

IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS ASSOCIADAS À INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA, À INFRAESTRUTURA PEDONAL E AO AMBIENTE CONSTRUÍDO COM INFLUÊNCIA NO NÚMERO DE ATROPELAMENTOS NA ZONA URBANA

Leidy Baron¹, Jocilene Costa², Maria Alice Prudêncio Jacques³, Elisabete Freitas⁴, Susana Faria⁵

¹ Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal

² Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Centro Acadêmico do Agreste, 55014-900, Caruaru/PE, Brasil

³ Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Transportes, Campus Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília/DF, Brasil

⁴ Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal

email: efreitas@civil.uminho.pt <http://www.civil.uminho.pt/departamento.php?sm=3>

⁵ Universidade do Minho, Departamento de Matemática e Aplicações, Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal

Sumário

Analisar a relação entre os acidentes entre veículos e peões e as várias características da infraestrutura e da sua envolvente é um passo essencial na identificação de medidas capazes de promover a segurança rodoviária. Neste trabalho estuda-se a influência das variáveis associadas ao ambiente construído, à infraestrutura pedonal e à infraestrutura rodoviária (e.g: o uso do solo, a largura dos passeios e largura das faixas de rodagem) no número de atropelamentos, cujas conclusões podem ser utilizadas como base de apoio à criação de políticas direcionadas à redução do número de acidentes nas estradas.

Palavras-chave: Segurança Rodoviária; Acidentes com Peões; Ambiente Construído; Infraestrutura Pedonal; Infraestrutura Rodoviária.

1 INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (WHO) revela que, anualmente, cerca de 1,2 milhões de mortes são causadas pelo tráfego rodoviário em todo o mundo [1]. Em Portugal, segundo o Relatório Anual de Sinistralidade do ano 2017 da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), os peões são o segundo tipo de utilizadores com uma percentagem de mortes nas estradas mais alta, cerca de 22%, correspondendo-lhes índices de 2 mortos e 7 feridos graves por 100 vítimas [2].

Em termos dos tipos de áreas e locais onde ocorrem acidentes com peões, segundo a Comissão Europeia, os peões enfrentam maior risco em estradas urbanas, dado que 69% das mortes de peões ocorrem dentro dessas áreas [3]. Tudo isto suscita uma evidente necessidade de realizar investigações sobre as causas ou fatores mais influentes nos acidentes com peões dentro das zonas urbanas. Somente com esse conhecimento se pode criar políticas direcionadas à redução do número de acidentes com peões e assim conseguir promover modos de transporte limpos [4, 5, 6].

A fim de procurar soluções para os acidentes de tráfego dos utilizadores vulneráveis da rede viária, tais como os peões, existe já uma série de estudos desenvolvidos na área da segurança rodoviária. Estes trabalhos mostram que os fatores que estão relacionados diretamente com a exposição ao risco, frequências de acidente e sua gravidade, são: o volume de tráfego pedonal, o volume de tráfego motorizado e as suas velocidades de operação [7, 8, 9].

No entanto, os problemas de segurança nas deslocações pedonais podem estar muitas vezes relacionados com os desequilíbrios entre a conceção e a utilização do espaço público [10]. Estudos recentes mostram que a segurança rodoviária pode ser melhorada através do tratamento dos espaços públicos, nomeadamente da infraestrutura pedonal, da infraestrutura rodoviária e do ambiente construído, devido ao facto de que nem todos os ambientes são

identicamente seguros, e várias características podem vir a estar relacionadas com diferentes níveis de riscos de atropelamento [11, 12].

Nesse sentido, é importante interpretar de forma rigorosa também o impacto dos fatores associados: ao ambiente construído, à infraestrutura pedonal e à infraestrutura rodoviária para assim, avaliar a sua influência no comportamento dos peões [8, 10, 12].

O objetivo principal deste trabalho é identificar fatores relacionados com o ambiente construído e o ambiente rodoviário, além das características do tráfego, que influenciam na segurança pedonal em vias urbanas. Os fatores ambientais são classificados segundo 3 grandes grupos: o ambiente construído, a infraestrutura pedonal e a infraestrutura rodoviária. Para a realização da referida identificação recorre-se à construção de modelos de previsão de frequência de acidentes através da aplicação de uma técnica de modelação tradicional para este tipo de estudos: Equações de Estimção Generalizadas (*Generalized Estimating Equations – GEE*).

