

VEÍCULOS ELÉTRICOS, UMA AMEAÇA PARA A SEGURANÇA PEDONAL?

Anna Oliveira¹ e Ana Bastos Silva^{1,2}

¹Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente (Citta)

Email: annabespindola@gmail.com

² Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos - Pólo II, 3030-788, Coimbra, Portugal

Email: abastos@dec.uc.pt

Sumário

O crescente interesse pelos veículos elétricos deve-se em parte pela ausência de ruído apresentada em relação aos demais tipos de veículos. Este benefício evidente apresenta, contudo, potenciais riscos designadamente no que respeita a segurança dos peões e de ciclistas. O presente trabalho apresenta uma síntese da revisão bibliográfica da especialidade centrada no estudo da interação entre veículos elétricos e peões, apontando-se os riscos previsíveis mais relevantes e as principais sugestões sobre a ausência de ruído nos veículos elétricos levantadas pela indústria automóvel e pelo meio académico. Por fim, são apresentadas potenciais soluções que têm vindo a ser defendidas para mitigar os problemas identificados.

Palavras-chave: Comportamento do peão; Veículos elétricos; Comportamentos de risco; Conflitos rodoviários

1 INTRODUÇÃO

O recurso a veículos elétricos em alternativa aos veículos de combustão interna tem vindo a ganhar proeminência em todo mundo, particularmente nos últimos anos. O crescente interesse por este tipo de veículos surge por parte da indústria automóvel, órgãos governamentais e população em geral, assente nos princípios básicos como a reduzida emissão poluente, poupança energética, alta capacidade de operação, custo de manutenção inferior aos demais tipos de veículos e ausência de ruído. Apesar das múltiplas vantagens, é expectável que os veículos elétricos apresentem igualmente potenciais riscos, podendo ainda comprometer a segurança dos peões em domínio urbano. A ausência de ruído coloca-se como uma ameaça que carece de avaliação efetiva, em ambiente real, justificando o desenvolvimento de trabalhos científicos capazes de comprovar o efeito que a sua presença tem sobre o comportamento e segurança do peão. Apesar da sua relevância, verifica-se que o número de trabalhos científicos sobre esta temática permanece em número extremamente reduzido.

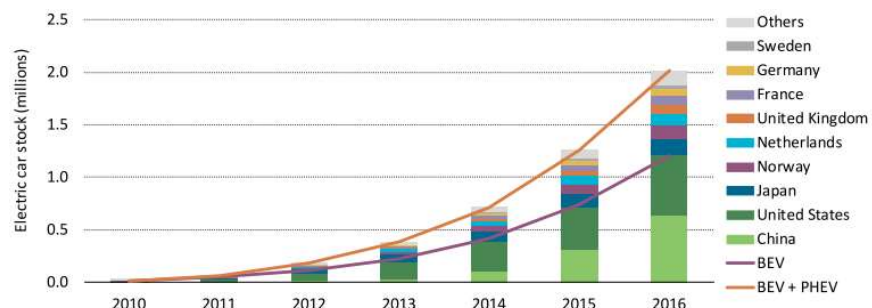
Na realidade, para além do estímulo visual, o peão utiliza o ruído proveniente do tráfego urbano para reagir e se defender de eventuais situações conflituosas, como a aproximação de veículos, travagens bruscas, entre outras. Esta questão torna-se ainda mais relevante em ambientes urbanos, onde se concentram diversas fontes de ruído, tornando ainda mais difícil a identificação do som e da sua proveniência. Complementarmente, ao considerar a variabilidade das características de cada peão em cada região e, ainda, fatores como a idade do peão -que também afeta a deteção do ruído e reação ao mesmo- é expectável que o problema se torne ainda mais complexo. Sublinhe-se que os estudos que envolvem questões comportamentais se associam indiscutivelmente a variabilidade, indefinições e imprevisibilidade naturalmente intrínsecas aos seres humanos. Por essa razão, estudos que envolvem condutores e peões nem sempre apresentam soluções viáveis e/ou traçam um perfil adequado, que possam ser implementados no quotidiano.

O presente trabalho apresenta uma síntese da revisão da literatura bibliográfica centrada no estudo da interação entre veículos elétricos e peões, apontando-se os riscos previsíveis mais relevantes e as principais sugestões levantadas pela indústria automóvel e pelo meio académico. Complementarmente, são apresentadas potenciais

soluções que têm vindo a ser defendidas para mitigar os problemas identificados na ausência de ruído dos veículos elétricos.

2 EVOLUÇÃO DO PARQUE DO AUTOMÓVEL - OS VEÍCULOS ELÉTRICOS

De acordo com um relatório publicado pela IEA [1], os novos registos de veículos elétricos bateram um novo recorde em 2016, com mais de 750 000 vendas em todo o mundo. A quota de mercado mais bem-sucedida de veículos elétricos é, sem dúvida, a Noruega, com 29%, seguida pela Holanda e Suécia, com 6,4% e 3,4%, respetivamente (Fig.1.). A China, a França e o Reino Unido apresentam quotas de mercado de veículos elétricos próximos de 1,5%. Segundo o mesmo documento, o parque global de veículos elétricos ultrapassou os 2 milhões de veículos em 2016, depois de ultrapassar o limite de 1 milhão em 2015.



Notes: The electric car stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005. When available, stock numbers from official national statistics have been used, provided good consistency with sales evolutions.

Sources: IEA analysis based on EVI country submissions, complemented by EAFO (2017a), IHS Polk (2016), MarkLines (2017), ACEA (2017a, 2017b) and EEA (2017).

