

PANORAMA DO USO DE SIMULADORES DE DIREÇÃO EM PESQUISAS SOBRE AVALIAÇÃO DA ATENÇÃO DOS MOTORISTAS

Bruno Braga Batista

César Luís Andriola

Eduardo Henrique Siqueira

Christine Tessele Nodari

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

RESUMO

Simuladores de direção vêm sendo utilizados com alta frequência para conduzir pesquisas na literatura científica. O presente estudo visa identificar o foco acadêmico dos trabalhos que utilizam simuladores de direção. Para isso, realizou-se uma revisão de literatura sobre o tema com o objetivo de identificar quais assuntos abordados nos últimos anos utilizaram simuladores de direção, quais as principais tendências e de que forma o uso de simuladores de direção pode contribuir para a resolução de problemas, em especial de segurança viária. A segunda parte da metodologia aprofundou a análise em artigos relacionados à atenção do motorista nos últimos três anos, uma vez que a primeira etapa da revisão identificou esse tema através da listagem de palavras chave com maior ocorrência em artigos de simuladores de direção.

ABSTRACT

Driving simulators have been used with a very high frequency to conduct research in the scientific literature. The present study aims to identify the academic focus of the researches that are using driving simulators. For this, a literature review on the subject was carried out in order to identify which topics have been researched in recent years using driving simulators, what are the main trends and how the use of driving simulators to contribute to problem solving, particularly in road safety. The second part of the methodology has deepened the analysis in articles related to the attention of the driver in the last three years, since the first step of the review identified this theme through the list of keywords with greater occurrence in articles of driving simulators.

1. INTRODUÇÃO

Simuladores de direção são equipamentos que permitem reproduzir a atividade de dirigir em um ambiente controlado. Assim torna-se possível examinar o comportamento do motorista frente a elementos de complexidade e imprevisibilidade que seriam, de outra forma, impraticáveis, antiéticos, perigosos e até impossíveis de serem examinados (Calhoun e Pearlson, 2012). O uso crescente desses equipamentos na área de segurança viária traduz a necessidade atual de identificar os fatores de risco para a performance dos motoristas, principalmente no que diz respeito à atenção do motorista, conforme identificado neste trabalho.

Dentre as razões que justificam o uso de simuladores de direção nos estudos de tráfego pode-se destacar a possibilidade de análise de alterações no projeto geométrico, elementos de sinalização e dispositivos de alerta aos motoristas mesmo que tais elementos ainda não tenham sido implementados na prática. Adicionalmente, os simuladores permitem a realização de experimentos em ambiente seguro e controlado, fornecendo dados em quantidade suficiente para análises estatísticas robustas.

Entre as limitações do uso dos simuladores estão a limitação de realismo, custo do desenvolvimento de cenários e a ocorrência de *simulation sickness*. Apesar dessas limitações, é crescente o número de estudos envolvendo simuladores de direção. Neste contexto, surge a motivação para o desenvolvimento deste artigo que buscou identificar o principal foco acadêmico de estudos sobre simuladores de direção por meio de uma revisão da literatura. Com esse objetivo, este documento é estruturado em quatro seções, incluindo essa introdução. Na seção dois é apresentada a metodologia de construção de um panorama geral sobre o assunto e a posterior revisão aprofundada sobre o tema mais relevante. Em seguida são apresentados os principais resultados na seção três, e as considerações finais na seção quatro.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir de duas etapas metodológicas principais: (i) construção de um panorama geral e identificação dos principais temas relacionados à área e (ii) aprofundamento da revisão da literatura a partir dos resultados da primeira etapa e das necessidades complementares identificadas.

2.1 Panorama geral de pesquisas sobre simuladores de direção

A temática de simuladores de direção é ampla e apresenta extensa literatura, ganhando crescente relevância da área de transportes. Desse modo, esta etapa inicial busca identificar uma considerável parcela da literatura existente sobre simuladores de direção, produzir um panorama geral sobre o assunto e identificar os principais temas que o mesmo engloba, de modo a possibilitar uma revisão da literatura mais aprofundada sobre os temas recorrentes.

De modo a abranger o maior número de artigos sobre o assunto, foi utilizado um algoritmo na base de dados eletrônica *Scopus* que abrangesse qualquer artigo que contivesse os termos *driving simulation*, *driving simulator*, *driver simulation* ou *driver simulator* no título, no resumo ou nas palavras-chave. Os resultados encontrados foram exportados para uma planilha eletrônica contendo as informações de autores, título, resumo, afiliação (conforme primeiro autor), DOI, ano e palavras-chave. Essas informações foram utilizadas para produzir um panorama geral da produção acadêmica existente sobre o assunto.