Para a construção dos modelos foi utilizada uma base de acidentes rodoviários ocorridos durante o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2015, fornecida pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR). Essa base de dados é construída adicionalmente por um conjunto de variáveis referentes às características dos arruamentos selecionados para o estudo, pertencentes aos concelhos de Braga e Guimarães, em Portugal.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O método adotado para análise da influência dos fatores associados aos espaços públicos nos quais os peões se deslocam nos acidentes com peões é constituído por 5 fases principais (Fig.1):

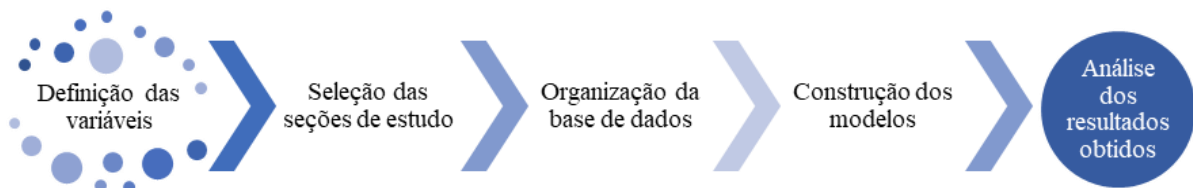


Fig.1. Fases principais do método adotado

2.1 Definição das variáveis

Através da realização de uma revisão abrangente das investigações no âmbito da segurança pedonal, foram identificados diferentes grupos de variáveis, além daqueles relacionados com as características do tráfego, associados ao ambiente construído, à infraestrutura pedonal e à infraestrutura rodoviária (Quadro 1).

Nestes grupos destaca-se, além das variáveis identificadas na revisão, a inclusão de variáveis associadas com a infraestrutura pedonal, que vão ao encontro das recomendações de dimensionamento da infraestrutura e à implementação de políticas de apoio à mobilidade dos utilizadores vulneráveis, particularmente dos peões, como por exemplo: a continuidade dos passeios, a área disponível suficiente para a livre deslocação dos peões, assim como a distância recomendável entre passagens formalizadas e a influência da localização dos postes de iluminação pública. Não se encontraram estudos que abordassem a influência destas variáveis na segurança para peões, pelo que será interessante averiguar a possível relação destas variáveis com o número de atropelamentos registados.

Quadro 1. Variáveis com possível influência no número de acidentes com peões

Categorias	Variável	Descrição	Score
Ambiente Construído	Comp	Cumprimento do arruamento	Metros
	U_solo	Uso do solo	Misto (ref) = 1; Residencial = 0
	P_est	Presença de estacionamento	Sim (ref) = 1; Não = 0
	P_aut	Presença de paragens de autocarro	Sim (ref) = 1; Não = 0
	N_int	Número de Interseções	Número
Infraestrutura Pedonal	C_redp	Continuidade da rede pedonal	Sim (ref) = 1; Não = 0
	L_pas	Largura útil dos passeios	Metros
	D_atrav	Distancia entre atravessamentos formais	Metros
	Declive	Declive	Metros
	Ilum	Número de passadeiras a mais de 7 metros dos postes de iluminação publica	Número
Infraestrutura Rodoviária	C1	Classificação funcional das vias	Coletora e Distribuidora principal = 0; Distribuidora local e Acesso local (ref) = 1.
	C2	Classificação funcional das vias	Coletora e Distribuidora principal = 0; Distribuidora local e Acesso local (ref) = 1.
	N_vias	Número de vias de circulação	Número
	L_vias	Largura das vias de circulação	Metros
	Sentidos	Tráfego de sentido único ou bidirecional	Um sentido (ref) = 1; Dois sentidos= 0
	Sep_c	Existência de separador central	Sim (ref) = 1; Não = 0

*(ref) = variável categórica de referência para à análise.

2.2 Seleção das secções de estudo

Com base nos registos de acidentes com peões durante o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2015, considerou-se todos os arruamentos localizados dentro das zonas urbanas dos concelhos de Braga e Guimarães, com pelo menos um atropelamento no período de análise, sendo que em diferentes anos, em vários arruamentos não se observaram acidentes (ver Fig.2).

