amostra de condutores são similares aos utilizados em outros estudos

comportamentais de natureza similar (Bastos Silva, 2004).

### 2.3. Metodologia Adoptada na Recolha de Dados

Previamente às sessões de recolha de dados todos os condutores tiveram oportunidade de conduzir livremente o veículo instrumentado durante um período que cada um deles considerou suficiente para estar completamente familiarizado com os comandos e as características de operação deste. Complementarmente, em cada um dos locais de teste os condutores fizeram ainda pelo menos duas voltas completas de forma a se inteirarem de todo o percurso bem como dos locais de inversão de marcha e troca de condutores.

Cada sessão envolveu simultaneamente dois condutores, sendo que cada um deles conduziu o veículo no máximo durante meia hora, de modo a evitar fenómenos de fadiga. Este procedimento foi repetido até que cada um dos condutores fizesse entre 16 a 18 passagens em cada circuito. No final de cada secção os dados recolhidos foram transferidos para um computador. Todas as secções de recolha de dados foram efectuadas durante o dia, e sob condições climatéricas favoráveis, do modo a não incorporar outros efeitos na análise.

### 2.4 Dados Coligidos

Após a recolha de dados foi efectuado o visionamento exaustivo das imagens recolhidas o que permitiu retirar da base de dados as passagens realizadas sob a influência de outros veículos. Deste processo resultou um conjunto de 6234 passagens válidas sendo então calculadas, com base em algoritmos programados em VBA (*Visual Basic for Applications*), um conjunto de variáveis cinemáticas das quais se destacam as seguintes:

- **Vmax**, Velocidade máxima na entrada. Trata-se da velocidade máxima entre a secção de entrada (sb) e a lomba;
- **Vx**, Velocidade a x m da lomba;
- **VI**, Velocidade na lomba;
- **V-75VIV150**, Soma das variáveis **V-75**, **VI** e **V150**;
- **Avmax**, Aceleração vertical máxima. Valor máximo, em módulo, da aceleração vertical registada na passagem da lomba menos a aceleração da gravidade;
- **Ahent**, Aceleração horizontal média nos últimos 25 m anteriores à entrada na lomba. Variável calculada a partir das velocidades **V-25** e **VI** registadas na travagem de abordagem da lomba. Mais uma vez, dado que estamos em presença de uma desaceleração, o valor será sempre negativo;
- **Ahsai**, Aceleração horizontal média nos 50 m subsequentes à saída da lomba. Variável calculada a partir das velocidades **VI** e **V50**;
- **AhentAhsai**, Soma, em módulo, das variáveis **Ahent** e **Ahsai**.

## 3. CÁLCULO DOS VALORES DE POLUIÇÃO EMITIDOS

Tendo por base os dados dinâmicos recolhidos de acordo com a metodologia anteriormente exposta foram calculadas as emissões poluentes recorrendo ao modelo de emissões CMEM (*Comprehensive Modal Emissions Model*). Este modelo foi desenvolvido pela Universidade de California-Riverside (*College of Engineering-Center for Environmental Research and Technology*, CE-CERT) juntamente com investigadores da Universidade de Michigan e do *Lawrence Berkeley National Laboratory* tendo o patrocínio do *National Cooperative Highway Research Program*. Este projecto teve como objectivo desenvolver um modelo de emissões modais que calcule, de forma precisa, as emissões de veículos de passageiros e

mercadorias de acordo com o modo de operação do veículo. Os dados facultados são: consumo de combustível, CO<sub>2</sub>, CO, HC e NO<sub>x</sub> com uma cadência de 1 Hz (Barth *et al.*, 2000). Segundo um estudo britânico (Tate *et al.*, 2005) apesar de o modelo ter sido desenvolvido nos Estados Unidos a sua abrangência e flexibilidade de configuração em termos de características dos veículos a analisar permitem que este seja utilizado em outros contextos, designadamente o Europeu. A utilização do modelo é bastante simples e pode funcionar nos sistemas operativos habituais dos computadores pessoais. Deste modo, o utilizador tem de facultar ao programa dois tipos de dados de base: (i) os dados referentes ao veículo ou frota de veículos a ser testada; (ii) os dados que caracterizam o percurso efectuado (velocidade e aceleração longitudinal instantânea a uma cadência de 1 Hz). Neste estudo a análise centrou-se nos valores de CO<sub>2</sub> emitido.