O objetivo principal dessa etapa foi identificar os principais temas abordados dos estudos publicados envolvendo uso de simuladores de direção. Para atingir este objetivo, as palavras-chave de todos os artigos analisados foram extraídas e agrupadas, quando repetidas. Em seguida os autores realizaram uma análise manual de modo a agrupar as palavras-chaves que, apesar de diferentes, representassem assuntos similares ou idênticos.

Analisando os principais assuntos resultantes da análise das palavras-chave, os autores elencaram um grupo de temas com elevada repetição nos trabalhos revisados levando em consideração as principais problemáticas existentes na área de transportes. Este grupo de temas foi agregado consolidando, assim, as áreas temáticas que possuíram maior uso de simuladores entre 2000 e 2019.

2.2 Aprofundamento da revisão da literatura

A revisão da literatura aprofundada segue os conceitos relativos a uma revisão tradicional da literatura, mais especificamente o descrito por Cronin *et al.* (2008), que envolve as seguintes etapas: (i) selecionando um assunto para revisão, (ii) pesquisando na literatura, (iii) coletando, lendo e analisando a literatura, (iv) escrevendo a revisão e (v) consolidando as referências.

Apesar da revisão realizada neste artigo seguir o conceito tradicional de revisão da literatura, os autores seguiram as recomendações de Haddaway *et al.* (2015), que sugere lições a serem retiradas do conceito de revisão sistemática. Esse procedimento visa melhorar a confiabilidade dos resultados de uma revisão tradicional, tendo em vista que o tópico em estudo exige uma revisão exploratória da literatura, o que não justifica uma revisão sistemática.

2.2.1. Selecionando um assunto para revisão

A seleção do assunto relacionado à simuladores de direção foi realizada conforme análise crítica descrita na seção anterior.

2.2.2. *Pesquisando na literatura*

Para a pesquisa foi utilizada a base de dados eletrônica *Scopus*. Foram pesquisados artigos publicados em língua inglesa e que possuíam palavras-chave que melhor representassem estudos sobre simuladores de direção e a atenção ou distração do motorista. Para isso, foi construído um algoritmo para utilização na base do *Scopus*, utilizando as palavras-chaves da pesquisa anterior em conjunto com palavras-chave que representassem o tema mais relevante identificado na etapa anterior, para os últimos 3 anos, de modo a considerar estudos atuais.

Para evitar o viés de literatura, avaliou-se também estudos produzidos dentro da literatura cinzenta (teses e dissertações, relatórios técnicos e notas de trabalho). Tal consideração surgiu através de recomendações avaliadas para redução de viés, visto a propensão de revistas em publicar artigos com resultados positivos ou significantes (Lortie *et al.*, 2007)

2.2.3 *Coletando, lendo, e analisando a literatura*

Os resultados da etapa anterior foram exportados para uma planilha eletrônica, de modo similar ao exposto na seção 2.1. A análise dos artigos selecionados foi realizada a partir de uma grade contendo as informações sobre o autor, principais assuntos, objetivos, metodologias e principais resultados, de maneira similar ao sugerido por Timmins e McCabe (2005).

2.2.4 *Escrevendo a revisão*

A organização textual foi realizada de modo a manter a simplicidade e objetividade, evitando palavras imprecisas e jargões (Cronin *et al.*, 2008). O corpo textual foi produzido a partir da grade de informações citada anteriormente e organizado em três seções: principais assuntos, metodologias utilizadas e nível de fidelidade dos simuladores.

2.2.5 *Referências*

A lista completa de referências foi produzida seguindo a organização corrente na literatura.

3. RESULTADOS

Os resultados estão organizados em dois grupos. O primeiro apresenta os resultados da pesquisa inicial sobre simuladores de direção, que buscou consolidar um panorama geral sobre o assunto e identificar os principais subtemas abordados. O segundo grupo faz uso dos resultados anteriores, que definiram o assunto a ser revisado, e apresenta o detalhamento da revisão seguindo a metodologia apresentada na seção anterior.