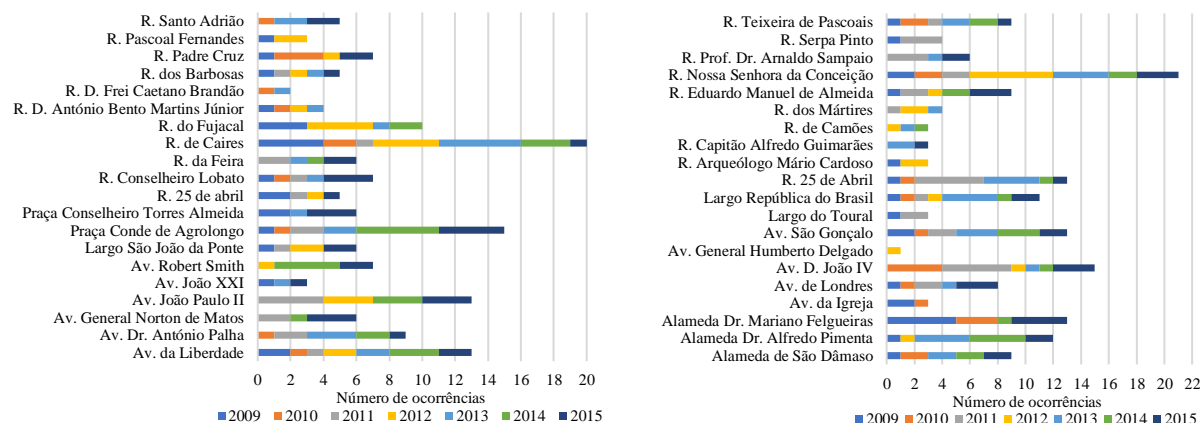


Fig.2. Acidentes com peões por arruamento nos concelhos de Braga e Guimarães (no período 2009-2015)

Para o efeito foram selecionados 20 arruamentos em cada concelho, com um total de 163 acidentes no concelho de Guimarães e 152 no concelho de Braga. O número de acidentes com peões ao longo dos anos é apresentado na Fig.2. Para o período total estudado a média do número de acidentes por arruamento foi de 7.9 com desvio padrão de 4.9, em que o número mínimo foi de 1 acidente e o máximo foi de 21 acidentes.

2.3 Organização de uma base de dados para os locais de estudo

A base de dados para a realização deste estudo está formada por três grupos principais: os registos de acidentes com peões, as características da envolvente viária e os volumes de tráfego de peões e de veículos.

Com exceção dos dados de acidentes, todos os outros dados foram obtidos por observação e análise dos arruamentos considerados. Depois de selecionadas as secções de estudo, foram realizadas contagens de tráfego em todas elas, do dia 18 de maio de 2017 a 22 de junho de 2017, de forma manual nas horas de ponta, as quais se consideraram: no período da manhã, das 08h00 às 10h00, e no período da tarde, das 17h00 às 19h00 de segunda-feira a sexta-feira. Além disso, foram coletadas as informações pertinentes sobre variáveis do ambiente construído, da infraestrutura pedonal e da infraestrutura rodoviária.

Dada à falta de dados de tráfego nos anos que compõem o período considerado na base de dados de acidentes rodoviários fornecida pela ANSR (2009 a 2015), estimaram-se diferentes taxas de crescimento tanto para o volume de tráfego rodoviário como para o volume de tráfego pedonal, tendo em consideração as estatísticas apresentadas pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) para o tópico do meio de transporte mais utilizado nos movimentos pendulares nas freguesias a que pertence cada uma das secções de estudo. Os dados utilizados para determinar a taxa de crescimento dos volumes de tráfego pedonal foram as estatísticas das pessoas que se deslocam a pé para realizar as suas atividades. Para o caso da taxa de crescimento dos volumes de tráfego de veículos, utilizaram-se as estatísticas das pessoas que utilizam como modo de transporte: automóvel ligeiro (como condutor ou passageiro), transporte coletivo da empresa ou da escola, motociclo ou bicicleta. Os dados nomeados neste parágrafo resultaram dos Censos de 2001 e de 2011 realizados em Portugal [13, 14].

Concluindo, os dados referentes a cada um dos quarenta arruamentos, os volumes de tráfego pedonal e veicular e os dados de acidentes rodoviários, foram interligados para criar uma base de dados que abrangesse todos os fatores com possível influência na frequência de acidentes com peões.

2.4 Construção dos modelos para a análise da frequência de acidentes com peões

A forma funcional da equação matemática usada na modelação na previsão do número de acidentes, é a apresentada na Equação 1. A estimativa dos parâmetros desta equação depende da estrutura assumida para o erro, que entre as mais conhecidas estão a de Poisson e a binomial negativa, e da correlação dos dados em estudo [15].

$$y_{mt} = \alpha \times Vexp^{\gamma_{mt}} \times EXP(\sum \beta_j X_{jmt}), m = 1, \dots, 40, t = 2009, \dots, 2015 \quad (1)$$

Em que:

y_{mt} Taxa de acidentes para o arruamento m no período de tempo t (Número de acidentes esperados dividido pelo volume tráfego pedonal ($V_{ped_{mt}}$));

$Vexp^{\gamma_{mt}}$ Variável de exposição ao risco;

x_{jmt} Variáveis explicativas X_j , observadas no arruamento m e no tempo t ;

α, β_j, γ Parâmetros do modelo a serem estimados.