Key point: The electric car stock has been growing since 2010 and surpassed the 2 million-vehicle threshold in 2016. So far, battery electric vehicle (BEV) uptake has been consistently ahead of the uptake of plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs).

Fig. 1. Evolução do parque automóvel em veículos elétricos, 2010-16, Fonte: [1]

Impulsionado por motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis, os veículos elétricos destacam-se por operar recorrendo unicamente ao uso de energia elétrica. Esses veículos apresentam várias vantagens em relação aos convencionais, tais como: eficiência energética, meio ambiente, benefícios de desempenho e até redução da dependência energética [1], [2].

Apesar das vantagens enunciadas, os veículos elétricos ainda enfrentam alguns desafios. O alcance é geralmente limitado entre 10 e 400 km em carga máxima e o tempo de recarga, mesmo que parcial, é consideravelmente longo [2]. Os custos e a operacionalidade relacionados com a compra e substituição de baterias levantam igualmente grandes preocupações.

No entanto, identificam-se alguns benefícios. Os motores elétricos proporcionam uma operação silenciosa e suave, elevados níveis de aceleração e exigem menos manutenção do que os motores de combustão interna. Contudo, e apesar de benéfica, a ausência de ruído levanta igualmente questões associadas à segurança de peões e ciclistas, que habitualmente usam o ruído do veículo como sinal de alerta.

As secções seguintes apresentam um resumo do estado da arte sobre esta matéria, dando particular destaque ao impacto que a ausência de ruído associado aos veículos elétricos tende a assumir no comportamento dos peões e dos condutores.

3 OS PROBLEMAS ASSOCIADOS AOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos e híbridos afiguram-se como uma alternativa cada vez mais competitiva aos veículos com motor de combustão interna, contribuindo para a redução da dependência dos combustíveis fósseis. Segundo Chau *et al.* [3], apesar da evolução tecnológica e da atividade científica, ainda não existem soluções totalmente eficazes para reduzir as emissões e o consumo energético. São várias as vantagens frequentemente associadas aos veículos

elétricos e híbridos destacando-se, entre outras: alta densidade de binário e de potência; ampla faixa de velocidade; alta eficiência em amplas faixas de binário e de velocidade; ampla capacidade de operação de energia constante; capacidade de alto binário para lançamento elétrico e subida em montanha; alta capacidade de sobrecarga intermitente para ultrapassagem; alta confiabilidade e robustez; baixo nível de ruído; custo aceitável [3].

De acordo com Wogalter, Lim e Nyeste, apesar da elevada eficiência assegurada e o baixo nível de emissões poluentes, identificam-se, contudo, fatores que continuam a preocupar os fabricantes e investigadores, evidenciando-se a redução da poluição sonora como uma preocupação central [4]. Adicionalmente, as baterias elétricas podem representar um risco para a saúde de qualquer utilizador do veículo, além da emissão de radiação, sendo o risco agravado em caso de acidente. Contudo, a baixa emissão de ruído tem sido considerada por alguns autores [5,10] como um problema potencialmente grave e que afeta diretamente a segurança dos utilizadores, com particular destaque para os utilizadores vulneráveis.

Este problema assume relevância em contexto urbano e em zonas sujeitas à forte presença de crianças, idosos e, sobretudo, de invisuais [6, 8]. Assim, identificam-se como áreas potencialmente críticas aquelas junto a equipamentos escolares e hospitalares, zonas eminentemente residenciais, centrais e comerciais.

As estatísticas de toda a rede portuguesa (zonas urbanas e rurais) [11] mostram que os atropelamentos causados por veículos elétricos aumentaram 172% entre 2011 e 2016, o que pode indiciar a existência de um maior risco associado a este tipo de veículo, embora não possa ser descurado na análise que o aumento da representatividade deste veículo no parque automóvel mundial representa, já por si, um aumento de exposição ao risco. Também os ciclistas se apresentam como um grupo de risco. É possível encontrar na bibliografia da especialidade diversos trabalhos de investigação sobre esta temática, identificando-se algumas soluções mitigadoras que se encontram sob teste e avaliação.

3.1 Estatísticas de acidentes

A ausência de ruído associado aos motores de veículos elétricos tenderá a revelar-se numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo esse tipo de veículo. Destaca-se o risco acrescido de atropelamentos, em particular face a peões invisuais ou com deficiências.

Em 2016, segundo a Autoridade Nacional da Segurança Rodoviária (ANSR) [11], 5 537 peões foram envolvidos em acidentes rodoviários em Portugal, de entre os quais 82 morreram. Os atropelamentos representam 18,4% das mortes em acidentes rodoviários, sendo as vítimas maioritariamente idosos com mais de 65 anos (54,88%) [11]. Apesar do tendencial aumento da propensão para a ocorrência de acidentes que envolvam veículos elétricos e peões, verifica-se a inexistência de estudos científicos que comprovem essa correlação.

A dificuldade de encontrar dados estatísticos especificamente relacionados com este tipo de veículo poderá não ser atribuída à baixa ocorrência de acidentes envolvendo veículos elétricos e híbridos, mas sobretudo ao facto de estes veículos ainda não assumirem uma representatividade alargada no parque automóvel. Isso torna, possivelmente, a maioria das estatísticas publicadas não robustas nem fidedignas.

Vários artigos abordam as consequências de acidentes que envolvem veículos elétricos, embora na sua maioria se centrem na apresentação de preocupações relacionadas com a segurança do veículo, nomeadamente com o problema das baterias, com o risco de explosão e a forma correta de o descartar, com o risco de derrame e com a forma de proceder em caso de acidente. É o caso do artigo "*When electric vehicles crash, what happens to the battery?*", publicado pela *ScienceDaily* [12] ou o artigo "*Are electric cars safe in accidents?*", escrito por Lampton [13] e publicado na *HowStuffWork*.