3.1 **Resultados do panorama geral de pesquisas sobre simuladores de direção**

Na pesquisa do panorama geral foi utilizada a base de dados eletrônica do *Scopus*. Foram pesquisados artigos publicados em língua inglesa e que possuíam palavras-chave que melhor representassem estudos sobre simuladores de direção, utilizando o algoritmo: (TITLE-ABS-KEY("driving simulation") OR TITLE-ABS-KEY("driving simulator") OR TITLE-ABS-KEY("driver simulation") OR TITLE-ABS-KEY("driver simulator")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2010) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2009) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2008) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2007) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2006) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2005) OR LIMIT-TO

(PUBYEAR,2004) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2003) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2002) OR
LIMIT-TO (PUBYEAR,2001) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2000).

A base de dados gerada incluiu 6759 artigos relacionados à simuladores de direção entre 2000 e 2019. A partir dessa base e com o intuito de ilustrar quais os principais focos recentes dos artigos sobre simuladores de direção, os mesmos foram categorizados quanto à área de conhecimento, país do autor principal, universidade/instituição de pesquisa do autor principal e palavras-chave (Figura 1).

 Número de artigos publicados por instituição de pesquisa ou universidade classificados pelo autor principal.	 Número de artigos publicados por país classificados pelo autor principal.	 Palavras-chave mais citadas nos artigos.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Universidade de Tongji, China 82 2. Universidade de Delft, Holanda 68 3. Univers. de Tsinghua, China 62 4. Universidade de Jilin, China 58 5. Universidade Tecnológica de Pequim, China 52 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estados Unidos 1535 2. Japão 823 3. China 748 4. Alemanha 699 5. França 320 6. Reino Unido 293 7. Holanda 231 8. Canadá 219 9. Coréia do Sul 200 10. Austrália 191 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Distraction ou Attention 390 2. Cognition ou Electroencephalogram 300 3. Human Machine Interaction 196 4. Aging 171 5. Eye 165 6. Driving Performance 161 7. Automated Driving 154 8. Driver Assistance System 154 9. Collisions 108 10. Drowsiness 106

Figura 1: Resultado do panorama geral realizado

Os artigos foram analisados em áreas e subáreas do conhecimento, sendo que cada artigo pode se enquadrar em mais de uma subárea, conforme periódico em que se encontra. A maioria dos temas dos periódicos se enquadraram na área de *Ciências Físicas* (57%), relacionado a calibração dos simuladores, simulação dos aspectos mecânicos dos veículos, de desenhos viários e de novos equipamentos. A segunda maior área de concentração foi *Ciências Sociais* onde foram enquadrados 19% dos temas dos periódicos. Tais artigos abordam questões comportamentais da interação entre motorista e veículo/simulador. A terceira e quarta áreas foram *Ciências da Vida* e *Ciências da Saúde*. Ambas abordam a relação dos motoristas e veículos/simuladores considerando um viés mais específico para questões fisiológicas e psicológicas dos condutores e como isso impacta no seu desempenho.

Os artigos foram classificados por país do autor principal. Tal análise é interessante para a identificação de quais são os principais centros globais de estudo que utilizam simuladores de direção. Em torno de 80% dos artigos sobre simuladores de direção publicados na base eletrônica de dados *Scopus*, considerando o país do principal autor, são produzidos pelos 10 países que lideram o número de publicações (Figura 1).

Os artigos foram classificados também de acordo com a universidade/instituição do principal autor (Figura 1). Uma característica em comum das principais instituições listadas é a posse de simuladores de alta fidelidade, o que mostra um grande investimento por parte das

instituições nessa ferramenta de pesquisa. Outro aspecto importante é a presença de instituições que não são universidades com números relevantes de artigos publicados, entre elas o Grupo de Pesquisa e Tecnologia BMW na Alemanha, com 38 artigos, e o Instituto de Pesquisa do Automóvel do Japão com 24 artigos. Estes são exemplos de instituições privadas e públicas que não são universidades, mas exercem contribuições significativas para academia.

Nesta análise destacaram autores chineses (6 autores chineses entre os 10 com maior número de publicações). Isso está de acordo com as análises realizadas em relação à países, onde a China é um dos principais produtores de artigos, e também com relação às instituições de pesquisa, onde a China possui duas das três universidades com maior produção no período estudado. Contudo, o autor principal com mais artigos publicados é Francesco Bella, autor italiano da Universidade Roma Tre, com 28 artigos escritos. Essa produção expressiva de um autor fora do eixo Estados Unidos - Japão - China, os três países que lideram o estudo acadêmico de simuladores, merece destaque.