Neste estudo, como técnica de modelação estatística para determinar os efeitos dos fatores associados aos espaços onde se deslocam os peões que contribuem para a ocorrência dos acidentes utilizou-se as Equações de Estimção Generalizadas (*Generalized Estimating Equations – GEE*), tendo-se assumido que o erro segue uma distribuição Binomial Negativa.

As EEG foram desenvolvidas utilizando a função de quasiverossimilhança [16]. Para a aplicação desta função é necessário respeitar alguns pressupostos sobre a distribuição da variável dependente. Esta metodologia é de grande utilidade quando o objetivo é obter os estimadores dos parâmetros dos modelos de regressão, contudo não se conhece a forma da distribuição conjunta das observações. No uso desta função deve-se apenas especificar a

relação entre a média e a variância das observações. Estas equações podem ser consultadas com mais detalhe em: Liang and Zeger [17], Agranonik [18], e Costa [15].

No processo de modelação, três períodos de tempo de análise distintos (agregação temporal) foram considerados: de 2009 a 2015 (7 anos); de 2009 a 2011; e de 2013 a 2015. Nos períodos mais curtos excluiu-se o ano de 2012 para avaliar a possível influência de Guimarães ser classificada como “Capital Europeia da Cultura”. Nesse ano o número de acidentes com peões pode ter sido influenciado pela implementação de políticas especiais de tráfego e por volumes atípicos. A seguir adotou-se a técnica *backward*, para a seleção das variáveis partindo do tráfego e de todas as outras variáveis estudadas, e excluindo-se sucessivamente as menos significativas. O modelo final para cada período de tempo observado apresenta apenas as variáveis explicativas que são estatisticamente significativas ao nível de significância de 10%. Outra consideração importante para a construção dos modelos foi a análise do sinal dos parâmetros de cada modelo, que deve ser compatível com o expectável do ponto de vista da engenharia de tráfego. O software utilizado foi o SAS® 9.3.

Quanto às variáveis de exposição ($Vexp_{mt}$) relacionadas com o tráfego de veículos e peões, utilizaram-se duas combinações diferentes, sendo elas: i) a variável offset volume de tráfego pedonal ($Vped_{mt}$), correspondente ao volume pedonal de ponta dum determinado arruamento, e a variável volume de tráfego de veículos ($Vvei_{mt}$), correspondente ao volume pedonal de ponta dum determinado arruamento; ii) a variável offset $Vped_{mt}$ e a variável PMV_{mt} ($Vped + Vvei$), correspondente à soma dos volumes de tráfego de peões e de veículos de ponta dum determinado arruamento.

2.5 Avaliação de ajuste

Para avaliar o ajuste do modelo, foi considerado o teste residual acumulado CURE Plot para as variáveis de exposição: (i) $Vvei_{mt}$, volume de veículos (ver Fig.3); (ii) PMV_{mt} , soma de volumes de veículos e de peões (ver Fig.4). Segundo Hauer *et al.* (2004) [19], quando o CURE Plot é elaborado, a diferença entre o número de acidentes observados e o valor previsto (resíduo) é considerada o principal elemento básico para julgar o ajuste, permitindo a análise dos resíduos acumulados quando considerando a variável interesse, que, neste estudo, está relacionada com tráfego de peões. Um bom ajuste significa que os resíduos acumulados no Cure Plot oscilam em torno de zero e não ultrapassam as duas curvas de limite adicionais aceitáveis para os resíduos acumulados.

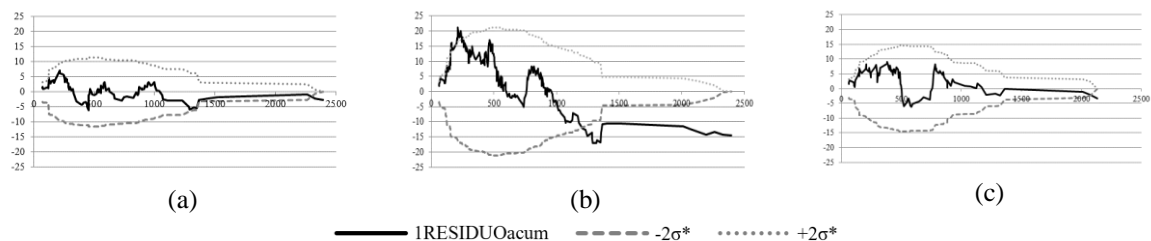


Fig.3. CURE Plot dos resíduos acumulados em função da variável de exposição $Vexp_{mt} = Vvei_{mt}$ segundo o período de tempo: (a) 2009-2015; (b) 2010-2015; (c) 2009-2011