Outros artigos incluem informações mais gerais, como a avaliação do risco de o carro ficar submerso em caso de acidente [14]. Trabalhos mais recentes mencionam a criação de ferramentas para mitigar o problema da falta de ruído, abordando formas e tipos de sons virtuais a adicionar [15].

A Administração Nacional de Segurança no Trânsito Rodoviário (NHTSA) dos EUA comprovou que os acidentes que envolvem peões e ciclistas associados a determinadas manobras (desaceleração, paragens, inversão de marcha, entrada ou saída de estacionamento) assumem taxas de incidência mais elevadas para veículos elétricos híbridos do que veículos com motor de combustão interna (numa relação de 2 para 1). Esses acidentes ocorrem geralmente em áreas sujeitas a restrições de velocidade, durante o dia e face a condições climáticas favoráveis. [16]

No Reino Unido, o Departamento de Transportes (DFT) promoveu um trabalho de investigação baseado no histórico estatístico de acidentes envolvendo veículos elétricos com peões cegos ou deficientes visuais, com vista a avaliar o a percepção de risco de acidente. O objetivo final deste trabalho era identificar a adequação de diferentes tipos de sons virtuais para instalar em veículos elétricos. Os resultados, publicados em 2011, demonstraram existir uma fraca correlação entre a ocorrência de acidentes envolvendo peões e veículos e o nível de ruído associado à circulação de veículos. Complementarmente, a análise não encontrou tendências para o envolvimento de peões e veículos, para velocidades de circulação inferiores a 48 km/h. [19]

3.2. O problema do ruído

O debate sobre as potenciais vantagens associadas aos veículos elétricos e híbridos iniciou-se com os evidentes benefícios ambientais associados à energia elétrica. A presença destes veículos no parque automóvel de cada país tem vindo a alterar os níveis de ruído associado ao trânsito em meio urbano. Estes veículos emitem níveis inferiores de ruído comparativamente aos veículos tradicionais, particularmente quando operam a velocidades baixas. Isso ocorre porque, a baixa velocidade, o motor elétrico geralmente impulsiona o veículo, produzindo sons menos intensos [9].

As principais fontes de ruído do tráfego urbano, segundo Specht et, al [17], são: a composição, o volume e a velocidade do tráfego (veículos de passeio, motocicletas, veículos pesados, etc.), e o comportamento dos condutores. O autor também recorda que o ruído dos veículos é originário dos sistemas de motor, escapamento e transmissão, do contato pneu/pavimento e do efeito aerodinâmico. Entretanto, considerando o caso dos motores silenciosos dos veículos elétricos, pode-se dizer que a elevadas velocidades outros ruídos são predominantes em relação ao do motor. Specht et al [17] ainda afirma que “quando considerada a velocidade de 100 km/h, a participação do ruído pneu/pavimento chega a 78% contra 12% do motor, escapamento e transmissão e 10% do ruído aerodinâmico. Todavia, em trechos urbanos e de baixas velocidades, o sistema motor/escapamento torna-se relevante”.

Sandberg [18] afirma que, para veículos de carga, o ruído do motor (incluindo escapamento e transmissão) é a principal fonte para acelerações de 0- 50km/h, porém o atrito pneu/pavimento é a principal fonte acima de 40-50km/h ou para o caso de velocidades constantes. O ruído pneu/pavimento depende de muitos fatores: modelo e idade do veículo; peso por eixo; pressão de inflação dos pneus; tipo e tamanho dos pneus (para neve, esportivo, para lama etc.); temperatura; textura e material de composição dos pneus e; superfície da rodovia (textura, qualidade, umidade e temperatura).

3.2.1. Um problema de saúde

Atualmente, o ruído do tráfego rodoviário é a fonte que mais afeta a exposição humana acima de 55 decibéis (dB) durante o período diurno e de 50 dB durante a noite, num limiar estabelecido pela União Europeia. Segundo a EEA [19], cerca de 100 milhões de pessoas dos 33 países membros estão expostas ao ruído do tráfego rodoviário acima do limiar legal, sendo que, destes, 32 milhões estão expostos a níveis de ruído superiores a 65 dB. Ainda no setor de transportes, a ferrovia é a segunda maior fonte de ruído, com 19 milhões de pessoas expostas acima dos 55 dB. O ruído das aeronaves nas proximidades dos principais aeroportos é a terceira maior fonte de ruído, com mais de 4,1 milhões de pessoas expostas, seguido pelo ruído industrial nas áreas urbanas, que atinge mais de um milhão de pessoas [19].

Estima-se que as exposições a níveis de pressão sonora superior a 85 dB sejam potencialmente prejudiciais para a audição. Note-se que o barulho resultante de um caminhão pesado em circulação pode atingir os 74 dB. Também o tráfego numa avenida urbana sujeita a níveis elevados de tráfego pode atingir os 85 dB, sendo que o ruído associado à movimentação de maquinaria em situação de obra pode atingir os 120 dB [1], [2], [19].

3.2.2. Um problema ambiental

Segundo a EEA [19], o tráfego rodoviário continua a ser a maior fonte de poluição sonora na Europa. O ruído causado pela aceleração após paragem, difere substancialmente entre veículos a combustão interna e motores híbridos [4], [9]. O ruído do motor predomina para veículos em marcha lenta, enquanto que o ruído associado ao rolamento do pneu no pavimento predomina em circulação a alta velocidade [9]. No entanto, as fontes de ruído do tráfego rodoviário vão para além dos sons emitidos pelos veículos em movimento, dependendo de outros fatores como superfície da estrada, transmissão, efeitos aerodinâmicos e sistemas de travagem.

