



EFEITO DO RUÍDO DE TRÁFEGO NA DECISÃO DE ATRAVESSAMENTO DOS PEÕES

Francisco Soares¹, Emanuel Silva¹, Frederico Pereira², Carlos Silva², Emanuel Sousa², Elisabete Freitas¹

¹Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal

a61864@gmail.com, emanuel_silva_456@hotmail.com, efreitas@civil.uminho.pt

²Domínio de interação, perceção e usabilidade, Centro de Computação Gráfica, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal

frederico.pereira@ccg.pt, carlos.silva@ccg.pt, emanuel.sousa@ccg.pt

Resumo

Para atravessar uma rua, os peões devem detetar o tráfego, combinar dados provenientes de diferentes fontes, auditivas e visuais, avaliar o tempo para atravessar com segurança e monitorizar a posição dos veículos que se aproximam. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do ruído emitido pelos veículos na tomada de decisão de atravessamento dos peões. Realizou-se uma experiência em ambiente virtual que reproduziu condições reais de travessia, no que diz principalmente respeito aos estímulos dos veículos em aproximação com diferentes padrões de movimento e velocidades. Foi considerado o ruído de um veículo elétrico, um veículo de combustão a gasolina, e uma condição de referência sem pistas auditivas. Vários participantes indicaram o momento da sua decisão de atravessamento. A tomada de decisão dos participantes baseou-se sobretudo nas características do movimento de aproximação do veículo, indicando que, a baixa velocidade, o efeito do ruído do veículo na decisão dos peões é reduzido.

Palavras-chave: ruído de tráfego, veículos elétricos, comportamento do peão, decisão de atravessamento.

Abstract

To cross a street, pedestrians must detect traffic, combine data from different sources, auditory and visual, assess the time to cross safely and monitor the position of approaching vehicles. This work aimed to evaluate the influence of noise emitted by vehicles on pedestrians' crossing decision. An experiment was carried out in a virtual environment that reproduced real crossing conditions, mainly regarding the presentation of stimuli concerning the approach of a vehicle with different movement patterns and speeds. The noise of an electric vehicle, a gasoline combustion vehicle, and a reference condition without auditory cues were considered. Several participants indicated the moment of their crossing decision. The participants' decision-making was based mainly on the characteristics of the vehicle's movement, indicating that, at low speed, the effect of vehicle noise on pedestrians' decision is reduced.

Keywords: traffic noise, electric vehicles, pedestrian behaviour, crossing decision-making.

PACS no. 43.50.Qp

1 Introdução

Não obstante o efeito benéfico que as políticas de segurança rodoviária, bem como a adoção de Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS), tiveram na redução constante das mortes ocorridas nas estradas nos últimos 20 anos, a base de dados CARE mostra que, desde 2013, esta redução foi marginal, verificando-se mesmo um aumento em 2014 e 2015 [1, 2]. Os peões constituem uma parte significativa do número de mortos e feridos nas estradas, principalmente devido à sua vulnerabilidade [3-5], pelo que identificar as principais causas dos acidentes envolvendo peões é particularmente relevante para o objetivo de reduzir constantemente o número de mortes ocorridas nas estradas.

Ao atravessar uma estrada, os peões devem detetar o tráfego, combinar dados vindos de várias direções, determinar se o tempo restante antes que um veículo os alcance é longo o suficiente para atravessar e adaptar a sua ação à perceção contínua dos veículos que se aproximam. A forma como eles determinam o tempo disponível para atravessar e estimam o tempo necessário para realizar essa ação com segurança é um indicador comportamental. Em teoria, o atravessamento é possível se o tempo disponível for maior do que o tempo necessário para atravessar, mas os peões geralmente adotam uma margem de segurança [6]. A análise dos riscos aos quais os peões estão expostos ao atravessar uma via tem sido tema de diferentes estudos que abordam aspetos que vão desde as características do tráfego e da infraestrutura ao comportamento dos utilizadores [7]. Uma parte relevante da literatura existente sobre segurança pedonal é dedicada a identificar quais as variáveis que influenciam o processo de tomada de decisão dos peões em atravessamentos [6, 8, 9].

Nos últimos anos, houve um aumento dos veículos híbridos ou elétricos devido à consciencialização da população sobre os problemas ambientais que os veículos com motor de combustão causam em termos de emissões de gases e ruídos, principalmente nos grandes centros urbanos [10, 11]. De acordo com Stelling-Kończak *et al.* [12], a exposição à emissão de ruído é um dos principais impactos ambientais negativos do transporte rodoviário. Na verdade, o ruído perturba o sono, interfere no desempenho de tarefas complexas, como, por exemplo, o desempenho escolar, modifica o comportamento social e causa aborrecimento emocional, para além de estar também na génese de doenças cardiovasculares [13-16]. Com o aumento do tráfego desse tipo de veículos, outras preocupações começaram a surgir. Uma delas, que está particularmente ligada à segurança durante os atravessamentos pedonais, é a indicação de que a baixa emissão de ruído pode afetar a deteção e localização dos veículos por parte dos peões [17, 18], particularmente aqueles com deficiências visuais [19-21]. Os veículos emitem ruídos provenientes do motor e dos pneus que os peões podem usar para identificar oportunidades seguras de atravessamento, usando mudanças nos sinais sonoros para avaliar o movimento. Ao contrário dos veículos com motor de combustão, o ruído emitido por um veículo elétrico não inclui a contribuição do ruído do motor, resultando num sinal acústico de menor intensidade [10]. A velocidades abaixo dos 30 km/h, os veículos elétricos podem produzir um ruído quase 10 dB (A) mais baixo do que um veículo com motor de combustão [10, 11]. Embora as pistas visuais sejam importantes para a tomada de decisão de atravessamento, há evidências de que as pistas auditivas apresentadas aos peões também são cruciais para a sua segurança [17, 22].

