

# MODELAÇÃO DA VELOCIDADE EM LOMBAS ISOLADAS

João Pedro Silva<sup>1</sup>, Álvaro Seco<sup>2</sup>, Maria Helena Pestana<sup>3</sup>, Ana Bastos Silva,<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Campus 2, Morro do Lena – Alto do Vieiro 2411-901 Leiria Portugal

email: jpsilva@ipleiria.pt <http://www.estg.ipleiria.pt>

<sup>2</sup>Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal

<sup>3</sup>Departamento de Métodos Quantitativos, ISCTE, Instituto Universitário de Lisboa, Avenida das Forças Armadas 1649-026 Lisboa, Portugal

---

## Sumário

*As lombas redutoras de velocidade (LVR) são uma medida de acalmia de tráfego extensivamente utilizada, tendo habitualmente um nível de eficiência elevado. Apesar disso, subsiste um conhecimento deficiente sobre o seu efeito real nos perfis de velocidade ao longo da sua transposição. Neste contexto o presente artigo descreve um trabalho de investigação, suportado por um veículo instrumentado, no qual um conjunto de 18 condutores percorreu repetidamente 17 lombas com características diferenciadas. Os dados coligidos permitiram, recorrendo a modelação matemática, melhorar o nível de conhecimento e explicar matematicamente os perfis de velocidade adotados nas proximidades da LRV.*

---

**Palavras-chave:** Lombas redutoras de velocidade, acalmia de tráfego, perfis de velocidade.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de lombas redutoras de velocidade (LRV) como medida de acalmia de tráfego é, atualmente, 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. Apesar disso, subsiste um conhecimento deficiente sobre o efeito real das lombas no comportamento do condutor numa perspetiva integrada que contemple a avaliação da evolução dos perfis de velocidade nas proximidades da LRV, assim como a sua relação com as suas características físicas prevalentes e do ambiente rodoviário.

Neste contexto o presente artigo tem como objetivo central contribuir para melhorar o nível de conhecimento relativo aos perfis de velocidade decorrentes da implementação de uma LRV.

O trabalho foi realizado recorrendo a dados reais coligidos no decurso de um conjunto alargado de sessões de recolhas de dados efetuadas em vários locais e suportadas por um veículo devidamente instrumentado para o efeito. O mesmo foi conduzido por um conjunto de 18 condutores em 17 LRV com características físicas diferenciadas, embora com dimensões dentro de parâmetros aceitáveis tendo por base as recomendações técnicas nacionais e estrangeiras da especialidade.

De forma sucinta, descreve-se o processo de instrumentação do veículo dando-se particular ênfase aos indicadores selecionados e aos equipamentos adotados para a sua recolha. A metodologia de recolha de dados é, igualmente, abordada sendo expostas as principais variáveis recolhidas e que suportaram a realização dos trabalhos de modelação.

A modelação dos perfis de velocidade foi efetuada recorrendo a técnicas de regressão hierarquizada tendo por base os perfis reais de velocidade anteriormente obtidos. Este trabalho permitiu o desenvolvimento de vários modelos matemáticos que permitem prever a velocidade dos veículos nas imediações de uma LRV. A aplicação

destes modelos permite, assim, conhecer de antemão o impacto previsível que a implementação de um determinado tipo de LRV poderá ter na velocidade praticada nesse trecho de estrada.

## 2 LOMBAS REDUTORAS DE VELOCIDADE

### 2.1 Definição

As Lombas Redutoras de Velocidade (LRV) são medidas de acalmia de tráfego que consistem na alteração de cota da superfície do pavimento da estrada com o objetivo de produzir um impacto visual e físico no condutor e, dessa forma, induzir à redução da velocidade de circulação. A sua eficácia resulta da incomodidade imposta ao condutor durante a sua transposição a velocidades superiores à velocidade de projeto [1, 2].