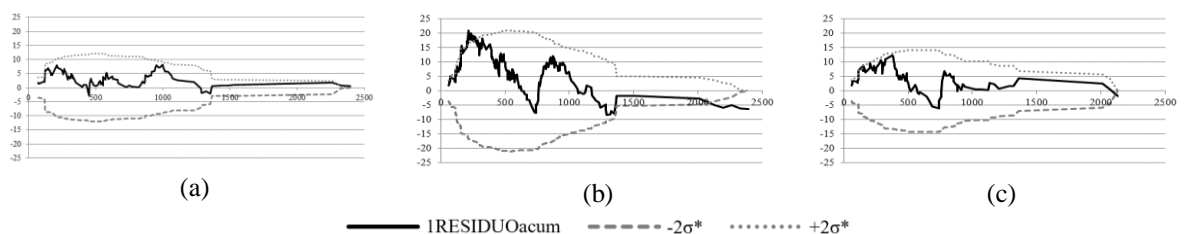


Fig.4. CURE Plot dos resíduos acumulados em função da variável de exposição $Vexp_{mt} = PMV_{mt}$ segundo o período de tempo: (a) 2009-2015; (b) 2010-2015; (c) 2009-2011

Além disso, calculou-se o desvio absoluto médio (MAD) pela Equação 2, e o erro quadrático médio (RMSE), pela Equação 3, para investigar a variação das estimativas fornecidas pelo modelo em relação aos dados utilizados [20]. Valores menores são preferidos a valores maiores.

$$MAD = \frac{1}{mt} \times \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T |\hat{y}_{mt} - y_{mt}| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (\hat{y}_{mt} - y_{mt})^2}{mt}} \quad (3)$$

Onde:

MAD Desvio absoluto medio;

RMSE Erro quadrático medio;

\hat{y}_i Valor previsto do número de atropelamentos no arruamento m dentro do período de tempo t;

y_i Valor observado do no número de atropelamentos no arruamento m dentro do período de tempo t;

3 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A análise dos resultados contempla, inicialmente, a verificação da qualidade geral do ajuste dos modelos obtidos. Para os modelos válidos, de acordo com os critérios apresentados na Seção 2.5, são analisadas as variáveis que se mostraram significativas para um nível de significância igual a 10%. O impacto dessas variáveis sobre a frequência esperada de atropelamentos é então discutido a partir da perspectiva da Engenharia de Tráfego, sobretudo com relação ao sinal do seu parâmetro no modelo. De seguida são apresentados os modelos resultantes. Em cada uma das tabelas pode-se encontrar a categoria e o respetivo nome da variável, seguido pela estimativa do parâmetro, o nível de confiança e o erro padrão (s.e).

No Quadro 2 são apresentados os resultados dos modelos com a variável de exposição volume de veículos ($Vexp_{mt} = Vvei_{mt}$). Dentro dos resultados pode-se observar que duas das variáveis, o comprimento, *Comp*, e o declive, *Declive*, de cada arruamento, estão presentes em todos os modelos com coeficientes de sinal positivo, com o qual sugerem um impacto negativo na segurança pedonal, indicando que os arruamentos com maior comprimento e maior inclinação contribuem para uma maior frequência de ocorrência de atropelamentos. Por outro lado, a largura útil dos passeios, *L_pas*, também foi considerada na totalidade dos modelos e, contrariamente, apresenta um impacto positivo na segurança para os peões, contribuindo para a redução do número de acidentes, o qual pode estar relacionado com o nível de conforto e menor exposição e número de conflitos com o tráfego rodoviário.

Nas variáveis do grupo do ambiente construído, também foi considerada a variável uso de solo misto, *U_solo*, a qual contribui para a diminuição da frequência de atropelamentos (coeficiente com sinal negativo). A diminuição da velocidade, que advém dos congestionamentos de tráfego motorizado neste tipo de arruamento ou o facto de existir um maior tráfego pedonal faz com que os peões sejam mais visíveis (ver Quadro 2) e aumenta a sua segurança.