Aproveitando as tecnologias de simulação, o presente trabalho tem como objetivo principal explicar a influência da emissão de ruído e das pistas auditivas, enfatizando a diferença induzida pelo ruído emitido por veículos elétricos e de combustão de gasolina, e a ausência de ruído, na decisão de atravessamento dos peões através da execução de experiências em ambiente virtual audiovisual. O impacto da velocidade e do padrão de movimento de aproximação dos veículos na decisão de atravessamento dos participantes foi também analisado.

2 Materiais e Métodos

2.1 Participantes

Uma amostra de 30 adultos foi recrutada na comunidade da Universidade do Minho, em Portugal (ver Tabela 1). Antes da experiência, todos os participantes responderam a um questionário sobre as suas condições auditivas, visuais e de mobilidade. Nenhum deles relatou qualquer condição incapacitante para a participação na experiência. Todos assinaram um termo de consentimento informado antes da sua participação. As experiências foram conduzidas de acordo com os princípios estabelecidos na Declaração de Helsínquia de 1964.

Tabela 1 – Características demográficas da amostra de participantes.

	Grupo I [20 – 40 anos]	Grupo II [40 – 60 anos]
Homens / Mulheres	9 / 6	5 / 10
Média / Desvio Padrão de idades (anos)	29.13 / 4.53	50.27 / 6.62
Intervalo de idades (anos)	24 – 39	41 – 60

2.2 Desenvolvimento dos cenários virtuais

Duas ruas foram escolhidas para serem modeladas em ambiente virtual: a Rua 25 de Abril, na cidade de Braga; e a Rua Teixeira de Pascoais, na cidade de Guimarães. O processo de desenvolvimento de cenários virtuais foi semelhante para as duas secções de estudo. As dimensões e distâncias dos vários elementos que compunham cada rua junto às secções de estudo foram consideradas e implementadas em Blender[™] 2.79a, um software de computação gráfica 3D de código aberto que usa Python como linguagem de script, de forma a se obter os dois cenários para a realização das experiências em ambiente virtual. Parte dos materiais e métodos adotados na realização deste trabalho seguem os que foram apresentado no estudo de Soares *et al.* [23], que deve eventualmente ser consultado no caso de existir a necessidade de se obter informações mais detalhadas.

2.3 Construção dos estímulos

Como o objetivo deste trabalho é explicar a influência do ruído emitido por um veículo que se aproxima na tomada de decisão de atravessamento dos peões, foram utilizados três tipos de estímulos auditivos para a emissão de ruído pelos veículos: i) ruído de um carro com motor de combustão a gasolina; ii) ruído de um carro com motor elétrico; iii) sem som.

Cada estímulo correspondeu a um veículo em aproximação, considerando a componente visual e a componente auditiva. Consideraram-se diferentes perfis de velocidade de aproximação do veículo que foram definidos através da realização de um estudo prévio, no qual se observaram veículos em ambiente real nas ruas respetivas. A componente auditiva dos estímulos consistiu na apresentação de sons sincronizados com a imagem da aproximação do veículo que foram adquiridos posteriormente ao estudo de observação referido.

2.3.1 Estudo de observação

Em cada secção de estudo foram realizadas gravações de vídeo para avaliar os encontros entre veículos e peões. Os vídeos foram gravados a 30 FPS, usando uma câmara GOPRO 5 Black com resolução de 1920 × 1080 pixels. A câmara foi posicionada a uma altura acima de 5 metros e a uma distância entre 15 e 25 metros da passagem para peões dependendo das condições de cada local. Cada vídeo teve uma duração de aproximadamente 2 horas. A análise dos vídeos foi realizada através do programa *Traffic*

Intelligence [24, 25], o qual permitiu a extração de trajetórias e velocidades tanto dos veículos em aproximação como dos peões que atravessavam as ruas.

Três padrões principais de velocidade do veículo foram identificados a partir da análise dos vídeos: i) o veículo desacelerou e parou completamente antes de chegar à passagem para peões (Paragem); ii) o veículo desacelerou antes de chegar à passagem para peões mas continuou a sua trajetória sem parar (Abrandamento); iii) o veículo manteve a sua trajetória sem nenhuma, ou com mudanças muito subtis, de velocidade (Constante). Para cada padrão, registaram-se a média (m), o máximo (max), o mínimo (min) e o desvio padrão (sd) das velocidades e distâncias entre o veículo e os peões no início (V_i e D_i) e no final (V_f e D_f) da travagem. Para os casos em que o veículo manteve um movimento contínuo e aparentemente uniforme, foram determinadas a m, max, min e sd apenas da sua velocidade (ver Tabela 2). Esses valores foram usados como referência para definir as trajetórias dos veículos a serem usados no simulador (ver Tabela 3).

Tabela 2 – Média, máximo, mínimo e o desvio padrão da velocidade e distância do veículo ao peão para cada padrão de movimento.

	Paragem				Abrandamento				Velocidade constante
	V_i (km/h)	D_i (m)	V_f (km/h)	D_f (m)	V_i (km/h)	D_i (m)	V_f (km/h)	D_f (m)	V (km/h)
m	17.30	15.80	0	5.71	21.34	16.72	7.24	7.01	25.91
sd	8.15	5.62	0	2.40	8.46	6.21	6.56	4.14	7.87
max	34.41	27.37	0	14.06	37.59	28.20	28.39	22.04	43.18
min	3.81	6.58	0	1.26	4.43	2.94	1.07	2.69	14.27

Tabela 3 – Características do movimento do veículo nas diferentes condições apresentadas durante a experiência.