Com base nos dados dinâmicos a utilização do modelo permitiu, deste modo, o cálculo dos valores de poluição gerada nas duas fases principais de transposição de uma lomba: a aproximação considerando um trecho 75 m antes da lomba (variável **CO2ent**), a saída considerando um trecho de 150 m (variável **CO2sai**) e a soma destes dois valores (variável **CO2tot**). Estas distâncias foram adoptadas na sequência de um visionamento exaustivo de imagens e perfis de velocidade tendo-se concluído que a zona de influência das LRV se situava, na esmagadora maioria dos casos, entre estes valores.

#### 4. INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DAS LRV E DO COMPORTAMENTO DOS CONDUTORES NAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

Este ponto centra-se na avaliação do desempenho das lombas em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, comparativamente à situação de referência sem existência de lomba. Dado que o valor das emissões em causa é fortemente influenciado pelo comportamento dos condutores (Ntziachristos e Samaras, 2000; Int Panis *et al.*, 2006; ACEA, 2010; Carslaw *et al.*, 2010) esta análise foi efectuada de forma segregada para cada um dos condutores.

Na simulação do cenário sem lomba partiu-se do pressuposto de que os condutores manteriam uma velocidade constante e igual à velocidade máxima registada na aproximação à lomba (**Vmax**) no decurso dos 75 m precedentes à lomba e nos 150 m seguintes à passagem desta. Desta forma, o comprimento é igual ao definido para a variável **CO2tot** legitimando a comparação dos valores obtidos pelos dois cenários. Para o cálculo dos valores de emissão de CO<sub>2</sub> a velocidade constante, recorreu-se novamente ao modelo CMEM. Os resultados desta análise, são apresentados de forma segregada por condutor (Tabela 1). Os condutores foram ordenados em função da variável **Vmax** sendo apresentados os valores de **CO2tot** calculados para a situação com e sem lomba, assim como a correspondente variação percentual. A análise da última coluna evidencia um acréscimo significativo da variável **CO2tot** na situação com lombas. Esse acréscimo varia entre um mínimo de 67,5% para o condutor que apresenta a menor **Vmax** e 140% para o condutor mais célere em termos de **Vmax**. Saliente-se ainda o facto de, independentemente do valor da **Vmax**, das características da lomba e do comportamento do condutor, a instalação de uma lomba resultar invariavelmente num acréscimo do nível de emissões de CO<sub>2</sub>.

É de sublinhar a diferença acentuada registada entre o condutor mais “ecológico” e o mais “poluente” corroborando, na íntegra, as considerações tecidas em numerosas abordagens nesta área (De Vlieger *et al.*, 2000; Ntziachristos e Samaras, 2000; Int Panis *et al.*, 2006; Pandian *et al.*, 2009; ACEA, 2010; Carslaw *et al.*, 2010) que enfatizam o papel do comportamento do



condutor no valor de CO<sub>2</sub> emitido. Os valores de acréscimo não são porém proporcionais à **V<sub>max</sub>** dado que dependem igualmente do nível de aceleração adoptado pelos condutores à saída da lomba. O valor médio do acréscimo de emissões aproxima-se dos 100%, significando que, em termos gerais, a introdução de uma lomba resulta na duplicação do nível de emissões de CO<sub>2</sub>. Dado que o nível de emissões de CO<sub>2</sub> está directamente associado ao consumo de combustível este será, igualmente, afectado negativamente numa proporção similar. Deve ser referido que estes valores, quer em termos absolutos quer em termos relativos, devem ser tomados como indicativos de uma ordem de grandeza dado as premissas de base assumidas e, as incertezas no cálculo de emissões poluentes (Journard *et al.*, 1999; Smit *et al.*, 2010).

Apesar destas reservas em relação à exactidão dos valores calculados de CO<sub>2</sub> a ordem de grandeza da diferença entre os dois cenários traçados aponta, de forma bastante explícita, para o facto de a implementação de lombas se revelar um factor potenciador de uma externalidade negativa em termos ambientais e também num aumento do consumo de combustível. Este facto deve ser considerado em eventuais análises comparativas entre soluções de redução da velocidade dos veículos sendo, desde já, visível que medidas que promovam velocidades moderadas de forma contínua ao longo de um trecho tenderão a apresentar um melhor desempenho ambiental. No entanto trata-se inequivocamente de uma medida de acalmia bastante eficaz e que, face ao seu custo relativamente reduzido, também se revela eficiente.