Morgan *et al.* [20] registaram o ruído do veículo associado a diferentes manobras e compararam os níveis de ruído de veículos HE com veículos de combustão interna convencionais. A investigação concluiu que, durante uma passagem a uma velocidade constante de 7-8 km/h, os níveis máximos de ruído registados tendem a ser, em média, mais baixos para veículos elétricos e híbridos. Em circulação a baixas velocidades, ou seja, abaixo de 20 km/h, os veículos elétricos são marginalmente mais silenciosos que os veículos de combustão interna, enquanto que, face a velocidades mais altas (> 20 km/h), os níveis de ruído eram comparáveis aos veículos de combustão interna, tendo em conta a aerodinâmica e os ruídos associados ao rolamento do pneu sobre o pavimento. Resultados semelhantes foram relatados por Garay-Vega *et al.* [21], que também compararam os níveis de ruído de veículos HE e seus equivalentes movidos a combustão interna. A diferença máxima de ruído (2-8 dB (A)) entre os tipos de veículos foi observada quando os veículos circulavam a aproximadamente 9,5 km/h. A menor diferença ocorreu a aproximadamente 16 km/h, e não foram observadas diferenças significativas para velocidades acima dos 32 km/h. Também Rosenbloom [22] desenvolveu trabalhos comparativos similares e demonstrou que os sujeitos conseguiam determinar a direção dos veículos de combustão interna em marcha lenta (8-9 km/h) muito antes de o conseguirem fazer face a veículos HE. Quando os demais ruídos do tráfego foram adicionados, os veículos elétricos e híbridos não foram notados até estarem muito próximo dos indivíduos sujeitos. Quando os dois tipos de ruído foram testados perante peões invisuais, os resultados obtidos foram semelhantes.

Embora os veículos híbridos operem apenas parcialmente por recurso ao motor elétrico, eles não podem ser considerados completamente silenciosos, já que emitem ruído resultante da aceleração a velocidades elevadas, derivado do rolamento e da aerodinâmica [33]. Segundo Wogalter *et al.* [4], estes veículos tendem a ser mais silenciosos do que a maioria dos veículos atuais movidos à base de hidrocarbonetos

3.2.3. Um problema de segurança

Em consequência, face à circulação de um veículo deste tipo ao longo de uma determinada estrada, é muito provável que um peão ouça todos os veículos que circulam a elevadas velocidades, onde predominam os ruídos do motor e do vento, alheando-se da eventual proximidade de um veículo silencioso [9]. Esta é igualmente a situação de um cruzamento, onde o peão tende a ouvir, predominantemente, os veículos durante a aproximação, camuflando a sua presença nas suas imediações e proximidade. Deve-se ainda notar que a intensidade do ruído varia de acordo com as condições ambientais e meteorológicas, particularmente em função da orientação do vento.

Segundo Wogalter *et al.* [4], deve notar-se que a emissão sonora associada aos veículos de combustão interna se releva igualmente como um indicador de desempenho comportamental, sendo que o nível de ruído pode ainda contribuir para a perceção da velocidade de circulação [4]

O relatório publicado pela NHTSA [23] apresenta as características de acidentes em 2009 que envolveram veículos híbridos ou elétricos (HE), e avalia as taxas de sinistralidade destes veículos comparativamente aos veículos convencionais movidos a combustão interna (ICE). Em geral, e no que respeita aos acidentes com peões, o estudo comprovou que os veículos elétricos e híbridos registaram uma taxa de incidência significativamente superior à dos veículos de combustão interna. Tendo por base as estatísticas de acidentes registados em 12 estados dos EUA, concluiu-se que, tal como já referido anteriormente, os veículos elétricos e híbridos se revelaram 2 vezes mais propensos em se envolverem em acidentes com peões do que os veículos de combustão interna. A este nível, assume particular relevância os acidentes associados a manobras de paragem ou de arranque, inversão de marcha em entradas ou saídas de logradouros, acessos a parques de estacionamento, ou seja, manobras associadas à prática de velocidade baixas. Também a análise de incidentes envolvendo ciclistas apontou para resultados similares. As taxas de incidência obtidas sugerem uma maior propensão para a ocorrência de acidentes envolvendo veículos HE. Contudo, importa ter noção de que a representatividade deste tipo de veículos, associada a este estudo, se manteve em proporções extremamente baixas, o que pode pôr em causa a robustez e transposição dos resultados. Por outro lado, o relatório do NHTSA não é conclusivo, uma vez que não comprova se essa propensão se deve ao baixo nível de ruído ou a outros fatores locais [23].

Também no Reino Unido, foram obtidos resultados semelhantes [20]. Os veículos HE revelaram ser duas vezes mais propensos em se envolverem em acidentes com peões do que os veículos de combustão interna, embora também nestes estudos a representatividade dos HE tenha sido considerada diminuta. Os autores concluíram ainda a existência de uma maior probabilidade de ocorrência de acidentes em áreas sujeitas a limites de velocidade inferiores a 64 km/h e associadas a manobras lentas.

Por oposição, um estudo holandês concluiu não existirem diferenças estatisticamente significativas na taxa de incidência de acidentes entre veículos elétricos, híbridos e convencionais. Mais uma vez, a dimensão da amostra

é posta em causa, apesar de a quota de mercado dos veículos elétricos e híbridos nos Países Baixos ser a mais alta da Europa [23]. Em Portugal, e talvez pelo facto de o uso de veículos elétricos ser ainda pouco expressivo, não foram encontrados estudos nacionais incidentes sobre os impactos dos veículos elétricos nos diferentes níveis, nem sobre a sua eventual influência na sinistralidade rodoviária.