Condições	V_i (km/h)	V_f (km/h)	$D_{i, mov}$ (m)	D_i (m)	D_f (m)
1	20	20	35	-	-
2	30	30	35	-	-
3	20	20	30	-	-
4	30	30	30	-	-
5	20	20	25	-	-
6	30	30	25	-	-
7	30	10	30	25	5
8	20	10	30	15	10
9	20	0	30	15	5.50
10	30	0	30	20	5.50

Ao contrário de outros estudos que assumem a velocidade de aproximação dos veículos como sendo sempre constante [26-32], optou-se por se implementar os três tipos de perfis de velocidade observados. Durante o estudo observacional notou-se que a velocidades acima de 30 km/h quase não havia atravessamentos, portanto, limitaram-se as condições a velocidades iguais ou inferiores a esse valor. Para diminuir a probabilidade dos participantes memorizarem os perfis de aproximação dos veículos, fez-se variar a distância inicial à qual o veículo apareceu no ecrã de projeção ($D_{i, mov}$).

2.3.2 Aquisição dos sons e trajetórias

O método adotado para a aquisição dos sons a apresentar nas experiências a realizar em ambiente virtual consistiu no mesmo que foi usado por Soares *et al.* [23]. Para uma simulação realista do ruído emitido pelo veículo durante a sua aproximação à passagem para peões, foram realizadas gravações de ruído de veículos reais numa via urbana fechada, durante a noite.

O ruído dos veículos modelados e usados na experiência foi registado usando o equipamento Pulse Analyzer da Brüel & Kjaer, modelo 3560-C, e um torso (*Head and Torso Simulator* - HATS) da Brüel & Kjaer, modelo 4128-C, equipado com 2 simuladores de orelha, modelo 4158-C e 4159-C. Os sons registados foram produzidos pela passagem controlada de dois veículos (CPB): Kia Ceed SW, com motor a gasolina, equipado com pneus ContiEcoContact3 195/65-R15; e Renault Zoe ZE, com motor elétrico, equipado com pneus Michelin Primacy 3 205/45-R17.

As medições CPB incluem não só todas as fontes de ruído do veículo e o efeito de todos os mecanismos de propagação, como também o ruído do ambiente circundante [15]. Por este motivo, as gravações foram realizadas entre as 20:00 h e as 24:00 h e com condições meteorológicas semelhantes.

Durante as gravações, o HATS foi colocado a 1,55 m do centro da estrada na direção perpendicular à do movimento do veículo, a uma altura de 1,66 m, correspondendo esta à altura média de homens e mulheres portugueses, com a cabeça virada a 35° no sentido anti-horário. As amostras de som foram gravadas com os dois veículos a realizarem as trajetórias previamente definidas e apresentadas a Tabela 3. As suas posições foram registadas a cada 0,125 s ao mesmo tempo que as gravações sonoras eram realizadas. Os arquivos de som e posições dos veículos foram posteriormente sincronizados, calibrados e implementados em ambiente virtual.

O modelo visual do veículo utilizado na experiência foi sempre o do Kia Ceed SW, independentemente do som que emitisse, para evitar vieses na tomada de decisão dos participantes. No entanto, o mesmo não se passou com as posições do veículo ao longo do tempo, sendo estas ligeiramente diferentes para o veículo elétrico, devido às condições experimentais. O movimento do veículo com o motor de combustão a gasolina e do veículo que não emitiu qualquer som foi o mesmo.

2.4 Instrumentos

Tal como no estudo de Soares *et al.* [23], a experiência foi conduzida numa sala onde está localizado um sistema tipo CAVE. Este sistema integra uma tela de projeção branca com largura de 9 m, dos quais 8 m são utilizados para a projeção, que, por sua vez, é realizada através de 3 projetores DLP Christie Mirage S + 4K, com resolução de tela de 1400 × 1050 pixels, localizados atrás da tela. Os projetores projetam estereoscopicamente imagens 3D a 60 FPS (os participantes usaram óculos 3D). O sistema é controlado por 4 computadores (workstation Dell Precision R7610, equipada com placa gráfica Nvidia Quadro K5000 e processador Intel Xeon E5-2600), sendo 1 deles usado para monitorização.

Este sistema usa o programa BlenderVR [33] em conjunto com o sistema de captura de movimento VICON para fornecer aos participantes uma perspetiva realista tridimensional da cena virtual. A simulação foi configurada de forma que o ponto central do mundo virtual correspondesse ao ponto central da reta de intersecção da passagem para peões com o lancil do passageiro esquerdo de cada rua (ponto de origem de coordenadas da sala no mundo real). Um rato de computador foi usado para que os participantes indicassem as suas respostas com um clique em qualquer um dos seus botões.

Os sons CPB foram reproduzidos em auscultadores e amplificados por um amplificador de áudio Sony TA-AV570, de forma a que os níveis acústicos fossem iguais aos registados durante as gravações.

2.5 Procedimento Experimental

Antes do início da experiência, cada participante foi colocado num ponto predefinido da sala situado a 2 m da tela, onde deveria permanecer durante toda a experiência (ver Figura 1). Este ponto correspondia,

no espaço virtual, à interseção da reta definida pelo eixo de simetria da passagem para peões perpendicular ao movimento dos veículos e o lancil do passeio esquerdo. Os participantes foram convidados a colocar os auscultadores e os óculos 3D enquanto ouviam as instruções e a indicar, a cada apresentação de estímulo, o momento em que decidiam atravessar a rua, clicando num dos botões do rato. Caso decidissem atravessar, não deviam clicar em qualquer botão.