Outra variável que foi considerada com um efeito positivo na segurança para os peões (coeficiente com sinal negativo) dentro do grupo de variáveis da infraestrutura pedonal é a distância entre atravessamentos formais, *D_atrav*, isto é, quanto maior a distância entre atravessamentos menor é o número esperado de atropelamentos. No entanto, o impacto desta variável não é o que se esperaria sob a ótica da Engenharia de Tráfego, segundo a qual menos oportunidades de atravessamentos em passagens para peões (maior distância entre atravessamentos) deveriam contribuir para aumentar a frequência de atropelamentos. Esse resultado pode indicar que os peões na hora de realizar um atravessamento fora dos lugares sinalizados tomam precauções adicionais com a sua segurança. Outra possibilidade é os peões se deslocarem de modo mais descuidado nas passeadeiras, confiando no direito de prioridade, e que isto não esteja a ser respeitado devidamente pelos condutores.

Quadro 2. Resultados dos Modelos com a variável de exposição: $Vexp_{mt} = Vvei_{mt}$

Grupo de variáveis	Variáveis	2009 - 2011		2009 - 2015		2013 - 2015	
		Parâmetro	(s.e)	Parâmetro	(s.e)	Parâmetro	(s.e)
Ambiente Construído	Comp	0.0011*	0.0004	0.002*	0.0004	0.0019*	0.0004
	U_solo	-0.6127**	0.2479	-	-	-	-
Infraestrutura Pedonal	D_atrav	-	-	-0.0049*	0.0016	-0.0051**	0.0024
	Declive	10.7136*	3.6855	7.0837**	3.216	12.0061*	2.6652
	L_pas	-0.4365*	0.1011	-0.4496*	0.1206	-0.3347***	0.1927
Infraestrutura Rodoviária	C1	-0.8508*	0.2066	-0.3558***	0.1829	-	-
	L_vias	-	-	0.4167**	0.1635	0.5109**	0.2327
	Iluminação	-	-	-0.0961**	0.0488	-	-
	N_vias	-0.185**	0.0932	-	-	0.2214***	0.1206
	Sentidos	-0.2404**	0.0998	-0.2786*	0.1077	-	-
	Sep_c	-0.3178***	0.1646	-	-	-	-
Exposição	LnVvei	0.2193***	0.127	-	-	-	-
Intercept		-6.4991*	1.1105	-7.1191*	0.9580	-8.5311*	0.8885
QIC		176.5890		480.6304		217.7629	
Número de grupos		40		40		40	
Número de observações		120		280		120	
MAD		0.8003		0.9944		1.0921	
RMSE		1.0537		1.2697		1.3367	

(s.e) erro padrão. * nível de significância de 1%. ** nível de significância de 5%. *** nível de significância de 10%

No grupo da infraestrutura rodoviária, a largura das vias de circulação do tráfego motorizado foi a única variável que sugere ter um impacto negativo na segurança pedonal (coeficiente positivo), aumentando a frequência de ocorrência de atropelamentos, o que pode estar relacionado com maior tempo de exposição durante a realização do atravessamento da faixa de rodagem.

Por outro lado, as restantes variáveis consideradas dentro das características da infraestrutura rodoviária apresentam um impacto positivo na segurança dos peões. As vias locais, *CI*, as passadeiras localizadas a mais de sete metros de um poste de iluminação pública *Iluminação*, os arruamentos com fluxo de veículos de sentido único, *Sentidos*, e a existência de separador central, *Sep_c*, sugerem uma diminuição da frequência de acidentes com peões.

Quanto a vias locais, estas podem estar relacionadas com menores números de conflitos devido a baixos volumes de tráfego motorizado. No caso do separador central, é uma estrutura que serve de refúgio para os peões durante os atravessamentos permitindo realiza-los em diferentes fases e, de igual forma, as estradas de um só sentido de circulação do tráfego motorizado podem simplificar a tarefa de observação do tráfego em aproximação quando comparada com a complexidade da mesma em estradas bidirecionais.

No que se refere à iluminação pública, o resultado não está de acordo com o esperado segundo a Engenharia de Tráfego porque passadeiras com iluminação mais próxima (postes a uma distância inferior a sete metros) supostamente facilitam a intervisualização de veículos e peões e, assim, contribuem para a segurança. Contudo, nos locais onde os peões têm uma perceção de risco maior (mais escuros) estes possivelmente tomam medidas adicionais e mais cautelosas para realizar os atravessamentos.

Com relação à variável número de vias, N_{vias} , ver Quadro 2, foi observado um impacto positivo na segurança pedonal no período 2009-2011 e um impacto negativo no período 2013-2015 (diminuição e aumento do número esperado de atropelamentos, respetivamente). Os elementos disponíveis para a análise dos resultados não permitem explicar o resultado associado ao impacto positivo sob a ótica da Engenharia de Tráfego, não entanto, os resultados não permitem tirar nenhuma conclusão.