Conclui-se assim que devido às baixas taxas de registo de veículos HE, os estudos existentes, para além de raros, são ainda pouco robustos, dada a pouca expressividade dos veículos elétricos na maioria dos países. A inconsistência de resultados continua a justificar um esforço adicional no desenvolvimento de estudos científicos, baseados em metodologias e amostras fidedignas e representativas da população em geral. Complementarmente, e tendo por base os dados de sinistralidade agregados, é extremamente difícil demonstrar que os acidentes registados se devem efetivamente ao nível baixo de ruído do veículo ou eventualmente a outros fatores, como a desatenção ou outros fatores humanos.

3.3. Estudos envolvendo os vários utilizadores da via

3.3.1. Estudos com condutores de veículos elétricos e/ou híbridos

Trabalhos desenvolvidos por Evans [34] demonstram que condutores com audição reduzida têm uma sensação de velocidade igualmente diminuída, tendendo a subestimá-la. Anman e Blommer [35] provam que o desempenho da condução é reduzido quando a intensidade do motor não é compatível com a aceleração do veículo. Além disso, Nelson e Nilsson [24], citados por [4], mostraram que, face a manobras de condução complexas, o desempenho do condutor pode deteriorar-se sempre que as pistas auditivas são eliminadas. Assim, com a redução atual da sonoridade nos veículos, os condutores podem perder a consciência sobre qual a velocidade que está a ser praticada.

Cocron e Krems [25] desenvolveram um estudo envolvendo 70 condutores que foram convidados a conduzir veículos elétricos, com o objetivo de avaliar 5 aspetos particulares: (i) identificar e caracterizar o tipo de incidentes que ocorrem no quotidiano e que possam ser relacionados com o ruído do trânsito; (ii) perceber a forma como os condutores entendem os potenciais problemas de segurança associados aos veículos silenciosos; (iii) perceber a forma como esses condutores expressam esta preocupação/perceção aos outros utilizadores da via pública; (iv) avaliar se essa avaliação é alterada pela experiência de condução individual; e (v) como os condutores avaliam a eficiência dos sons artificiais introduzidos nos veículos, como medida mitigadora. Os dados do estudo sugerem que preocupações por parte do condutor relacionadas ao baixo ruído dos HEs diminuem com o tempo. À medida que os participantes adquiriam experiência de direção, cada vez mais consideravam o baixo nível de ruído como um fator que contribuía para aumentar o conforto, e não como uma ameaça aos outros utilizadores da via. Cabe ressaltar que, durante o decorrer do estudo, os indivíduos conduziam regularmente no tráfego urbano e, portanto, tinham que considerar constantemente a presença de peões e ciclistas. Além disso, os condutores relataram que eram especialmente vigilantes em atender a ciclistas e peões, tentando evitar situações críticas através da condução cautelosa. Embora os participantes no estudo admitam que o ruído possa ser importante na interação com os peões, consideram também que a adição de um ruído artificial não iria ser suficiente para resolver o eventual problema de segurança. Por este motivo, e tendo em conta os benefícios ambientais da redução do ruído, os condutores consideraram não valer a pena adicionar esse ruído artificial. Como os condutores do estudo sofreram pouquíssimos incidentes graves relacionados com o ruído, eles consideraram que a questão poderia ser resolvida adaptando um estilo de condução mais seguro e preventivo.

3.3.2 Estudos com peões

Testes realizados por Garay-Vega *et al.* [21] com peões cegos incidiram sobre a deteção auditiva de veículos híbridos, elétricos e de combustão interna quando sujeitos a diferentes níveis de ruído ambiente e a diferentes manobras. Os resultados mostraram que os veículos HE só se fizeram sentir mais próximo dos peões. O veículo híbrido foi o primeiro a ser detetado, unicamente em fase de desaceleração, muito provavelmente devido ao ruído emitido pelo sistema de travagem regenerativa. Apesar disso, os autores demonstraram que os tempos de deteção obtidos nestes estudos, se revelaram suficientes para peões ou motoristas evitarem colisões. No entanto, deve-se notar que nos testes, os peões direcionaram toda a sua atenção a esta tarefa, situação que dificilmente poderá ocorrer em condições reais de circulação. Também Wall Emerson *et al.* [9] estudaram o comportamento de peões cegos durante o atravessamento da rua face a diferentes tipos de veículos. Os veículos elétricos a velocidades abaixo 32 km/h foram os mais dificilmente detetados por parte dos invisuais. O Toyota Prius, um dos veículos elétricos e híbridos testados, só foi detetado a cerca de 17 m, o que, tendo por base a velocidade adotada nos testes

de 50 km/h, corresponde a pouco mais de 1s de distanciamento temporal. Atendendo a que os veículos-teste se aproximavam a velocidades superiores, os veículos Toyota Prius, Honda e de combustão interna foram detetados a intervalos de 4-5 segundos, embora estes intervalos ainda não sejam compatíveis com o atravessamento da rua em segurança. Segundo o TEDPR Group [26], há uma tendência para o nível de cegueira e de baixa visão aumentar progressivamente até 2020, pelo que é expectável que uma parte significativa da população seja composta por peões de visão reduzida, e que os problemas relatados se tendam a agudizar. A agravar o nível de conflito, o risco tende a aumentar à medida que os peões com deficiência visual enfrentam situações de tráfego complexas (por exemplo, rotundas), intensas ou sempre que tenham acesso limitado a informações importantes de orientação (por exemplo, o som de um veículo em aproximação)[5], [10].