Os participantes efetuaram uma sessão experimental composta por dois blocos principais, um usando o cenário da Rua 25 de Abril e outro usando o cenário da Rua Teixeira de Pascoais. A experiência foi precedida de um bloco de treino composto por 4 estímulos. Cada uma das dez condições apresentadas na Tabela 3 foi repetida cinco vezes para cada tipo de estímulo (motor elétrico – “Elétrico”, motor de combustão a gasolina – “Combustão” e sem pista auditiva – “Sem Som”). Assim, no total, ao longo da experiência, foram apresentados aleatoriamente 300 estímulos a cada participante (10 condições \times 5 repetições \times 3 tipos de estímulos \times 2 cenários).



Figura 1 – Realização da experiência em ambiente virtual.

2.6 Análise

A influência das diversas variáveis abordadas neste estudo na tomada de decisão de atravessamento dos participantes foi analisada em termos de percentagem de atravessamentos, tempo de resposta e TTP (*Time-to-passage*), que geralmente é definido como o tempo que levaria um objeto (veículo) a chegar ao plano frontal de um observador (participante) [34]. O TTP, em segundos, para o momento dado durante a apresentação do estímulo em que o participante indicou a intenção de atravessar, foi calculado conforme a Expressão 1.

$$TTP = D_{\text{veículo-ponto de conflito}} / V_{\text{veículo}} \quad (1)$$

$D_{\text{veículo-ponto de conflito}}$ é a distância, em metros, do centro da placa de matrícula do veículo, assumido como o ponto de possível impacto, e o plano frontal do participante no momento em que começou a atravessar, e $V_{\text{veículo}}$ é a velocidade do veículo, em metros por segundo, no momento em que o participante começou a atravessar.

A percentagem de atravessamentos foi calculada, para cada participante, considerando o número de estímulos em que clicaram no rato do computador antes de o veículo parar ou passar em frente a eles. Para os estímulos em que o participante não clicou, foi assumido que os participantes atravessariam após a passagem do veículo, não se considerado esse encontro como um conflito. O tempo de resposta, que foi o tempo desde o início da apresentação do estímulo até o momento em que o participante clicou no rato, também foi registado. A influência de variáveis como o tipo de estímulo, o padrão de movimento do veículo e a velocidade do veículo na percentagem de atravessamentos, no tempo de resposta e no TTP foi avaliada através de análises multivariadas ANOVA e por testes post-hoc de Bonferroni.

3 Resultados

3.1 Tipo de estímulo

A ANOVA realizada para analisar a influência do tipo de estímulo revelou um efeito significativo desta variável na percentagem de atravessamentos, $F(2, 58) = 15,29$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,35$ (Figura 2(a)). O teste post-hoc de Bonferroni mostrou que a percentagem de atravessamentos foi significativamente maior para o veículo elétrico ($m = 23,87\%$; $sd = 13,77\%$) do que para os outros dois tipos de estímulo (combustão: $m = 20,95\%$; $sd = 12,09\%$; sem som: $m = 21,30\%$; $sd = 12,29\%$). Não se verificaram diferenças na percentagem de atravessamentos entre o veículo de combustão a gasolina e os estímulos sem componente auditiva. O tempo de resposta não apresentou diferenças significativas quando comparadas as respostas globais dadas pelos participantes aos três tipos de estímulo, $F(2, 58) = 2,19$, $p = 0,12$, $\eta^2 = 0,07$. Relativamente ao TTP, a ANOVA mostrou um efeito significativo do tipo de estímulo sobre esta variável, $F(2, 58) = 10,88$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,27$ (Figura 2(b)). Além disso, nesta análise, o teste post-hoc de Bonferroni demonstrou que o TTP foi significativamente maior para o veículo elétrico ($m = 4,46$ s; $sd = 1,30$ s) do que para os outros dois tipos (combustão: $m = 3,87$ s; $sd = 1,17$ s; sem som: $m = 3,94$ s; $sd = 1,22$ s). Não existiram diferenças significativas no TTP entre o veículo de combustão a gasolina e os estímulos sem som.

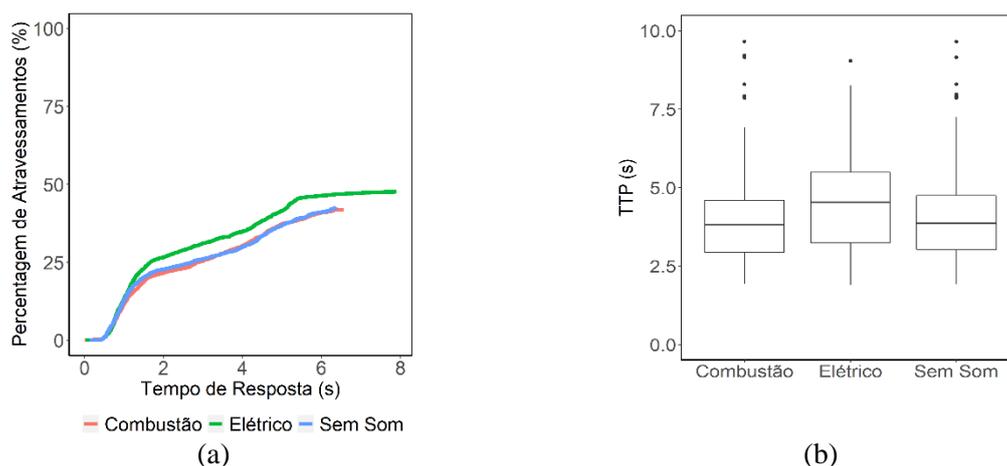


Figura 2 – Resultados discriminados pelo tipo de estímulo: (a) Percentagem de atravessamentos cumulativa agregada para todos os participantes, em função do tempo de resposta; (b) TTPs para todos os participantes.