Segundo o despacho da (extinta) Direção Geral de Viação [3], designa-se por LRV uma secção elevada da faixa de rodagem construída em toda a largura desta com carácter não temporário, dimensionada com o objetivo de causar desconforto crescente nos ocupantes dos veículos com o aumento da velocidade durante o seu atravessamento. Tal efeito não pode, porém, ser significativo para velocidades de valor igual ou inferior ao recomendado e, nestes casos, não pode provocar qualquer dano nos veículos (desde que estes não excedam o limite de velocidade legal).

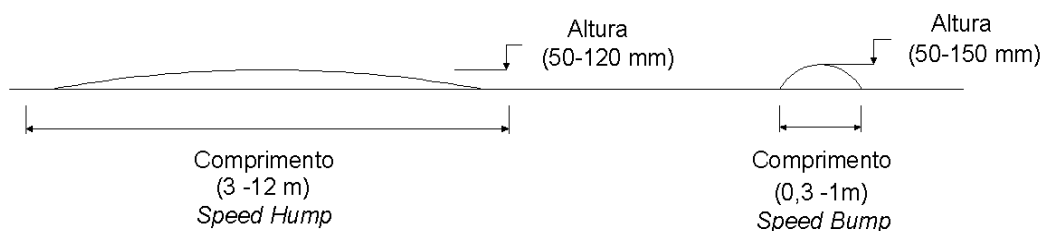
### 2.2 Evolução do Conceito

Os primeiros trabalhos científicos de procura de soluções de engenharia que permitissem reduzir eficazmente a velocidade do tráfego remontam à década de 70, tendo sido desenvolvidos por G. R. Watts do Transport and Road Research Laboratory (TRRL) na Grã-Bretanha [1]. Como resultado deste estudo surge uma solução “*standard*” de uma lomba com perfil circular de 3,7 m de comprimento e 100 mm de altura, a qual foi aplicada em 9 locais para potenciar o desenvolvimento de trabalhos de investigação complementar [4].

Foi assim, essencialmente a partir da década de 90, que este tipo de medida se expandiu a muitos outros países da Europa, Estados Unidos e Austrália, o que justificou a elaboração de vários manuais de apoio à sua conceção geométrica e definição de regras de aplicação [5-7]. Portugal não foi exceção e desde essa época que a medida tem sofrido um alargamento do seu domínio de aplicação abrangendo vias urbanas, suburbanas e embora de forma menos expressiva vias inter-urbanas. Essa expansão acabou por motivar, em 2004, a publicação de um documento de índole recomendativa, a qual ao imanar indicações dimensionais e de aplicação [3] representa um forte contributo para a uniformização das soluções e sua sinalização.

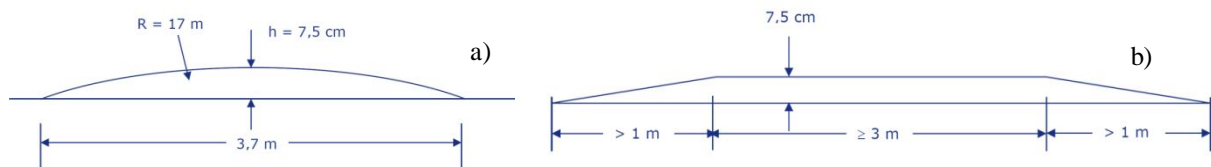
### 2.3 Tipologias

Nas suas primeiras aplicações, as lombas foram subdivididas em dois grupos, em função do seu comprimento. O primeiro tipo, designado nas fontes anglo-saxónicas de *speed hump* inclui elevações do perfil longitudinal entre 5 e 12 cm e comprimentos de 3 a 12 m. (Fig.1) O segundo, conhecido por *speed bump* ou *speed thump* compreende medidas com elevações entre 5 e 15 cm e comprimentos entre 0,3 e 1,0 m [8, 9].



**Fig. 1 Perfis típicos de *speed hump* e de *speed bump* [9]**

Dentro do grupo das *speed humps*, as mais comuns são as de perfil circular, também conhecidas por perfil *Watts*, e as trapezoidais que podem ser associadas a um atravessamento pedonal (Fig.2). Estas duas tipologias estão previstas em numerosos documentos técnicos de vários países, incluindo Portugal [3].