Para identificar o foco acadêmico de estudos sobre simuladores de direção, realizou-se um levantamento das palavras-chave mais citadas nos artigos, conforme metodologia apresentada, resultando em 97 palavras-chave, nas quais as 10 mais citadas são apresentadas nesse artigo (Figura 1). A maior ocorrência do assunto “distração ou atenção de motoristas” resultou na escolha desse assunto para a revisão mais aprofundada. Outra motivação para o uso desse assunto é o fato de que a falta de atenção é a principal causa de acidentes em rodovias federais brasileiras nos últimos dez anos (DPRF, 2019). O grande número de estudos e acidentes relacionados ao assunto demonstram a relevância do tema para a área de segurança rodoviária.

3.2 Resultado do aprofundamento da revisão da literatura

A presente seção consolida e aprofunda a análise dos artigos que utilizam simuladores de direção para a avaliação da atenção dos motoristas. Para isso, foram utilizadas as palavras-chave “*driving simulation*”, “*driving simulator*”, “*driver simulation*”, “*driver simulator*”, “*distraction*” e “*attention*” para os últimos 3 anos, de modo a considerar estudos atuais. O algoritmo utilizado na base do *Scopus* resultou em: (KEY("driving simulation") OR KEY("driving simulator") OR KEY("driver simulation") OR KEY("driver simulator")) AND (KEY("distraction") OR KEY("attention")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017)), de modo a incluir apenas artigos que continham os assuntos observados como mais relevante.

Inicialmente, foram selecionados 101 artigos dentro da metodologia apresentada na seção anterior, dos quais foram excluídos trabalhos que, embora possuíssem as palavras-chave pesquisadas pelo algoritmo, não realizaram um estudo direto utilizando simuladores de direção (21) e documentos que não foram encontrados (3). No total, 77 artigos foram analisados de forma aprofundada.

3.2.1. Principais assuntos

O uso do telefone celular destaca-se como o assunto mais estudado durante experimentos envolvendo a temática uso de simuladores de direção para a avaliação da atenção dos motoristas, totalizando 14 artigos (18%). Dentre eles, alguns avaliam também a utilização de um dispositivo de smartwatch e seus efeitos na atenção (Perlman et al., 2019; Giang et al., 2017).

Perlman et al. (2019) faz o uso conjunto de um aparelho de monitoramento cardíaco com um simulador de média fidelidade em uma amostra de 36 indivíduos. O estudo objetiva avaliar a inicialização de uma chamada no telefone celular realizada pelo smartwatch, assistente de voz ou manualmente. Como resultado, a frequência cardíaca e a condutância da pele foram maiores durante as tarefas de iniciar uma chamada (do que “apenas dirigir”), indiferentemente do método de inicialização. Já Giang et al. (2017) utiliza um simulador de alta fidelidade juntamente com a realização de tarefas secundárias durante o experimento, de modo a comparar a diferença nas notificações entre um telefone celular e um smartwatch, realizado em 12 indivíduos. Os resultados mostraram que o smartwatch pode ter consequências negativas na atenção do motorista. Vale salientar que dos 14 artigos dentro da temática de telefone celular, 3 utilizaram um dispositivo de monitoramento ocular (eye tracking) para analisar a atenção do motorista (Hashash et al., 2019; Ebadi et al., 2019; Dumitru et al., 2018).

Outro assunto que apresentou relevância foram os veículos autônomos na atenção do motorista. Ao total, foram 7 artigos (9%) dos quais 5 abordavam a questão da distração em conjunto com a retomada de direção (Feldhütter et al., 2019; Wiedemann et al., 2018; Naujoks et al., 2017; Louw et al., 2017; Zeeb et al., 2017). Desses 5 estudos, apenas um foi realizado com a utilização em conjunto de monitoramento ocular com um simulador de média fidelidade (Feldhütter et al., 2019). O restante (Wiedemann et al., 2018; Naujoks et al., 2017; Louw et al., 2017; Zeeb et al., 2017) utilizaram simuladores de alta fidelidade combinados com tarefas secundárias para atender os objetivos propostos. Outros assuntos que surgiram dentro da temática de veículos autônomos foram a condução dos veículos autônomos em um processo de falha (Shen e Neyens, 2017) e o estresse na condução dos veículos em característica de pelotão (Heikoop et al., 2017).