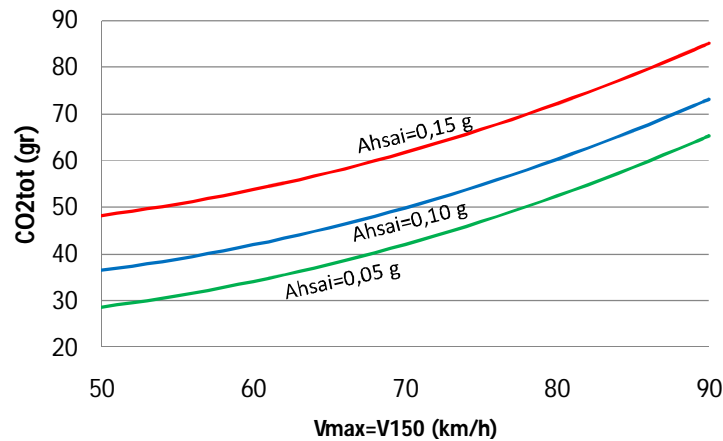
**Tabela 1:** Emissões de CO<sub>2</sub>, por condutor, comparação com e sem lombas

Ordem	Condutor	V <sub>max</sub> (km/h)	Emissões de CO <sub>2</sub> (gr)		
			Cenário hipotético sem lombas (V=Const.=V <sub>max</sub> )	Situação actual com lombas CO <sub>2</sub> tot	variação percentual
1	13	69,2	23,6	56,6	140,0
2	10	68,7	23,5	55,7	137,1
3	6	66,8	23,0	47,3	105,7
4	5	66,6	23,0	45,8	99,4
5	9	66,5	23,0	50,5	119,8
6	1	65,7	22,8	47,5	108,5
7	15	65,6	22,8	47,1	106,5
8	14	65,2	22,7	47,9	111,0
9	16	65,0	22,6	44,4	96,3
10	17	64,9	23,0	45,2	96,6
11	18	64,2	25,6	54,2	112,1
12	4	62,4	25,9	44,4	71,6
13	3	61,5	25,7	43,5	69,3
14	11	61,5	25,7	52,4	104,2
15	2	60,7	25,5	46,8	83,5
16	7	59,1	25,1	46,7	85,8
17	12	58,8	25,0	45,7	82,5
18	8	55,3	24,3	40,7	67,5
média		63,8	24,0	47,9	99,9

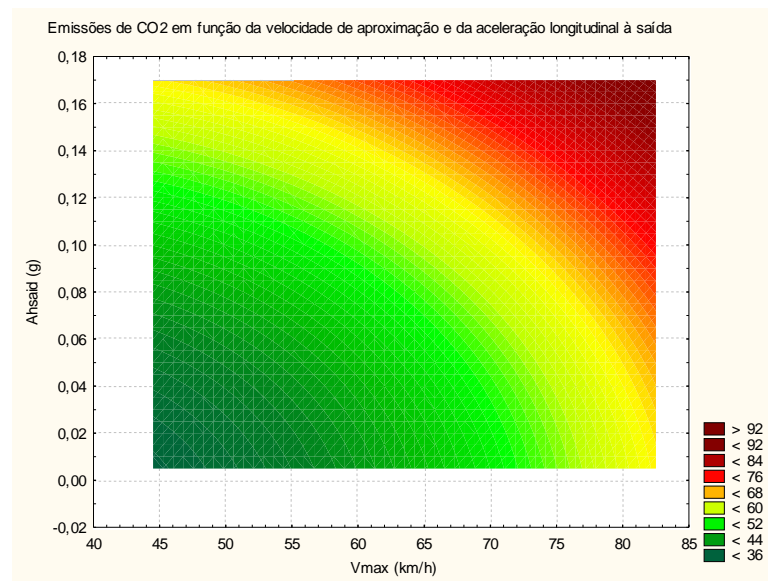
Nota: As emissões de CO<sub>2</sub> foram calculadas considerando um trecho de 225m de extensão em que 75m são antes da lomba e os restantes 150m após esta de acordo com a definição da variável CO<sub>2</sub>tot.