**Fig. 2. LRV circular (a) e trapezoidal (b)**

### 3 RECOLHA DE DADOS

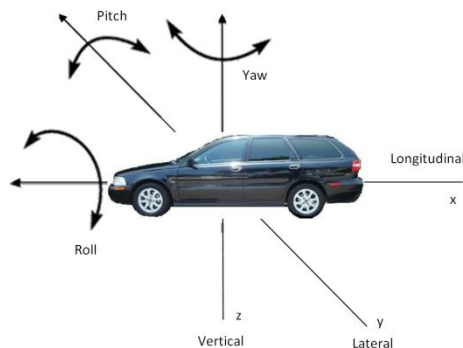
#### 3.1 Instrumentação do veículo

Para apoiar 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 (veículos familiares pequenos a médios com comprimentos entre aproximadamente 4.3 e 4.8 m). 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, conseqüentemente, às posteriores sessões de recolha de dados.

##### 3.1.1 Seleção 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 de dados que pudesse igualmente constituir uma plataforma para a realização de outros estudos de natureza similar, tais como para o estudo das inter-relações entre as três componentes do sistema de tráfego (condutor, infraestrutura e veículo). Assim 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 (Fig. 3);
- Rotação angular segundo o sistema de eixos anterior: guinada, rolamento e inclinação (*Pitch*, *Roll* e *Yaw* respetivamente, de acordo com a nomenclatura anglo-saxónica), [10];
- Acionamento do acelerador do veículo;
- Rotação do motor.



**Fig.3. Sistema de eixos adotado**

Para este trabalho, a posição do veículo, a velocidade, a aceleração segundo a direção do movimento do veículo e a guinada (a rotação angular em torno de um eixo horizontal perpendicular à direção do movimento do veículo), são as variáveis mais relevantes.

Foi igualmente desenvolvido um sistema de recolha de imagens permitindo a caracterização do enquadramento do veículo no ambiente rodoviário. Foi assim possível avaliar a existência de eventuais condicionamentos impostos pela presença de outros veículos que circulavam na sua proximidade.

### 3.1.2 Equipamentos Adotados

A recolha das variáveis referentes ao movimento do veículo foi conseguida por recurso a um equipamento de recolha de sinais (designado de Maxqdata MQ 200RT [11]) dotado de um recetor GPS (*Global Positioning System*), três acelerómetros perpendiculares entre si, um giroscópio e uma ligação à OBD (*On Board Diagnosis*) do veículo. Todos os dados coligidos a partir das várias fontes são transmitidos em tempo real, através do protocolo *Bluetooth*, para um PDA (*Personal Digital Assistant*) e gravados para um cartão de memória do tipo SD (*Secure Digital*).

O recetor GPS funciona a uma cadência de 5 Hz facultando para além da posição e velocidade do veículo, as acelerações laterais e longitudinais calculadas pelo sistema GPS. A antena do GPS foi instalada no tejadilho do veículo, assegurando a melhor visibilidade possível em relação aos satélites.

As acelerações verticais, laterais e longitudinais 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 [11]. 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 [2, 12-14]. Por sua vez, os valores de guinada, rolamento e inclinação são disponibilizados pelo giroscópio triaxial do sistema com uma resolução de 0,1 grau/s. Para a presente análise o único relevante é o valor da guinada 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 adotado constou na montagem de um computador dotado de uma placa de aquisição de imagem do tipo GV 800-4 [15]. Foram instaladas três câmaras sendo uma delas voltada para a frente outra para a retaguarda e uma terceira voltada para o condutor e que permitia, igualmente, visualizar a parte lateral esquerda exterior ao veículo.

A Fig. 4 ilustra a arquitetura geral do sistema adotado.