No terceiro assunto com maior número de artigos tem-se a percepção do motorista em relação ao ciclista, totalizando 4 artigos (5%) (Jannat et al., 2018; Robbins e Chapman, 2018; Warner et al., 2017; Rogé et al., 2017). Robbins e Chapman (2018) e Rogé et al. (2017) tiveram como procedimento metodológico o experimento no simulador estratificando a amostra em dois grupos: motoristas que também eram ciclistas e não ciclistas. Ambos utilizaram simuladores de alta fidelidade para atingir os objetivos propostos. Os resultados de ambos divergem, Robbins e Chapman (2018) concluiu que a experiência dos motoristas que também utilizavam a bicicleta não resultou em uma maior atenção na condução e percepção de outros ciclistas. Todavia, Rogé et al. (2017) verificou que motoristas que também eram ciclistas tinham mais cuidado e maior atenção ao trafegar próximo de outros ciclistas. Jannat et al. (2018) e Rogé et al. (2017) tiveram como objetivo analisar a atenção do motorista em um movimento de conversão à direita na presença de um ciclista. Warner et al. (2017) utilizou o dispositivo de monitoramento ocular combinado com um simulador de alta fidelidade em uma amostra de 28 participantes e propôs algumas medidas no desenho viário para verificar o comportamento do motorista. Foi possível concluir que algumas dessas medidas aumentavam a atenção do motorista em relação ao ciclista. Jannat et al. (2018) utilizou um simulador de média fidelidade em um grupo de 51 participantes. Dessa forma, verificou que os motoristas concentraram mais atenção nos carros à frente deles e menos atenção nas bicicletas dentro da visão periférica do veículo.

Vale salientar que os três assuntos abordados acima totalizam 32% artigos e o resultado mostra a importância dos mesmos na avaliação da atenção do motorista. A crescente utilização do telefone celular durante a condução de um veículo tem sido cada vez mais tema

de destaque na literatura científica (Hill et al., 2019; Trivedi et al., 2017; Shaaban et al., 2018). Segundo a National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) a utilização do dispositivo celular no trânsito aumentou expressivamente o risco de sofrer um acidente (NHTSA, 2014). Para atenuar o problema, medidas proibitivas ao uso do celular ao volante já se mostram positivas (Rudisill et al., 2018). Em relação aos veículos autônomos, os mesmos crescem exponencialmente no mercado automobilístico e podem ser vistos como uma das tendências para o setor. Fato esse que mostra a importância de entender seus impactos na atenção do motorista e, por conseguinte, na segurança viária (Ye e Yamamoto, 2019). Por fim, a percepção dos motoristas em relação aos ciclistas é um tema de grande importância para garantir a segurança dos mesmos e estimular a bicicleta como um modo de transporte (Laureshyn et al., 2017; Oldmeadow et al., 2019)

Dos 52 (68%) artigos restantes, percebe-se uma grande variação nos assuntos. Foi possível classificá-los em outras 43 categorias, entre delas: efeitos do computador de bordo, efeitos de objetos distratores na estrada, alertas visuais durante a condução, sinalização vertical e horizontal e percepção de perigos na estrada. O resultado mostra que os estudos realizados para avaliar a atenção do motorista em simuladores de direção variam consideravelmente em seus assuntos abordados. Isso ocorre devido ao fato dos mesmos serem realizados em contextos, áreas temáticas, países e instituições de pesquisa distintas. Esse fato também corrobora a versatilidade de utilização dos simuladores de direção e sua relevância na área acadêmica.

3.2.2. Metodologias utilizadas

As metodologias utilizadas nos artigos analisados variam consideravelmente. Em sua grande maioria, os estudos com simuladores de direção combinam tarefas secundárias pré-estabelecidas para avaliar a atenção do motorista (Reinmueller e Steinhauser, 2019; Hashash et al., 2019; Jannat et al., 2018; Tarabay e Abou-Zeid, 2018; Chen et al., 2018; Zhang et al., 2018; Naujoks et al., 2017; Zeeb et al., 2017; Oviedo-Trespalacios et al., 2017; Trawley et al., 2017; Saxby et al., 2017; Giang et al., 2017; Heikoop et al., 2017; Yoshizawa et al., 2016; Vieira e Larocca, 2017). Alguns estudos adotam em suas metodologias uma maior interface com a área da medicina e utilizam aparelhos como encefalograma (Chusnia et al., 2018; Morales et al., 2017) ou realizam também exames médicos nos participantes (Beaulieu- Bonneau et al., 2017; Bortkiewicz et al., 2018). É interessante salientar que essas ferramentas podem auxiliar em um melhor entendimento do comportamento do motorista em situações de perigo na estrada e avaliar características fisiológicas que afetam a atenção.