Por último, cabe salientar que o volume de veículos, V_{vei} , foi considerado no modelo referente ao período de análise 2009-2011 (Quadro 2), com um impacto negativo para a segurança pedonal, significando que a maiores volumes de tráfego motorizado esta associado um maior número esperado de atropelamentos. No entanto, nos modelos em que esse volume foi combinado com o volume de peões (ver Quadro 3), o impacto dessa variável de exposição ao risco é positivo em todos os períodos de tempo (como o seu coeficiente é negativo, reduz o número esperado de atropelamentos).

Os resultados obtidos para os modelos com a variável de exposição soma dos volumes de peões e de veículos ($V_{exp_{mt}} = PMV_{mt}$) são apresentados no Quadro 3. As variáveis consideradas em todos os períodos de tempo com impacto negativo na segurança pedonal (coeficiente positivo) são o comprimento de cada arruamento, $Comp$, e a largura das vias de circulação dos veículos, L_{vias} , o que pode ser explicado pelo facto de haver maior exposição. As vias locais, CI , são a única variável com contribuição positiva para a segurança dos peões o que pode estar relacionado com as baixas velocidades que normalmente são praticadas neste tipo de vias.

Quadro 3. Resultados dos Modelos com a variável de exposição: $V_{exp_{mt}} = PMV_{mt}$

Grupo de variáveis	Variáveis	2009 - 2011		2009 - 2015		2013 - 2015	
		Parâmetro	(s.e)	Parâmetro	(s.e)	Parâmetro	(s.e)
Ambiente Construído	Comp	0.0009**	0.0004	0.0017*	0.0003	0.0015*	0.0004
	U_solo	-0.5495**	0.2312	-	-	-	-
Infraestrutura Pedonal	Declive	-	-	7.0586**	3.1254	-	-
	L_pas	-0.3794*	0.1187	-0.264*	0.0972	-	-
Infraestrutura Rodoviária	C1	-0.6341*	0.183	-0.4299**	0.1878	-0.4237***	0.2542
	L_vias	0.5682*	0.2023	0.6273*	0.1567	0.5404**	0.2494
	Iluminação	-	-	-0.1017***	0.0554	-0.1347**	0.0621
Exposição	LnPMV	-0.4251**	0.1945	-0.4507**	0.1899	-0.6215*	0.213
Intercept		-4.3104*	1.6310	-5.2614*	1.6022	-3.5103*	1.5617
QIC		173.2441		465.1757		175.0572	
Número de grupos		40		40		40	
Número de observações		120		280		120	
MAD		0.7948		0.9740		1.0542	
RMSE		1.1014		1.2545		1.2952	

(s.e) erro padrão. * nível de significância de 1%. ** nível de significância de 5%. *** nível de significância de 10%

Observa-se que os modelos com a variável de exposição PMV_{mt} (Quadro 3) têm menos variáveis significativas do que nos modelos com a variável de exposição $V_{vei_{mt}}$ (Quadro 2). No entanto, o impacto das variáveis consideradas em ambos casos é o mesmo.

4 CONCLUSÕES

Neste estudo foram analisados três grupos de variáveis explicativas do número de acidentes com peões, nomeadamente referentes a: i) variáveis do ambiente construído; ii) variáveis de infraestrutura pedonal; e iii) variáveis de infraestrutura rodoviária. Os resultados mostram a relação de algumas dessas variáveis com o número de atropelamentos, das quais umas não são usualmente avaliadas em estudos congêneres.

Além das variáveis estudadas anteriormente por outros autores, como a largura e o número de vias, o declive, também foi associado ao incremento de acidentes com peões, indicando que nestes arruamentos é necessária a adoção de medidas para melhorar a visibilidade dos peões, reduzir a velocidade praticada pelos veículos, estudar a localização dos atravessamentos para peões, entre outros.

Dentro da infraestrutura pedonal a largura útil dos passeios foi uma das variáveis mais importantes neste estudo já que é uma variável que não tem sido considerada em outros estudos e pode estar fortemente associada com o nível de conforto e percepção de segurança dos peões para realizar os seus percursos e aguardar o momento de realizar a travessia sem incorrer em risco de atropelamento.

Em muitos estudos existem diferenças entre as conclusões do efeito do uso de solos (misto ou residencial) sobre a segurança dos peões. No presente trabalho, o uso de solo misto apresentou um impacto positivo na segurança pedonal, indicando que os possíveis problemas de circulação do tráfego motorizado nestas zonas podem não só reduzir a gravidade dos acidentes, como foi referido na literatura, mas também diminuir o número de ocorrências devido à diminuição da velocidade dos veículos. Esse resultado foi reforçado pelo impacto observado dos fatores de exposição ao risco quando é considerada a soma dos volumes de peões e de veículos (*PMV*), cujos coeficientes foram negativos nos modelos.