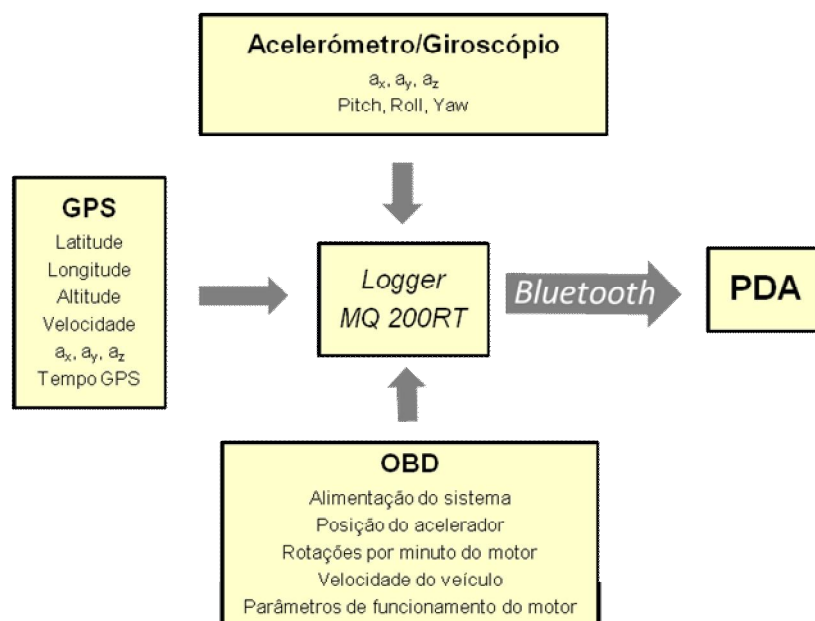


Fig. 4. Arquitetura geral do sistema adotado

### 3.2 Seleção dos locais e condutores

A escolha dos locais objeto de estudo requereu uma procura de locais providos de lombas, ou sequência de lombas, integradas na rede rodoviária e que respondessem aos objetivos 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 seleção dos locais à região centro de Portugal. Complementarmente foram ainda considerados os seguintes critérios de seleção:

- Características físicas da medida de acalmia. A LRV foi considerada relativamente bem concebida do ponto de vista geométrico, tendo por referência recomendações das referências bibliográficas mais conceituadas [16, 17] bem como o enquadramento técnico nacional [3];
- 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 retilíneos 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 selecionadas 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 selecionada pelo condutor;
- Fluxos de tráfego. Todos os locais selecionados 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 otimizar 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.

Tendo por base estes critérios foram selecionados três trechos: a N110 no trecho localizado entre Antanho 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, respetivamente (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.

Foi considerada uma amostra de 18 condutores. O grupo era maioritariamente constituído por condutores masculinos integrando 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. Este procedimento é similar ao utilizado em outros estudos comportamentais de natureza similar [18].

### 3.3 Metodologia adotada 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 através do cartão SD. Todas as secções de recolha de dados foram efetuadas durante o dia, e sob condições climáticas favoráveis, de modo a não incorporar outros efeitos na análise.

### 3.4 Dados coligidos

Após a recolha de dados foi efetuado 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.

A partir destes dados foram obtidas duas bases de dados. A primeira é composta por dados discretos relativos a cada uma das passagens tais como a velocidade de transposição da lomba, aceleração vertical máxima, velocidade máxima na aproximação, aceleração à saída da LRV, níveis de CO<sub>2</sub> emitidos etc. A segunda compreende os registos de velocidade quase contínuos (com uma frequência de 5 Hz de cada uma das trajetórias anteriores. Esta segunda base de dados serviu de base ao desenvolvimento dos modelos de velocidade.

## 4 DESENVOLVIMENTO DOS PERFIS DE VELOCIDADE

### 4.1 Tipos de Modelos

Recorrendo à base de dados contínua foram desenvolvidos, recorrendo a técnicas de regressão múltipla hierarquizada, três modelos para estimar a velocidade de um veículo em função da sua posição relativa em relação à lomba, das suas características físicas prevaletentes e do seu enquadramento rodoviário. As análises foram levadas a cabo recorrendo ao *software* de análise estatística SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*). Em termos globais, os modelos diferem no tipo de variáveis de base adotadas. Deste modo, o primeiro modelo a ser desenvolvido foi designado de Modelo Base, com condutores. Neste modelo foram consideradas, no seu desenvolvimento, as variáveis inerentes às características geométricas da lomba (**T**, **lt** e **h**), da via (**P**), do enquadramento rodoviário (**Visent**, **Vissai**) a velocidade máxima na aproximação (**Vmax**) e os condutores (sob a forma de variáveis binárias). Por uma questão de gestão do espaço no presente texto estas variáveis explicativas são descritas após a apresentação dos modelos. Este modelo pretende incorporar a totalidade de variáveis explicativas disponíveis esperando-se, por conseguinte, que a variância explicada seja a mais elevada.