Por sua vez, a Figura 6 mostra a aplicação de um modelo desenvolvido, recorrendo a técnicas de regressão múltipla, para caracterizar esta situação em que se assume que a velocidade na aproximação é igual à velocidade 150 m após a transposição da lomba. Refira-se que a

correlação entre estas duas variáveis é bastante forte, sendo a **V150**, geralmente um pouco inferior à **Vmax**. É assim possível visualizar a influência da aceleração longitudinal à saída da lomba (**Ahsai**), que depende directamente do comportamento do condutor e, em particular, da velocidade adoptada no circuito sendo possível verificar que a variação do CO<sub>2</sub> com a velocidade de circulação no trecho não é linear, mas quadrática. De forma análoga o acréscimo das emissões em função da **Ahsai** não é linear, verificando-se que esse acréscimo aumenta significativamente com o aumento da aceleração adoptada. Confirma-se que, a adopção de comportamentos agressivos (**Ahsai** normalmente superiores a 0,1 g) assume um efeito negativo muito acentuado nas emissões poluentes. Pode também constatar-se que o aumento da agressividade em termos de **Ahsai** assume implicações mais acentuadas em termos de emissões poluentes, comparativamente à velocidade de circulação. A título de exemplo, é expectável que o nível de emissões poluentes associadas a um condutor que circule a 55 km/h e que adopte acelerações bruscas à saída (próximas de 0,15 g) sejam similares às emissões correspondentes a um percurso similar mas que mantenha velocidades de circulação elevadas (cerca de 80 km/h) e acelerações suaves a moderadas (0,05 g).



**Figura 6:** Evolução dos valores da variável **CO2tot** segundo o modelo desenvolvido



**Figura 7:** Valores da variável **CO2tot** em função da aceleração à saída e velocidade de aproximação

Os mesmos resultados podem ser retirados da análise da Figura 7. Nela se pode constatar que a imposição de um acréscimo de 10 km/h na velocidade de aproximação assume um efeito equivalente, em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, a um aumento de cerca de 0,02 g na aceleração à saída. Nesse sentido, é possível concluir que o grau de eficácia da lombagem, em termos ambientais, depende não só da capacidade da lombagem reduzir a velocidade, mas sobretudo da capacidade associada à mesma para impor a adopção de comportamento suaves, particularmente em termos de acelerações longitudinais no trecho de saída. Esta constatação sublinha a importância da realização de novas abordagens neste domínio direccionadas para o estudo comportamental dos condutores face a múltiplas lombagens ou outro tipo de medidas de acalmia de tráfego quando implantadas sequencialmente ao longo de um trecho.

## 5. CONCLUSÕES

No presente artigo é dado um contributo no sentido de aumentar o nível de conhecimento sobre as implicações ambientais decorrentes da utilização de LRV como medidas de acalmia de tráfego. O estudo efectuado baseou-se numa base de dados real coligida com o auxílio de um veículo instrumentado o qual foi conduzido por um conjunto de condutores em diversas LRV de características geométricas e de enquadramento rodoviário diversas. Foi descrito o processo de selecção de parâmetros representativos do comportamento do condutor e posterior escolha dos equipamentos instalados no veículo. A metodologia de recolha de dados e processos de cálculo conducentes à determinação dos valores de CO<sub>2</sub> emitidos nos diversos eventos de condução foram igualmente apresentados.

Dos resultados obtidos e análises efectuadas ressaltam duas conclusões fundamentais. Em primeiro lugar a implementação de uma LRV resulta sempre num acréscimo nos valores de CO<sub>2</sub> emitidos na zona de influência da lombagem. Em termos médios esse acréscimo situa-se nos 100%. Em segundo lugar verificou-se que o comportamento do condutor, nomeadamente no que se refere à aceleração longitudinal à saída da LRV, tem uma influência determinante na grandeza do aumento de emissões de CO<sub>2</sub>.

Como perspectivas futuras de investigação este trabalho vem demonstrar a necessidade de efectuar mais estudos de natureza similar mas aplicados a outras medidas de acalmia de tráfego de forma a possibilitar a realização de análises comparativas entre soluções utilizando uma metodologia de comparação mais abrangente que possa incluir a vertente ambiental.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e, em particular, ao Professor Carlos Rodrigues pela cedência do veículo para a instrumentação e realização das sessões de recolha de dados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEA. (2010) *Eco-driving: Easy to apply, impressive results*. European Automobile Manufacturers Association. acedido a 31/08/2010 a partir de [http://www.acea.be/index.php/news/news\\_detail/eco\\_driving\\_easy\\_to\\_apply\\_impressive\\_results/](http://www.acea.be/index.php/news/news_detail/eco_driving_easy_to_apply_impressive_results/).
- Barth, M., Feng An, et al. (2000) *User's Guide: Comprehensive Modal Emissions Model, Version 2.0*. National Cooperative Highway Research Program, Project 25-11. Washington, D.C.
- Bastos Silva, A. M. C. (2004) *Definição de uma metodologia de concepção de cruzamentos giratórios*. PhD Thesis, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Blundell, M. e D. Harty (2004) *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics* Butterworth-Heinemann. Oxford, UK.
- Carslaw, D. C., P. S. Goodman, et al. (2010) Comprehensive analysis of the carbon impacts of vehicle intelligent speed control. *Atmospheric Environment* 44 (23): 2674-2680.