Em interseções, no momento do atravessamento, Van Houten *et al.* [27] verificou que os peões com visão tendem a não olhar diretamente para os veículos que se aproximam. Em vez disso, eles tendem a confiar em pistas auditivas [27]. Comparativamente a situações em que os veículos se aproximavam pelo lado ou pela frente, o menor nível de procura de contacto visual regista-se sempre que os veículos que se aproximavam por trás. Segundo estes autores, apenas cerca de 30% dos peões olharam para os veículos na aproximação, sugerindo que à medida que aumenta a representatividade dos veículos HE nas correntes de tráfego urbanas, essas situações se tenderão a tornar cada vez mais recorrentes.

3.3.3. Outros estudos

Wogalter, et al. [4] realizaram três estudos centrados nesta temática. No primeiro estudo, foi demonstrado o interesse em carros híbridos e elétricos, bem como a preocupação com a ausência de ruído nas pistas. O segundo trabalho incidiu sobre a avaliação de 14 diferentes tipologias de som com potencial para serem introduzidas nos veículos silenciosos. Por sua vez, o terceiro consistia em ouvir e classificar sons reais integrados em diferentes categorias pré-definidas que foram incorporados num vídeo que envolvia um veículo híbrido em movimento. Esses estudos permitiram identificar um conjunto de sons que, segundo os trabalhos desenvolvidos, demonstraram contribuir para facilitar a deteção de veículos silenciosos em movimento por parte dos peões em diferentes contextos rodoviários.

Por sua vez, Wall Emerson *et al.* [9] chama a atenção para o perigo acrescido que os veículos elétricos e híbridos acarretam para os deficientes visuais. Segundo este estudo, a segurança dos invisíveis ou peões com baixa acuidade visual é substancialmente comprometida pela ausência de emissão sonora de veículos, já que, nestes casos, o ruído atua como um guia que indica, não apenas a aproximação dos veículos, mas também a perceção de movimento na estrada. Assim, os locais que não dispõem de avisos sonoros revelam-se como sítios de risco acrescido de acidentes, já que os sons do tráfego são uma fonte de informação consistente para os invisíveis.

Um estudo recente da NHTSA, divulgado em fevereiro de 2017, é uma atualização do relatório que avalia a causa dos acidentes que envolvem peões e ciclistas, bem como veículos HE comparativamente a veículos de combustão interna. O relatório original, publicado em 2009, foi aplicado a zonas urbanas de 16 estados dos EUA, Europa e Ásia e contemplou 5 modelos de veículos híbridos e elétricos em diferentes cenários de circulação (velocidades e mudanças de direção). Nessa altura, os resultados apontaram 77 atropelamentos causados por este tipo de veículos. No ano de 2011, foi publicada nova atualização ao estudo, mantendo a mesma metodologia e estudos de caso, apontando para 86 atropelamentos. Esse número veio ainda a aumentar para 244 quando todos os modelos de veículos elétricos e híbridos foram incluídos. Finalmente, a última atualização onde a dimensão da amostra de veículos elétricos e híbridos foi aumentada e integrou 68.950 acidentes, resultou em 420 acidentes envolvendo peões [28]. Tais resultados incidiam num claro aumento da representatividade deste tipo de veículos no parque automóvel, mas também num eventual aumento da probabilidade do seu envolvimento em acidentes com peões.

Assim, identificam-se vários estudos que incidem sobre a ausência de ruído de veículos elétricos. No entanto, a sua relação com o comportamento e segurança dos peões ainda não foi suficientemente discutida e cientificamente analisada. Este conhecimento torna-se extremamente relevante para a comunidade científica, já que as interações entre peões e veículos elétricos e, em particular, a sensação de (in)segurança percebida pelos peões, relativamente à partilha do espaço com veículos elétricos, poderá influenciar as escolhas dos seus trajetos.

4 MEDIDAS MITIGADORAS

Como forma de mitigar a falta de ruído em alguns motores, Wogalter *et al.* [4] estudaram a proposta de adicionar sons virtuais a veículos silenciosos. A investigação desenvolvida assenta na procura das respostas a duas perguntas fundamentais: (1) a incorporação de sons virtuais tende a ser eficaz? (2) que tipo de som tende a ser mais eficaz?

Um método potencial é aumentar o nível de ruído. Björkman e Rylander [29] concluíram que o nível de ruído proveniente do motor de combustão interna normalmente se correlaciona positivamente com a velocidade adotada. Os resultados obtidos sugerem que são poucos os veículos (aproximadamente 1%) que excedem o nível de ruído de 75 dBA, o qual, segundo alguns estudos, representa o limiar de confusão [36]. Para além do volume, também o tipo de som virtual adicionado carece de estudo, designadamente o seu conteúdo espectral. Se for usada uma faixa de frequência limitada, o som pode ser camuflado por outros sons. Além disso, algumas frequências podem tornar-se incómodas e, portanto, consideradas inaceitáveis como som adicional a incorporar em veículos silenciosos. De acordo com Marshall, Lee e Austria [30], alguns sinais sonoros no veículo (por exemplo, aqueles que se repetem após curtos intervalos de tempo) são percebidos como altamente urgentes e, portanto, úteis para identificar sinais de alerta. Este tipo de estudo revela-se extremamente relevante, já que o tipo de som do veículo pode fornecer informações críticas, quer para os peões, quer para os condutores.