O segundo modelo, designado por Modelo Base, é idêntico ao anterior mas suprimindo-se os condutores do modelo. Nesta conformidade, este modelo terá uma aplicabilidade prática mais facilitada permitindo a estimação da velocidade nas imediações da LRV face à velocidade de aproximação, às características da lomba e enquadramento rodoviário local.

Finalmente o terceiro e último modelo desenvolvido é similar ao segundo mas foi desenvolvido sem ter em conta a velocidade máxima na aproximação (**Vmax**). Pretendeu-se assim desenvolver, um modelo bastante simples que possa ser aplicado apenas com o recurso a variáveis locais facilmente mensuráveis embora seja expectável que o grau de rigor seja inferior aos dois anteriores.

Note-se que a seleção das variáveis a incorporar na versão final de cada modelo está dependente do processo de desenvolvimento deste, sendo neste caso importante a avaliação dos aspetos decorrentes da multicolinearidade. Esta questão foi particularmente notória no primeiro dos modelos desenvolvidos tendo vários condutores sido suprimidos do modelo final. Em resumo, foram desenvolvidos os seguintes modelos:

- Modelo Base, com Condutores;
- Modelo Base;
- Modelo Simplificado.

### 4.2 Modelação dos perfis de velocidade

A amostra que serviu de base ao desenvolvimento dos modelos é de grande dimensão, constituindo uma mais-valia assinalável para a qualidade das análises e por conseguinte da robustez dos modelos obtidos.

Foi possível concluir que, as variáveis assumiram, geralmente, um comportamento linear com a exceção da distância à lomba (**x**, onde **x=0** corresponde à secção de entrada na lomba). Neste caso, em concreto, foi notório pela observação de múltiplos perfis de velocidade, a existência inequívoca, de um padrão distinto antes e após a

lomba. Deste modo, e na sequência de várias análises preliminares, concluiu-se que o melhor ajustamento é obtido através da equação polinomial de grau 3 na zona antecedente à lomba e através de uma equação quadrática após a transposição desta. Os três modelos desenvolvidos têm assim uma estruturação comum, recorrendo-se a um modelo intermitente<sup>1</sup> [19] o qual se revelou como sendo o mais adequado. Nesta conformidade foram utilizadas duas variáveis binárias auxiliares **F1** e **F2** sendo que **F1** assume o valor “um” para valores de  $x$  inferiores ou iguais a “zero” e, “zero” para valores superiores. Por sua vez, a variável **F2** assume os valores contrários.

Os coeficientes  $R$  e  $R^2$  obtidos, (Quadro 1) foram bastante elevados, o que denota uma elevada percentagem de variância explicada. Conforme esperado, dada a dimensão da amostra, o valor de  $R^2$  ajustado é igual ao de  $R^2$ . Deve ser salientado o contributo algo diminuto associado à variável “condutor” no primeiro modelo. Tal facto deverá ser explicado pela elevada variabilidade intra-condutor que faz com que as variações inter-condutores sejam esbatidas no primeiro modelo. Por outro lado no modelo simplificado as variáveis **Visent** e **Vissai** que nos outros modelos se revelaram redundantes assumem significância neste modelo. É de notar, igualmente, que a forma da lomba não se revelou como um fator determinante contrariamente à altura e comprimento desta.

Os modelos assumem assim as equações genéricas seguintes indicando-se os valores dos coeficientes  $\beta_i$  no Quadro 1.