3.2 Padrão de movimento do veículo

A ANOVA realizada para a análise da influência do padrão de movimento de aproximação do veículo revelou um impacto significativo desta variável na percentagem de atravessamentos, $F(2, 44) = 45,75$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,68$. Além disso, a interação entre o tipo de estímulo e o padrão de movimento do veículo não teve efeito significativo na percentagem de atravessamentos, $F(2, 88) = 1,26$, $p = 0,29$, $\eta^2 = 0,05$ (Figura 3(a)). O teste post-hoc de Bonferroni mostrou que a percentagem de atravessamentos foi significativamente maior quando o veículo desacelerou ($m = 38,13\%$; $sd = 21,98\%$) ou parou ($m = 33,83\%$; $sd = 19,51\%$) do que quando passou com velocidade constante ($m = 12,81\%$; $sd = 7,39\%$). Nenhuma diferença significativa foi verificada entre a percentagem de atravessamentos obtida para os padrões de abrandamento e de paragem.

O padrão de movimento do veículo também teve um efeito significativo no tempo de resposta dos participantes, $F(2, 44) = 40,59$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,65$ (Figura 3(a)). O teste post-hoc de Bonferroni mostrou que o tempo de resposta não diferiu comparando as respostas para o mesmo tipo de estímulo quando o veículo desacelerou (elétrico: $m = 2,94$ s; $sd = 1,67$ s; gás: $m = 2,85$ s; $sd = 1,48$ s; sem som: $m = 2,82$ s; $sd = 1,60$ s) ou parou (elétrico: $m = 3,33$ s; $sd = 2,05$ s; gás: $m = 3,65$ s; $sd = 1,93$ s; sem som: $m = 3,76$ s; $sd = 2,00$ s). No entanto, os tempos de resposta em relação à velocidade constante de aproximação do veículo (elétrico: $m = 1,26$ s; $sd = 0,75$ s; gás: $m = 1,14$ s; $sd = 0,60$ s; sem som: $m = 1,21$ s; $sd = 0,71$ s) foram significativamente menores do que aqueles verificados nos outros padrões de movimento.

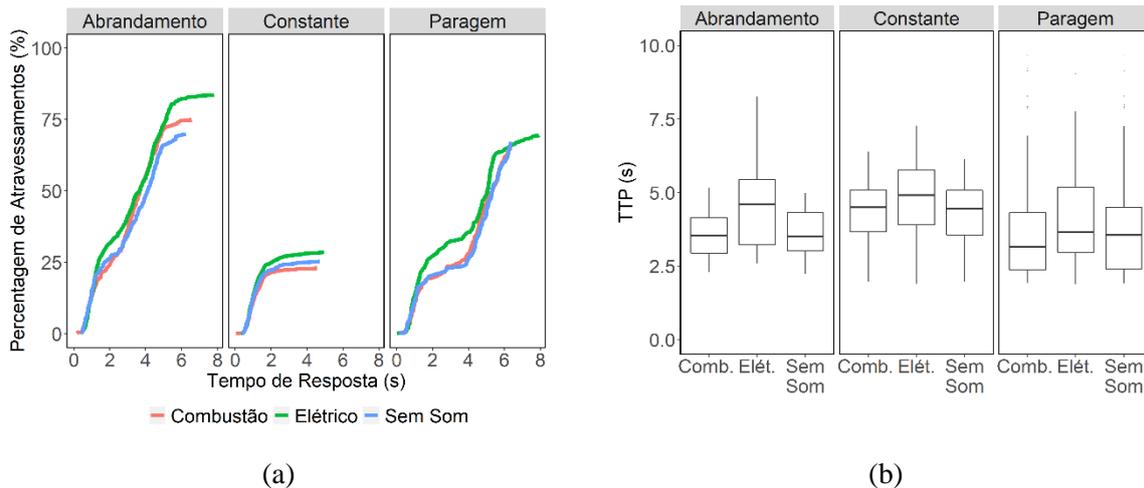


Figura 3 – Resultados discriminados pelo tipo de estímulo e padrão de movimento do veículo: (a) Percentagem de atravessamentos cumulativa agregada, em função do tempo de resposta; (b) TTPs para todos os participantes.

Em relação ao TTP, a ANOVA mostrou um efeito significativo do padrão de movimento do veículo neste indicador, $F(2, 44) = 21,35$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,49$. O mesmo se verificou para a interação entre o tipo de estímulo e o padrão de movimento do veículo, $F(2, 88) = 3,87$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,15$ (Figura 3(b)). O teste post-hoc de Bonferroni indicou que o TTP foi significativamente maior para o veículo elétrico a velocidade contínua e em abrandamento (velocidade contínua: $m = 4,86$ s; $sd = 1,23$ s; abrandamento: $m = 4,46$ s; $sd = 1,26$ s) do que para o veículo de combustão (velocidade contínua: $m = 4,38$ s; $sd = 1,00$ s; abrandamento: $m = 3,63$ s; $sd = 0,71$ s) e para os estímulos sem componente auditiva (velocidade contínua: $m = 4,30$ s; $sd = 1,05$ s; abrandamento: $m = 3,68$ s; $sd = 0,75$ s). Não existiram diferenças significativas no TTP entre as respostas aos estímulos referentes à aproximação do veículo com motor de combustão a gasolina e os estímulos sem som em ambos os padrões de movimento. Em relação ao padrão de movimento de paragem, o TTP foi significativamente diferente entre o veículo elétrico ($m = 3,97$ s; $sd = 1,28$ s) e de combustão ($m = 3,63$ s; $sd = 1,54$ s). Quando o veículo parou, os estímulos sem som ($m = 3,84$ s; $sd = 1,64$ s) não fizeram com que o TTP diferísse daquele referente aos restantes tipos de estímulo.