Os trabalhos de investigação incidentes sobre a forma como os condutores avaliam o nível de ruído ainda são extremamente escassos, limitando-se a informações gerais. Num estudo que avaliou o grau de aceitação dos veículos elétricos na Suécia, os participantes declararam que o baixo ruído contribuiu positivamente para aumentar o prazer de conduzir [31]. Os resultados de um estudo sobre o uso de veículos elétricos [32] mostram que os condutores geralmente apreciam o baixo ruído associado ao motor, tendo-se, contudo, obtido uma variação considerável nas classificações atribuídas por cada inquirido. Além disso, alguns participantes assumem que a falta de ruído foi benéfica ao meio ambiente, enquanto que outros manifestaram preocupações de segurança. Também um estudo levado a cabo no Reino Unido revelou preocupações dos condutores relativamente à segurança de peões e ciclistas, antes de conduzir um veículo elétrico pela primeira vez. Resultados semelhantes também foram obtidos em estudos alemães sobre este tipo de veículos [33]. Embora os condutores geralmente apreciassem o baixo nível de ruído emitido pelo veículo, foi constante a manifestação de preocupação com a segurança de outros utilizadores da via antes de conduzir os veículos pela primeira vez. À medida que a familiarização com este tipo de veículos aumentou, essas preocupações foram-se dissipando.

Apesar de não abordar a questão dos veículos elétricos, Soares *et al.* [34] reconhece que o impacto negativo do ruído na saúde humana é uma realidade e que o tráfego rodoviário é responsável por uma elevada percentagem de ruído ambiental, levando os autores a afirmar que os conceitos de incómodo dos sons de tráfego reais e virtuais são comparáveis. Para trabalhar nesta abordagem, foram gerados alguns sons virtuais através de *software*, tendo por base sons reais gravados em simulador. Como resultado, ambos os grupos tiveram sons gerados em duas velocidades e três superfícies de pavimento urbano (betão betuminoso, blocos pré-fabricados de cimento e cubos de granito). A partir de resultados experimentais, os autores concluíram que os estímulos virtuais são gerados a partir de medições de ruído dos pneus sobre a estrada. De facto, os estímulos virtuais são compostos apenas por ruído dos pneus e são livres de interferência causada por ruído mecânico e ambiental, mostrando assim que o ambiente virtual nem sempre é adequado para representar a realidade.

5 CONCLUSÕES

Os veículos elétricos revelam-se mais silenciosos do que os movidos a combustão interna, particularmente quando operam a baixa velocidade. Este tema tem vindo a ganhar destaque, particularmente na última década, consubstanciado através do desenvolvimento de investigação científica que correlaciona a propensão de ocorrência de acidentes com o nível de ruído emitido por este tipo de veículos na aproximação a diferentes zonas críticas. Esta linha de ação tem vindo a tomar ênfase acrescida, face à representatividade de peões invisuais ou com visão diminuída. Outra linha de investigação tem incidido na definição de soluções mitigadoras que pronunciem a presença deste tipo de veículos. Contudo, muito permanece por fazer, no sentido de encontrar soluções eficazes capazes de mitigar os efeitos da falta de ruído, e que possam vir a ser desenvolvidas em grande escala.

Para ultrapassar estas questões, é necessário caracterizar e conhecer o comportamento de peões em situação de interação com este tipo de veículos, principalmente quando estes circulam em marcha lenta. A introdução de sons virtuais adicionais tem-se revelado promissora. Contudo, a investigação ainda permanece em estado incipiente,

sendo fundamental identificar intensidades, frequências e intermitências adequadas a ser automaticamente acionadas face a diferentes situações de risco. Em alternativa, justifica-se promover investigação que permita tirar o devido potencial de utilização de diferentes tipos/cadências/combinções de pavimentos, capazes, no seu todo, de emitir níveis/intermitências de ruído, que possam ser representativos de diferentes tipos de avisos/alertas. Em síntese, os resultados da emissão de ruído dos veículos elétricos e híbridos sugerem que, particularmente quando circulam a velocidades inferiores a 20 km/h, as emissões de ruído diferem entre os tipos de veículo, tornando especialmente difícil a deteção da presença dos veículos HE pelos peões invisuais.