*Modelo Base, com Condutores:*

$$V_x = \beta_0 + F1(\beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) + F2(\beta_4x + \beta_5x^2) + \beta_6Vmax + \beta_7h + \beta_8lt + \beta_9C_3 + \beta_{10}C_4 + \beta_{11}C_5 + \beta_{12}C_6 + \beta_{13}C_8 + \beta_{14}C_9 + \beta_{15}C_{10} + \beta_{16}C_{11} + \beta_{17}C_{13} + \beta_{18}C_{15} + \beta_{19}C_{16} + \beta_{20}C_{17} + \beta_{21}C_{18} \quad (1)$$

*Modelo Base:*

$$V_x = \beta_0 + F1(\beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) + F2(\beta_4x + \beta_5x^2) + \beta_6Vmax + \beta_7h + \beta_8lt \quad (2)$$

*Modelo Simplificado:*

$$V_x = \beta_0 + F1(\beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) + F2(\beta_4x + \beta_5x^2) + \beta_6h + \beta_7Visent + \beta_8Vissai \quad (3)$$

*Onde:*

**V<sub>x</sub>** – velocidade na secção  $x$  (Km/h)

**x** – distância à lomba ( $x=0$  na lomba e valores negativos no trecho anterior a esta) (m)

**V<sub>max</sub>** – velocidade máxima na aproximação à lomba (Km/h)

**h** – altura da lomba (m)

**lt** – comprimento da lomba (m)

**C<sub>i</sub>** – variável binária referente ao condutor que assume o valor 1 caso seja esse o condutor a considerar e zero se for outro

**Visent** – visibilidade livre máxima à entrada da lomba (m)

**Vissai** – visibilidade livre máxima à saída da lomba (m)

$F1 = 1, F2 = 0$  para  $x \leq 0$

$F1 = 0, F2 = 1$  para  $x > 0$

<sup>1</sup> Modelo que recorre a variáveis qualitativas artificiais ou *dummies* com o intuito de assinalar no modelo de regressão a presença ou ausência de determinada característica.

**Quadro 1. – Coeficientes de regressão do Modelo Base, com condutores**

Modelo Base, com condutores R=0,884; R <sup>2</sup> =0,781			Modelo Base R=0,874; R <sup>2</sup> =0,764		Modelo Simplificado R=0,835; R <sup>2</sup> =0,697	
$\beta_i$	Variável	Valor	Variável	Valor	Variável	Valor
$\beta_0$	(Constant)	8.442	(Constant)	8.526	(Constant)	32.592
$\beta_1$	x F1	-1.211	x F1	-1.222	x F1	-1.215
$\beta_2$	x <sup>2</sup> F1	-.016	x <sup>2</sup> F1	-.016	x <sup>2</sup> F1	-.016
$\beta_3$	x <sup>3</sup> F1	-7.274E-05	x <sup>3</sup> F1	-7.403E-05	x <sup>3</sup> F1	-7.252E-05
$\beta_4$	x F2	.360	x F2	.364	x F2	.366
$\beta_5$	x <sup>2</sup> F2	-.001	x <sup>2</sup> F2	-9.844E-04	x <sup>2</sup> F2	-.001
$\beta_6$	Vmax	.349	Vmax	.353	h	-115.795
$\beta_7$	h	-54.773	h	-60.089	Visent	.009
$\beta_8$	lt	.208	lt	.212	Vissai	.007
$\beta_9$	C3	2.168				
$\beta_{10}$	C4	.719				
$\beta_{11}$	C5	-.410				
$\beta_{12}$	C6	1.427				
$\beta_{13}$	C8	.618				
$\beta_{14}$	C9	-.535				
$\beta_{15}$	C10	-1.964				
$\beta_{16}$	C11	-3.185				
$\beta_{17}$	C13	1.132				
$\beta_{18}$	C15	-.221				
$\beta_{19}$	C16	5.912				
$\beta_{20}$	C17	1.174				
$\beta_{21}$	C18	.453				