Outro ponto importante a ser destacado foi a utilização do dispositivo de monitoramento ocular. Trata-se uma técnica avançada de rastreamento dos olhos na qual é possível medir a posição e o comportamento do movimento ocular (Holmqvist, 2011). Dentro da presente pesquisa, 16 artigos (21%) utilizaram essa técnica durante o experimento no simulador de direção. Destacam-se alguns que combinaram a utilização do dispositivo com simuladores de alta fidelidade (Bortkiewicz et al., 2018; Zahabi et al., 2017; Warner et al., 2017).

Bortkiewicz et al. (2018) teve como objetivo determinar se a estratégia visual do motorista tinha algum impacto na prevenção de acidentes em uma situação de alto risco. Como resultado, conclui-se que a estratégia visual dos motoristas tem impacto na segurança rodoviária e pode ser uma ferramenta útil no treinamento de motoristas. Zahabi et al. (2017) teve como objetivo quantificar os efeitos dos painéis publicitários e suas informações na

atenção do motorista. Os autores utilizaram o dispositivo de monitoramento ocular estratificando a amostra de 60 participantes em diferentes faixas etárias. Como resultado, os participantes mais velhos apresentaram uma queda na atenção e no desempenho durante o estudo no simulador.

Uma pequena parcela dos estudos analisados utilizou grupos de controle. Essa técnica permite o estudo e análise de uma variável por vez e é uma parte fundamental do método científico (Rosenbaum e Rubin, 1985). Harand et al. (2018) apresenta um estudo utilizando o simulador de direção para investigar a utilidade de técnicas de realidade virtual para avaliar a atenção de pacientes com esclerose lateral amiotrófica (ELA). No estudo realizado com 22 participantes e um simulador de média fidelidade utilizou-se um grupo de controle de indivíduos que não possuíam a doença. Os pacientes com ELA experimentaram dificuldades em manter a trajetória e a velocidade do veículo no simulador, o que pode ser indicativo de dificuldades de atenção. No estudo de Lee et al. (2018) também foi utilizado um grupo de controle para testar a efetividade de medicamentos para pessoas com transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDAH). Hajiseyedjavadi et al. (2018) buscou avaliar a efetividade de avisos de perigo na estrada para motoristas jovens (entre 16 e 24 anos) e aplicou o mesmo experimento para indivíduos com faixas etárias diversificadas. Percebe-se que os estudos que utilizaram grupos de controle possuíam características muito particulares em sua amostra (como o porte uma doença ou uma faixa etária específica) o que tornou necessário isolar a variável (atenção dos motoristas) para um melhor entendimento da mesma.

No que tange a análise dos dados coletados, a grande parte dos estudos utilizam técnicas descritivas com dados agregados para obtenção dos resultados. Não obstante, percebe-se que uma parcela já vem utilizando outras técnicas como, por exemplo, a modelagem com equações estruturais (Papantoniou et al., 2019; Devos et al., 2018; Papantoniou, 2018) ou modelos de regressão linear (Li et al., 2019; Atiquzzaman et al., 2018; Guo et al., 2018; Oviedo-Trespalacios et al., 2017). É importante escolher de forma correta a técnica para a etapa de análises – que varia com os objetivos e características do estudo - para assegurar uma boa leitura dos resultados e garantir a efetiva contribuição do trabalho.

3.2.3. *Nível de fidelidade dos simuladores*

Os simuladores de direção foram classificados, em níveis de fidelidade (baixa, média ou alta) conforme sugere Wynne *et al.* (2019). Do total, 43 (56%) artigos utilizaram simuladores de média fidelidade para obtenção dos objetivos propostos. 26 (34%) estudos foram conduzidos com simuladores de alta fidelidade e 8 (10%) de baixa fidelidade. Cabe ressaltar que o investimento no equipamento é diretamente proporcional ao nível de fidelidade do mesmo, ou seja: quanto maior a fidelidade, maior o custo de aquisição do simulador. Uma predominância de simuladores de direção com fidelidades média e alta corrobora a relevância da temática dentro da pesquisa acadêmica e mostra que, possivelmente, estão sendo realizados investimentos no assunto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou realizar uma revisão da literatura sobre o uso de simuladores de direção para a avaliação da atenção dos motoristas. O tema foi escolhido após pesquisa na literatura sobre simuladores de direção que também foi utilizada para produzir um panorama geral sobre a produção acadêmica com simuladores de direção no mundo entre 2000 e 2019. A partir da definição do tema foi realizada uma revisão mais detalhada da literatura, onde foram analisados de forma aprofundada 77 artigos, publicados nos últimos três anos, de forma a capturar as atuais tendências da literatura sobre o tema.