Um resultado que precisa ser objeto de estudos futuros é a influência da distância entre os atravessamentos formais sobre o número de atropelamentos. O presente trabalho mostrou que maior distância indica maior segurança, o que pode revelar que travessias fora dos dispositivos resulta num comportamento mais cauteloso por parte do peão e/ou que os condutores não respeitam a prioridade dos peões nos dispositivos de travessia. Também é importante o estudo do impacto da iluminação das passadeiras pois, seria interessante não só avaliar a influência da localização dos postes de iluminação, mas também a qualidade da iluminação disponível.

A principal limitação deste estudo foi a falta de dados de volumes de tráfego pedonais e motorizado, correspondentes aos dados de ocorrência de atropelamentos durante o período de análise (2009-2015). A ausência desses dados em bases oficiais tornou necessária sua determinação por meio de contagens de curta duração e aplicação de fatores de expansão e métodos de previsão, utilizando dados dos censos entre 2001 e 2011. Estes dados podem trazer incertezas quanto à precisão dos valores adotados. Contudo, essa limitação dificilmente será superada em estudos de segurança pedonal em Portugal, dado que o registo do volume de peões não é feito de forma sistemática pelas autoridades de trânsito e os censos são realizados cada 10 anos.

5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho enquadra-se nas atividades do projeto de investigação AnPeB – Análise do comportamento de peões com base em ambientes simulados e sua incorporação na modelação de risco (PTDC/ECM-TRA/3568/2014), foi financiado no âmbito do projeto Promover a Produção Científica e Desenvolvimento Tecnológico e a Constituição de Redes Temáticas (3599-PPCDT) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER.

6 REFERÊNCIAS

1. World Health Organization (WHO), *Global status report on road safety 2015*, Geneva, 2015.
2. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), *Relatório Anual Sinistralidade Rodoviária 30 dias (2017)*, Lisboa, 2018.
3. European Commission, *Road safety in the European Union*, Brussels, 2015.
4. M.A. Granié, et al., Influence of built environment on pedestrian's crossing decision, *Accident Analysis & Prevention*, 67 75-85, 2014.

5. S. Vieira Gomes, S.R. Geedipally, & D. Lord, Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal, *Safety Science*, 50(9) 1732-1739, 2012.
6. D. Mohan, S.I. Bangdiwala, & A. Villaveces, Urban street structure and traffic safety, *Journal of Safety Research*, 62 63-71, 2017.
7. L.F. Miranda-Moreno, P. Morency, & A.M. El-Geneidy, The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian-vehicle collision occurrence at signalized intersections, *Accident Analysis & Prevention*, 43(5) 1624-1634, 2011.
8. S. Ukkusuri, et al., The role of built environment on pedestrian crash frequency, *Safety Science*, 50(4) 1141-1151, 2012.
9. S. Vieira Gomes, The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence, *Accident Analysis & Prevention*, 60 289-297, 2013.
10. E. Papadimitriou, S. Lassarre, & G. Yannis, Introducing human factors in pedestrian crossing behaviour models, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 36 69-82, 2016.
11. M.A. Granié, et al., Qualitative analysis of pedestrians' perception of the urban environment when crossing streets, *Advances in Transportation Studies*, (31) 17-34, 2013.
12. C. Ding, P. Chen, & J. Jiao, Non-linear effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency: A machine learning approach, *Accident Analysis & Prevention*, 112 116-126, 2018.
13. Instituto Nacional de Estatística (INE), *Censos 2001 Resultados Definitivos*, Lisboa, 2002.
14. Instituto Nacional de Estatística (INE), *Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal*, Lisboa, 2012.
15. J. Costa, *Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes*, Escola de Engenharia, Universidad do Minho, 2013.
16. P. McCullagh, Generalized linear models, *European Journal of Operational Research*, 16(3) 285-292, 1984.
17. K.Y. Liang & S.L. Zeger, Longitudinal data analysis using generalized linear models, *Biometrika*, 73(1) 13-22, 1986.
18. M. Agranonik, Equações de estimação generalizadas (GEE): aplicação em estudo sobre mortalidade neonatal em gemelares de Porto Alegre, RS (1995-2007), Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 2009.
19. E. Hauer, F. Council, & Y. Mohammedshah, Safety Models for Urban Four-Lane Undivided Road Segments, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1897 96-105, 2004.
20. T. Hastie, R. Tibshirani, & J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning*, New York, Springer, 485-585, 2009.