## 5 UTILIZAÇÃO PRÁTICA DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

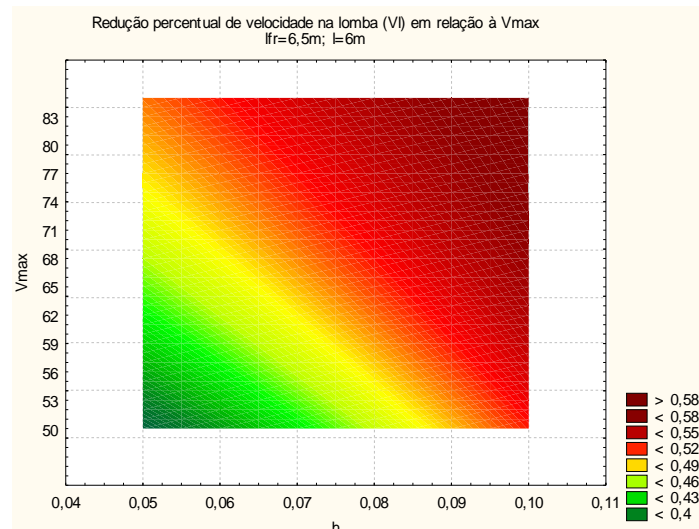
Os modelos desenvolvidos têm um potencial de aplicação bastante interessante dado que permitem efetuar uma avaliação prévia das consequências resultantes da implementação de uma LRV num determinado local bem como estimar as diferenças resultantes de variações nas configurações geométricas adotadas.

As estatísticas nacionais apontam para que cerca de 70% dos acidentes em Portugal ocorram em zona urbana, sendo que um número significativo envolve a participação de utentes vulneráveis e, em particular, o peão. Segundo as entidades oficiais (IMTT e ANSR), o uso de velocidades excessivas, é um dos principais fatores que está na sua origem, afetando quer a frequência quer a gravidade dos acidentes.

Nesta conformidade a harmonização da velocidade em locais sensíveis em que se verifique a interação de modos de transporte com velocidades de operação normais e níveis de vulnerabilidade diferentes torna-se essencial. Os modelos desenvolvidos podem ter aqui um contributo bastante positivo dado que permitem calcular não só a velocidade na lombada mas também a velocidade na zona de aproximação e saída da LRV. Refira-se a este nível que da observação dos perfis reais de velocidade bem como do desenvolvimento dos modelos foi possível verificar que a travagem/abrandamento antecedente à LRV tinha início cerca de 75 m antes desta sendo nos últimos 25 m que a redução de velocidade é mais acentuada. Por outro lado a retoma de velocidade até à sua estabilização processa-se, numa percentagem bastante significativa dos casos, nos 150 m posteriores à transposição da LRV.



Os modelos podem, também, ser traduzidos em forma gráfica permitindo uma visualização mais intuitiva da relação entre as variáveis em jogo. Um exemplo desta abordagem é ilustrado na figura 4 onde se visualiza a redução percentual de velocidade em função da altura da LRV e da velocidade na aproximação ( $V_{max}$ ). Nesta é particularmente visível que as maiores reduções são conseguidas recorrendo a LRV de maior altura e são mais notórias para velocidades de aproximação mais elevadas.



**Fig. 5. Potencial de redução de velocidade da LRV em função das variáveis  $h$  e  $V_{max}$**

## 6 CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou um estudo de investigação centrado no estudo do comportamento do condutor na passagem de LRV mais concretamente nos perfis de velocidade adotados na zona de aproximação, na transposição e na saída da LRV. Para o efeito foi instrumentado um veículo permitindo a realização de secções de recolha de dados em situações reais e recorrendo a um conjunto de 18 condutores. A instrumentação e calibração dos instrumentos foi bem sucedida tendo resultado numa plataforma de recolha de dados real bastante versátil e fiável.

O conjunto de dados coligidos permitiu a construção de uma base de dados de grande dimensão o que se refletiu de forma bastante positiva na qualidade e robustez dos resultados.