Dentre os artigos analisados em profundidade, os principais assuntos abordados foram o uso de celulares, veículos autônomos e a interação com ciclistas, o que demonstra a tendência de uso de simuladores de direção como ferramenta para pesquisa em temas amplos da área de segurança viária. O procedimento metodológico melhor estabelecido nos trabalhos é a utilização de tarefas secundárias pré-estabelecidas, e em alguns casos, o uso de conceitos da medicina para avaliar as características fisiológicas que afetam a atenção. Além disso, o uso de dispositivos de monitoramento ocular se mostra de grande relevância para medir a atenção do motorista, a partir de dados da posição e comportamento do movimento ocular. Outro parâmetro importante em pesquisas sobre simuladores de direção é a fidelidade do simulador, onde a maior parte dos estudos foi realizada em simuladores de alta e média fidelidade (90%), o que demonstra tendência de alocação de recursos na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atiquzzaman, M., Qi, Y., e Fries, R. (2018) Real-time detection of drivers' texting and eating behavior based on vehicle dynamics. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 594–604. doi:[10.1016/j.trf.2018.06.027](https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.027)
- Beaulieu-Bonneau, S., Fortier-Brochu, É., Ivers, H., e Morin, C. M. (2017) Attention following traumatic brain injury: Neuropsychological and driving simulator data, and association with sleep, sleepiness, and fatigue. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27(2), 216–238. doi:[10.1080/09602011.2015.1077145](https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1077145)
- Bortkiewicz, A., Gadzicka, E., Siedlecka, J., Kosobudzki, M., Dania, M., Szymczak, W., Józwiak, Z., Szykowska, A., Viebig, P., Pas-Wyroślak, A., Makowiec-Dąbrowska, T., Kapitaniak, B., e Hickman, J. (2018) Analysis of bus drivers reaction to simulated traffic collision situations – Eye-tracking studies. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. doi:[10.13075/ijom.1896.01305](https://doi.org/10.13075/ijom.1896.01305)
- Calhoun, V. D., e Pearlson, G. D. (2012) A selective review of simulated driving studies: Combining naturalistic and hybrid paradigms, analysis approaches, and future directions. *NeuroImage*, 59(1), 25–35. doi:[10.1016/j.neuroimage.2011.06.037](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.037)
- Carnwell R, Daly W (2001) Strategies for the construction of a critical review of the literature. *Nurse Educ Pract* 1: 57–63. doi:[10.1054/nepr.2001.0008](https://doi.org/10.1054/nepr.2001.0008)
- Chen, H.-Y. W., Hoekstra-Atwood, L., e Donmez, B. (2018) Voluntary- and Involuntary-Distractioin Engagement: An Exploratory Study of Individual Differences. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60(4), 575–588. doi:[10.1177/0018720818761293](https://doi.org/10.1177/0018720818761293)
- Chusnia, C., Fitri, L. L., e Suprijanto. (2018) Evoke of The Motoric Brain Waves of Driver in Car Simulator at Night by Blue Light Exposure and Visual Distraction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 197, 012050. doi:[10.1088/1755-1315/197/1/012050](https://doi.org/10.1088/1755-1315/197/1/012050)
- Cronin, P., Ryan, F., e Coughlan, M. (2008) Undertaking a literature review: a step-by-step approach. *British Journal of Nursing*, 17(1), 38–43. doi:[10.12968/bjon.2008.17.1.28059](https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059)
- Devos, H., Ranchet, M., Bollinger, K., Conn, A., e Akinwuntan, A. E. (2018) Performance-based visual field testing for drivers with glaucoma: A pilot study. *Traffic Injury Prevention*, 19(7), 715–721. doi:[10.1080/15389588.2018.1508834](https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1508834)
- DPRF (2019) Acidentes, 2019. Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF) Disponível em: <<<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>>. Acesso em: 10 mai. 2019
- Dumitru, A. I., Girbacia, T., Boboc, R. G., Postelnicu, C.-C., e Mogan, G.-L. (2018) Effects of smartphone based advanced driver assistance system on distracted driving behavior: A simulator study. *Computers in Human Behavior*, 83, 1–7. doi:[10.1016/j.chb.2018.01.011](https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.011)
- Ebadi, Y., Fisher, D. L., e Roberts, S. C. (2019) Impact of Cognitive Distractions on Drivers' Hazard