3.3 Velocidade do veículo

O efeito da velocidade do veículo na percentagem de atravessamentos também foi avaliado pela ANOVA. A influência da velocidade do veículo foi analisada em termos da sua velocidade inicial, ou seja, a velocidade que foi apresentada nas diferentes condições (ver Tabela 3). A velocidade inicial do veículo (Figura 4(a)) teve um efeito significativo na percentagem de atravessamentos no padrão de velocidade contínua, $F(1, 7) = 78,36$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,92$, e no padrão de movimento de paragem

(Figura 4(c)), $F(1, 27) = 50,11$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,65$. Não foram encontradas diferenças na percentagem de atravessamentos entre a velocidade inicial do veículo nos estímulos pertencentes ao padrão de movimento de abrandamento (Figura 4(b)), $F(1, 24) = 7,13$, $p = 0,01$, $\eta^2 = 0,23$. A interação entre o tipo de estímulo e a velocidade inicial do veículo não foi significativa em nenhum padrão de movimento (velocidade contínua: $F(2, 14) = 0,48$, $p = 0,63$, $\eta^2 = 0,06$; abrandamento: $F(2, 48) = 0,62$, $p = 0,54$, $\eta^2 = 0,03$; paragem: $F(2, 54) = 0,68$, $p = 0,51$, $\eta^2 = 0,02$).

Em relação ao tempo de resposta, a ANOVA revelou que a velocidade do veículo teve um efeito significativo apenas para o padrão de abrandamento, $F(1, 24) = 7,75$, $p = 0,01$, $\eta^2 = 0,24$. O tempo de resposta não diferiu entre a velocidade inicial do veículo quando o veículo se aproximou com velocidade contínua, $F(1, 7) = 1,68$, $p = 0,24$, $\eta^2 = 0,19$, ou abrandando, $F(1, 27) = 1,47$, $p = 0,24$, $\eta^2 = 0,05$. A interação entre o tipo de estímulo e a velocidade inicial do veículo não foi significativa em nenhum padrão de movimento (velocidade contínua: $F(2, 14) = 0,31$, $p = 0,74$, $\eta^2 = 0,04$; abrandamento: $F(2, 48) = 3,29$, $p = 0,05$, $\eta^2 = 0,12$; paragem: $F(2, 54) = 3,01$, $p = 0,06$, $\eta^2 = 0,10$).

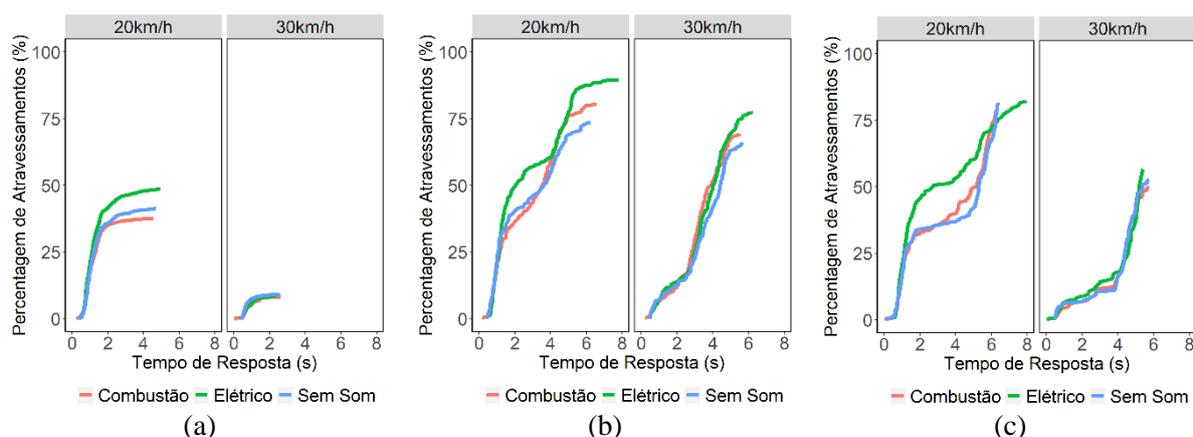


Figura 4 – Percentagem de atravessamentos cumulativa discriminada por tipo de estímulo e velocidade inicial do veículo para: (a) Padrão de movimento de velocidade constante; (b) Padrão de movimento de abrandamento; (c) Padrão de movimento de paragem.