Foram desenvolvidos três modelos que permitem a estimação da velocidade nas imediações de uma LRV. Os modelos foram desenvolvidos recorrendo a técnicas de regressão múltipla hierarquizada sendo avaliados os níveis de significância de cada uma das variáveis bem como eventuais efeitos de multicolinearidade e análise dos resíduos. Estes modelos produzem resultados que são consentâneos com os existentes na bibliografia estrangeira.

Em termos da estratégia a opção de base foi a de desenvolver inicialmente, um modelo bastante completo e com um nível de fiabilidade superior (Modelo Base, com condutores) mas que é também mais exigente em termos de variáveis de base. Posteriormente foram desenvolvidos mais dois modelos que são progressivamente menos exigentes em termos de variáveis de base e, por conseguinte, serão, à partida, menos rigorosos (Modelo Base e Modelo Simplificado). Os modelos desenvolvidos revelaram um nível de explicação da realidade elevado devendo portanto constituir uma ferramenta bastante interessante para proceder a análises prévias sobre a alteração dos perfis de velocidade espectáveis nas imediações de uma futura LRV.

## 7 AGRADECIMENTOS

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

## 8 REFERÊNCIAS

1. Watts, G.R., *Road Humps for the Control of Vehicle Speeds*. 1973, Transport and Road Research Laboratory (TRRL) Report 597, Department of the Environment and Department of Transport: Crowthome, UK.
2. Ewing, R. and S.J. Brown, *U.S. Traffic Calming Manual*. 2010, Washington, DC: American Planning Association.
3. DGV, *Instalação e Sinalização de Lombas Redutoras de velocidade – Nota técnica*. 2004, Despacho nº 109/2004, Direcção dos Serviços de Trânsito: Lisboa.
4. Baguley, C., *Speed Control Humps - Further Public Road Trials*. 1981, Transport and Road Research Laboratory (TRRL) Report 1017, Department of the Environment and Department of Transport: Crowthome, United Kingdom.
5. DfT, *Traffic Advisory Leaflet 7/96 - Highways (Road Humps) Regulations*. 1996, Department for Transport: London.
6. Ewing, R.H., *Traffic Calming: State of the Practice*. 1999, Institute of Transportation Engineers: Washington, DC.
7. MF, *Instruccion Tecnica para la Instalacion de Reductores de Velocidad y Bandas Transversales de Alerta en Carreteras de la Red de Carreteras del Estado*. 2008, Ministerio de Fomento: Madrid.
8. DfT, *"THUMPS" Thermoplastic road humps - Traffic Advisory Leaflet 7/94*. 1994, Department for Transport: London.
9. Weber, P.A., *Towards a Canadian Standard for the Geometric Design of Speed Humps*, in *Department of Civil and Environmental Engineering*. 1998, Carleton University: Ottawa, ON.
10. Grewal, M.S., L.R. Weill, and A.P. Andrews, *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. second edition ed. 2007, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
11. Maxqdata, L., *MQ200 User Manual*. 2007, Maxqdata: Bellevue, WA.
12. Watts, G.R., *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*, 1974. **37**(4): p. 585-586.
13. DfT, *Traffic Calming, Local transport note 1/07 2007*, Department for Transport, UK: London.
14. Blundell, M. and D. Harty, *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics* 2004, Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
15. Geovision. *GV-800 Video Capture Card*. 2006 [cited 2006 05/06/2006]; Geovision Inc:[Available from: <http://www.geovision.com.tw/english/index>].
16. Webster, D.C., *Road Humps for Controlling Vehicle Speeds*. 1993, Transport Research Laboratory (TRL) Project Report 18, Department of the Environment and Department of Transport: London.
17. ITE, *Guidelines for the Design and Application of Speed Humps*. 1993, Technical Council Task Force on Speed Humps, Institute of Transportation Engineers: Washington, DC.
18. Bastos Silva, A.M.C., *Definição de uma metodologia de concepção de cruzamentos giratórios*, in *Departamento de Engenharia Civil*. 2004, Universidade de Coimbra: Coimbra.
19. Pestana, M.H. and J.N. Gageiro, *Descobrimo a Regressão com a Complementaridade do SPSS*. 2005, Lisboa: Edições Sílabo.