- De Vlieger, I., D. De Keukeleere, et al. (2000) Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars. *Atmospheric Environment* 34 (27): 4649-4655.
- DfT (2007) *Traffic calming, Local transport note 1/07* Department for Transport, UK. London.
- DGV (2004) *Instalação e Sinalização de Lombas Redutoras de velocidade – Nota técnica*. Despacho nº 109/2004, Direção dos Serviços de Trânsito. Lisboa.
- Ewing, R. e S. J. Brown (2010) *U.S. Traffic Calming Manual*. American Planning Association. Washington, DC.
- Geovision. (2006) *GV-800 Video Capture Card*. Geovision Inc. acedido a 05/06/2006 a partir de <http://www.geovision.com.tw/english/index>.
- Ghilani, C. D. e P. R. Wolf (2008) *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics (12th Edition)* Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- Grewal, M. S., L. R. Weill, et al. (2007) *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- Int Panis, L., S. Broekx, et al. (2006) Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Science of The Total Environment* 371 (1-3): 270-285.
- ITE (1993) *Guidelines for the Design and Application of Speed Humps*. Technical Council Task Force on Speed Humps, Institute of Transportation Engineers. Washington, DC.
- Joumard, R., F. Philippe, et al. (1999) Reliability of the current models of instantaneous pollutant emissions. *The Science of The Total Environment* 235 (1-3): 133-142.
- Maxqdata, L. (2007) *MQ200 User Manual*. Maxqdata. Bellevue, WA.
- Ntziachristos, L. e Z. Samaras (2000) Speed-dependent representative emission factors for catalyst passenger cars and influencing parameters. *Atmospheric Environment* 34 (27): 4611-4619.
- Pandian, S., S. Gokhale, et al. (2009) Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14 (3): 180-196.
- Prabhu, C. S. R. e P. A. Reddi (2006) *Bluetooth Technology and Its Applications with JAVA and J2ME* Prentice-Hall of India Pvt.Ltd. New Delhi.
- Racelogic. (2009) *VBOX Accuracy*. Racelogic Limited. acedido a 25/06/2009 a partir de <http://www.racelogic.co.uk/?show=VBOX-Accuracy>.
- RT. (2008) *SPEEDBOX Technical Datasheet*. Race Technology Ltd, . acedido a 20/04/2008 a partir de [http://www.race-technology.com/product\\_data\\_sheets\\_2\\_30524.html](http://www.race-technology.com/product_data_sheets_2_30524.html).
- Samama, N. (2008) *Global Positioning: Technologies and Performance* WileyBlackwell Hoboken, NJ.
- Smit, R., L. Ntziachristos, et al. (2010) Validation of road vehicle and traffic emission models - A review and meta-analysis. *Atmospheric Environment* 44 (25): 2943-2953.
- Tate, J. E., M. C. Bell, et al. (2005) The Application of an IntegratedTraffic Microsimulation and Instantaneous Emission Model to Study the Temporal and Spatial Variations in Vehicular Emissions at the Local-Scale. Transport and Air Pollution, *14th International Symposium*, June 1 - 3, Graz, Austria.
- Watts, G. R. (1974) Road humps for the control of vehicle speeds: G. R. Watts 1973 Transport and Road Research Laboratory Report 597 (40 pages, 14 figures, 6 tables, 2 references). *Journal of Sound and Vibration* 37 (4): 585-586.
- Webster, D. C. (1993) *Road Humps for Controlling Vehicle Speeds*. Transport Research Laboratory (TRL) Project Report 18, Department of the Environment and Department of Transport. London.
- Witte, T. H. e A. M. Wilson (2004) Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, Elsevier 37: 1891-1898.