4 Discussão e Conclusões

À primeira vista, os resultados mostraram que o que os participantes ouviram, ou não, influenciou significativamente a sua tomada de decisão de cruzamento. Os participantes atravessaram mais quando o veículo que se aproximava emitia o som correspondente a um carro elétrico. O facto da percentagem de atravessamentos ser maior para esse tipo de estímulo não significa, por si só, que os veículos elétricos aumentam o risco para peões. Os valores de TTP obtidos na experiência mostraram que, em média, os participantes tomaram decisões mais seguras quando foram apresentados estímulos referentes à passagem do veículo elétrico, isto é, responderam quando o TTP era maior do que quando um veículo a combustão a gasolina ou um veículo cujo som eles não ouviram se aproximava. Além disso, a semelhança observada entre as percentagens de atravessamentos e o TTP para o veículo de combustão a gasolina e para o que não emitiu qualquer som mostrou que o efeito do veículo que emite mais ruído, como o veículo a combustão, na tomada de decisão dos participantes foi quase o mesmo daquele onde nenhuma pista auditiva foi apresentada.

O padrão de movimento do veículo também teve uma influência significativa na tomada de decisão de atravessamento dos participantes. Verificou-se que, ao contrário do TTP, a percentagem de atravessamentos foi maior quando o veículo que se aproximava reduzia a velocidade do que quando mantinha a velocidade constante. Quando a velocidade do veículo variou, constatou-se também que a

maioria das respostas foram dadas em dois momentos diferentes, enquanto que a velocidade contínua, a maioria das respostas foi dada aproximadamente entre 0,5 e 1,5 s após o início da apresentação de cada estímulo. No padrão de abrandamento, esses momentos foram definidos pelos intervalos entre os 0,5 e os 1,5 s, e entre os 2,5 e os 4,5 s, aproximadamente. No padrão de paragem, os participantes responderam principalmente entre os 0,5 e os 1,5 s, como nos outros padrões de movimento, e entre os 4 e os 6 s. Em estímulos em que a velocidade do veículo variou, os participantes sentiram que além de uma oportunidade no início do estímulo, onde as distâncias eram maiores, havia um momento em que as velocidades baixas permitiam atravessar, apesar das distâncias serem curtas.

A velocidade inicial dos veículos foi outra variável relevante na tomada de decisão dos participantes. Em geral, os participantes atravessaram com mais frequência quando a velocidade inicial do veículo foi menor, como esperado. No entanto, notou-se que as curvas correspondentes à percentagem de atravessamentos acumulada em função do tempo de resposta para todos os tipos de estímulos se tornaram mais próximas quando as velocidades do veículo eram maiores. Usando conclusões de Verheijen e Jabben [10], que referem que, a velocidades superiores a 30 km/h, o ruído emitido por um veículo é produzido predominantemente pela interação pneu-pavimento, é lógico constatar que as diferenças existentes entre o ruído emitido pelo veículo elétrico, cujo motor pouco contribui e o veículo de combustão a gasolina não são evidentes.

De uma forma geral, tendo por base principalmente a análise da influência do tipo de estímulo na tomada de decisão dos peões, os resultados obtidos acabam por parecer contraditórios e não ter sentido lógico. Contudo, isso indica uma limitação deste estudo. Decorrentes da variabilidade da condução dos veículos durante as sessões de recolha dos sons, nas respetivas trajetórias de movimento, foram verificadas algumas diferenças nas velocidades de aproximação dos veículos ($\approx 1,7$ km/h, em média). Embora pequena, essa diferença contribui para explicar os resultados obtidos para a passagem do veículo elétrico em relação aos referentes aos restantes tipos de estímulos. Como as trajetórias de aproximação admitidas e implementadas para o veículo que não emitiu qualquer som foram as mesmas do veículo de combustão a gasolina, sendo estas ligeiramente diferentes das trajetórias do veículo elétrico, os resultados são naturalmente similares entre ambos os tipos de estímulo, sem som e combustão. Os resultados obtidos, tendo em consideração a limitação referida, acabam por apontar para a conclusão de que o efeito do ruído emitido por um veículo na tomada de decisão de atravessamento dos peões é pequeno ou mesmo nulo. No entanto, tal conclusão carece de confirmação num trabalho futuro em que seja possível implementar exatamente as mesmas condições operacionais dos veículos (trajetórias e velocidades).

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. De referir ainda a Fundação para a Ciência e a Tecnologia devido ao financiamento da bolsa de doutoramento SFRH/BD/131638/2017.

Referências

- [1] Gicquel, L.; Ordonneau, P.; Blot, E.; Toillon, C.; Ingrand, P.; Romo, L. Description of Various Factors Contributing to Traffic Accidents in Youth and Measures Proposed to Alleviate Recurrence. *Frontiers in Psychiatry*, 8(94), 2017.
- [2] European Commission. *Press Release on “2018 road safety statistics: what is behind the figures?”*. 2018, 'accessed in', Available from: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-19-1990_en.htm.