6 REFERÊNCIAS

- [1] I. E. A. IEA, “Global EV Outlook 2017: Two million and counting,” *IEA Publ.*, pp. 1–71, 2017.
- [2] McKinsey, *Electric Vehicles in Europe*, no. 20. 2016.
- [3] K. T. Chau, C. C. Chan, and C. Liu, “Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2246–2257, 2008.
- [4] M. S. Wogalter, R. W. Lim, and P. G. Nyeste, “On the hazard of quiet vehicles to pedestrians and drivers,” *Appl. Ergon.*, vol. 45, no. 5, pp. 1306–1312, 2014.
- [5] D. H. Ashmead, D. Guth, R. S. Wall, R. G. Long, and P. E. Ponchillia, “Street Crossing by Sighted and Blind Pedestrians at a Modern Roundabout,” *J. Transp. Eng.*, vol. 131, no. 11, p. S. 812-821, 2005.
- [6] S. Fleury, É. Jamet, V. Roussarie, L. Bosc, and J. C. Chamard, “Effect of additional warning sounds on pedestrians’ detection of electric vehicles: An ecological approach,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 97, pp. 176–185, 2016.
- [7] D. Guth, D. Ashmead, R. Long, R. Wall, and P. Ponchillia, “Blind and Sighted Pedestrians’ Judgments of Gaps in Traffic at Roundabouts,” *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 47, no. 2, pp. 314–331, 2005.
- [8] A. Stelling-Kończak, M. Hagenzieker, J. J. F. Commandeur, M. J. H. Agterberg, and B. van Wee, “Auditory localisation of conventional and electric cars: Laboratory results and implications for cycling safety,” *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 41, pp. 227–242, 2016.
- [9] R. Wall Emerson, K. Naghshineh, J. Hapeman, and W. Wiener, “A pilot study of pedestrians with visual impairments detecting traffic gaps and surges containing hybrid vehicles,” *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 14, no. 2, pp. 117–127, 2011.
- [10] R. S. Wall, D. H. Ashmead, B. L. Bentzen, and J. Barlow, “Directional guidance from audible pedestrian signals for street crossing,” *Ergonomics*, vol. 47, no. 12, pp. 1318–1338, 2004.
- [11] ANSR - Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, “Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária 2016,” pp. 1–58, 2017.
- [12] ScienceDaily, “When electric vehicles crash, what happens to the battery?,” *ScienceDaily*, 2017. .
- [13] C. Lampton, “Are electric cars safe in accidents? | HowStuffWorks,” *HowStuffWorks*, 2018. .
- [14] Veículoselétricospt, “Acidentes com carros elétricos,” 2011. .
- [15] Jornal do Comércio, “Nissan cria som para os seus silenciosos carros elétricos,” 2017. .
- [16] T. A. Board, M. Wigan, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), and S. Bandara, “Traffic Safety Facts: 2015,” *Transp. Res. Rec.*, no. August, pp. 1–9, 2015.
- [17] L. P. Specht, R. Kohler, C. E. Pozzobon, and S. C. Callai, “Causas, formas de medição e métodos para mitigação do ruído decorrente do tráfego de veículos,” *Rev. Tecnol.*, vol. 30, no. 1, pp. 12–26, 2016.
- [18] U. Sandberg, “Tyre/road noise – Myths and realities,” in *The 2001 International Congress and Exhibiton on Noise Control Engineering*, 2001, p. 22.

- [19] EEA, “Road traffic remains biggest source of noise pollution in Europe,” 2017.
- [20] P. A. Morgan, L. Morris, M. Muirhead, L. K. Walter, and J. Martin, “Assessing the perceived safety risk from quiet electric and hybrid vehicles to vision-impaired pedestrians,” *TRL Publ Proj. Rep*, vol. 2011, pp. 1–74, 2011.
- [21] L. Garay-Vega, A. Hastings, J. K. Pollard, M. Zuschlag, and M. D. Stearns, “Quieter Cars and the Safety Of Blind Pedestrians: Phase I,” *Natl. Highw. Transp. Saf. Agency*, no. April, pp. 1–151, 2010.
- [22] T. Rosenbloom, “Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups,” *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 12, no. 5, pp. 389–394, 2009.
- [23] E. Verheijen and J. Jabben, “Effect of electric cars on traffic noise and safety,” *Public Health*, p. 29, 2010.
- [24] T. M. Nelson and T. H. Nilsson, “Comparing headphone and speaker effects on simulated driving,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 22, no. 6, pp. 523–529, 1990.
- [25] P. Cocron and J. F. Krems, “Driver perceptions of the safety implications of quiet electric vehicles,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 58, pp. 122–131, 2013.
- [26] T. E. D. P. R. Group, “Causes and prevalence of visual impairment among adults in the united states,” *Arch. Ophthalmol.*, vol. 122, no. 4, pp. 477–485, 2004.
- [27] R. Van Houten, J. E. L. Malenfant, J. Van Houten, and R. A. Retting, “Reduce Pedestrian and Vehicle Conflicts,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 1578, no. 971401, pp. 20–22, 1997.
- [28] J. Wu, “Updated Analysis of Pedestrian and Pedalcyclist Crashes With Hybrid Vehicles,” *Traffic Saf. Facts - Res. Note*, no. February, p. 10p, 2017.
- [29] M. Björkman and R. Rylander, “Maximum Noise Levels in City Traffic,” *J. Sound Vib.*, vol. 205, no. 4, pp. 513–516, 1997.
- [30] D. C. Marshall, J. D. Lee, and P. A. Austria, “Alerts for In-Vehicle Information Systems: Annoyance, Urgency, and Appropriateness,” *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 49, no. 1, pp. 145–157, 2007.
- [31] A. Gärling, “Paving the Way for the Electric Vehicle,” p. 25, 2001.
- [32] S. Carroll and C. Walsh, “the Smart Move Trial Description and Intial Results,” *Cent. Excell. Low Carbon Fuel Cell ...*, 2010.
- [33] P. Cocron, F. Bühler, T. Franke, I. Neumann, and J. Krems, “The silence of electric vehicles – blessing or curse?,” *Pap. Accept. to Appear Proc. 90th Annu. Meet. Transp. Res. Board, Washington, DC*, no. 49, pp. 1–14, 2011.
- [34] F. Soares *et al.*, “Traffic noise: Annoyance assessment of real and virtual sounds based on close proximity measurements,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 52, pp. 399–407, 2017.
- [33] Robbins, Malcolm C. “*The Effectiveness of Emergency Vehicle Audio Warning Systems.*” Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, vol. 39, no. 15, Oct. 1995
- [34] Evans, L. Speed estimation from a moving automobile. *Ergonomics* 13, 219 e 230, 1970.
- [35] Amman, S., Blommer, M. Psychoacoustic Considerations in Vehicle Ergonomic Design. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA: Publication No. SP- 1426. American Technical Publishers Ltd, 27e29 Knowl Piece, Wilbury Way, Hitchin, Herts, SG4 0SX, UK, pp. 123e128, 1999.
- [36] R. Rylander, M.Björkman, S.Sörensen and E. Öhrström. Report 1993, Department of Environmental Medicine, Gothenburg, Sweden, 1–13. Guidelines for environmental noise annoyance (GENA), 1993.