- [3] European Commission. *Traffic Safety Basic Facts on Pedestrians*, Editor^Editors. 2018, European Commission, European Road Safety Observatory.
- [4] Hu, W.; Cicchino, J.B. An examination of the increases in pedestrian motor-vehicle crash fatalities during 2009–2016. *Journal of Safety Research*, 67, 2018, p. 37-44.
- [5] Olszewski, P.; Szagała, P.; Rabczenko, D.; Zielińska, A. Investigating safety of vulnerable road users in selected EU countries. *Journal of Safety Research*, 68, 2019, p. 49-57.
- [6] Lobjois, R.; Cavallo, V. Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 2007, p. 934-943.
- [7] Avineri, E.; Shinar, D.; Susilo, Y.O. Pedestrians' behaviour in cross walks: The effects of fear of falling and age. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 2012, p. 30-34.
- [8] Liu, Y.-C.; Tung, Y.-C. Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed. *Safety Science*, 63, 2014, p. 77-82.
- [9] Oxley, J.A.; Ihsen, E.; Fildes, B.N.; Charlton, J.L.; Day, R.H. Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 2005, p. 962-971.
- [10] Verheijen, E.; Jabben, J. *Effect of electric cars on traffic noise and safety*, Editor^Editors. 2010, National Institute for Public Health and the Environment: Netherlands.
- [11] Wogalter, M.S.; Ornan, R.N.; Lim, R.W.; Chipley, M.R. On the Risk of Quiet Vehicles to Pedestrians and Drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 45(23), 2001, p. 1685-1688.
- [12] Stelling-Kończak, A.; Hagenzieker, M.; Wee, B.V. Traffic Sounds and Cycling Safety: The Use of Electronic Devices by Cyclists and the Quietness of Hybrid and Electric Cars. *Transport Reviews*, 35(4), 2015, p. 422-444.
- [13] Stansfeld, S.A.; Matheson, M.P. Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68(1), 2003, p. 243-257.
- [14] Mendonça, C.; Freitas, E.; Ferreira, J.P.; Raimundo, I.D.; Santos, J.A. Noise abatement and traffic safety: The trade-off of quieter engines and pavements on vehicle detection. *Accident Analysis & Prevention*, 51, 2013, p. 11-17.
- [15] Freitas, E.; Mendonça, C.; Santos, J.A.; Murteira, C.; Ferreira, J.P. Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(4), 2012, p. 321-326.
- [16] Soares, F.; Freitas, E.; Cunha, C.; Silva, C.; Lamas, J.; Mouta, S.; Santos, J.A. Traffic noise: Annoyance assessment of real and virtual sounds based on close proximity measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 2017, p. 399-407.
- [17] Barton, B.K.; Ulrich, T.A.; Lew, R. Auditory detection and localization of approaching vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 2012, p. 347-353.
- [18] Barton, B.K.; Lew, R.; Kovesdi, C.; Cottrell, N.D.; Ulrich, T. Developmental differences in auditory detection and localization of approaching vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 2013, p. 1-8.
- [19] Emerson, R.W.; Naghshineh, K.; Hapeman, J.; Wiener, W. A pilot study of pedestrians with visual impairments detecting traffic gaps and surges containing hybrid vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(2), 2011, p. 117-127.

- [20] Emerson, R.W.; Kim, D.S.; Naghshineh, K.; Pliskow, J.; Myers, K. Detection of quiet vehicles by blind pedestrians. *Journal of Transportation Engineering*, 139(1), 2013, p. 50-56.
- [21] Guth, D.; Ashmead, D.; Long, R.; Wall, R.; Ponchillia, P. Blind and Sighted Pedestrians' Judgments of Gaps in Traffic at Roundabouts. *Human Factors*, 47(2), 2005, p. 314-331.
- [22] Bach, D.R.; Neuhoff, J.G.; Perrig, W.; Seifritz, E. Looming sounds as warning signals: The function of motion cues. *International Journal of Psychophysiology*, 74(1), 2009, p. 28-33.
- [23] Soares, F.; Silva, E.; Pereira, F.; Silva, C.; Sousa, E.; Freitas, E. The Influence of Noise Emitted by Vehicles on Pedestrian Crossing Decision-Making: A Study in a Virtual Environment. *Applied Sciences*, 10(8), 2020, p. 2913.
- [24] Jackson, S.; Miranda-Moreno, L.F.; St-Aubin, P.; Saunier, N. Flexible, Mobile Video Camera System and Open Source Video Analysis Software for Road Safety and Behavioral Analysis. *Transportation Research Record*, 2365(1), 2013, p. 90-98.
- [25] Saunier, N.; Sayed, T.; Ismail, K. Large-Scale Automated Analysis of Vehicle Interactions and Collisions. *Transportation Research Record*, 2147(1), 2010, p. 42-50.
- [26] Cavallo, V.; Dommès, A.; Dang, N.-T.; Vienne, F. A street-crossing simulator for studying and training pedestrians. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2017, p. 12.
- [27] Dommès, A.; Cavallo, V. The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31(3), 2011, p. 292-301.
- [28] Dommès, A.; Cavallo, V.; Vienne, F.; Aillerie, I. Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 2012, p. 42-47.
- [29] Feldstein, I.; Dietrich, A.; Milinkovic, S.; Bengler, K. A Pedestrian Simulator for Urban Crossing Scenarios. *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), 2016, p. 239-244.
- [30] Meir, A.; Oron-Gilad, T.; Parmet, Y. Can child-pedestrians' hazard perception skills be enhanced? *Accident Analysis & Prevention*, 83, 2015, p. 101-110.
- [31] Simpson, G.; Johnston, L.; Richardson, M. An investigation of road crossing in a virtual environment. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 2003, p. 787-796.
- [32] Zito, G.A.; Cazzoli, D.; Scheffler, L.; Jäger, M.; Müri, R.M.; Mosimann, U.P.; Nyffeler, T.; Mast, F.W.; Nef, T. Street crossing behavior in younger and older pedestrians: an eye- and head-tracking study. *BMC Geriatrics*, 15(1), 2015, p. 176.
- [33] Katz, B.F.G.; Felinto, D.Q.; Touraine, D.; Poirier-Quinot, D.; Bourdot, P. BlenderVR: Open-source framework for interactive and immersive VR. *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, Arles, France, March 23 - 27, 2015. p. 203-204.
- [34] Hancock, P.A.; Manser, M.P., *Time-to-contact*, in *Occupational injury: Risk prevention and intervention*, A.-M. Feyer and A. Williamson, 1998, Taylor & Francis: p. 44-58.