- Anticipation Behavior in Complex Scenarios. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119811984646. doi:[10.1177/0361198119846463](https://doi.org/10.1177/0361198119846463)
- Feldhütter, A., Härtwig, N., Kurpiers, C., Hernandez, J. M., e Bengler, K. (2019) Effect on Mode Awareness When Changing from Conditionally to Partially Automated Driving. S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Eds), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 823, p. 314–324). Springer International Publishing, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-96074-6_34](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6_34)
- Giang, W. C. W., Chen, H.-Y. W., e Donmez, B. (2017) Smartwatches vs. Smartphones: Notification Engagement while Driving. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, 9(2), 39–57. doi:[10.4018/IJMHCI.2017040103](https://doi.org/10.4018/IJMHCI.2017040103)
- Guo, W., Li, Y., Tan, J., Li, Y., Yang, S., Ma, X., e Jiao, C. (2018) Recognition method of driver's visual distraction based on pupil diameter. *2018 33rd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)* (p. 57–64). Apresentado em 2018 33rd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC), IEEE, Nanjing. doi:[10.1109/YAC.2018.8406347](https://doi.org/10.1109/YAC.2018.8406347)
- Haddaway, N. R., Woodcock, P., Macura, B., e Collins, A. (2015) Making literature reviews more reliable through application of lessons from systematic reviews: Making Literature Reviews More Reliable. *Conservation Biology*, 29(6), 1596–1605. doi:[10.1111/cobi.12541](https://doi.org/10.1111/cobi.12541)
- Hajiseyedjavadi, F., Zhang, T., Agrawal, R., Knodler, M., Fisher, D., e Samuel, S. (2018) Effectiveness of visual warnings on young drivers hazard anticipation and hazard mitigation abilities. *Accident Analysis & Prevention*, 116, 41–52. doi:[10.1016/j.aap.2017.11.037](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.037)
- Harand, C., Mondou, A., Chevanne, D., Bocca, M., e Defer, G. (2018) Evidence of attentional impairments using virtual driving simulation in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 25, 251–257. doi:[10.1016/j.msard.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.08.005)
- Hashash, M., Abou Zeid, M., e Moacdieh, N. M. (2019) Social media browsing while driving: Effects on driver performance and attention allocation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 63, 67–82. doi:[10.1016/j.trf.2019.03.021](https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.021)
- Heikoop, D. D., de Winter, J. C. F., van Arem, B., e Stanton, N. A. (2017) Effects of platooning on signal-detection performance, workload, and stress: A driving simulator study. *Applied Ergonomics*, 60, 116–127. doi:[10.1016/j.apergo.2016.10.016](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.016)
- Hill, T., Sullman, M. J. M., e Stephens, A. N. (2019) Mobile phone involvement, beliefs, and texting while driving in Ukraine. *Accident Analysis & Prevention*, 125, 124–131. doi:[10.1016/j.aap.2019.01.035](https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.01.035)
- Holmqvist, K. (Ed). (2011) *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press, Oxford ; New York.
- Jannat, M., Hurwitz, D. S., Monsere, C., e Funk, K. H. (2018) The role of driver's situational awareness on right-hook bicycle-motor vehicle crashes. *Safety Science*, 110, 92–101. doi:[10.1016/j.ssci.2018.07.025](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.025)
- Kaptein, N., Theeuwes, J., e Van Der Horst, R. (1996) Driving Simulator Validity: Some Considerations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1550, 30–36. doi:[10.3141/1550-05](https://doi.org/10.3141/1550-05)
- Laureshyn, A., Goede, M. de, Saunier, N., e Fyhri, A. (2017) Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway. *Accident Analysis & Prevention*, 105, 11–20. doi:[10.1016/j.aap.2016.04.035](https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.035)
- Lee, Y.-C., Ward McIntosh, C., Winston, F., Power, T., Huang, P., Ontañón, S., e Gonzalez, A. (2018) Design of an experimental protocol to examine medication non-adherence among young drivers diagnosed with ADHD: A driving simulator study. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 11, 149–155. doi:[10.1016/j.conctc.2018.07.007](https://doi.org/10.1016/j.conctc.2018.07.007)
- Li, X., Oviedo-Trespalacios, O., Rakotonirainy, A., e Yan, X. (2019) Collision risk management of cognitively distracted drivers in a car-following situation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 288–298. doi:[10.1016/j.trf.2018.10.011](https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.011)
- Lortie, C. J., Aarssen, L. W., Budden, A. E., Koricheva, J. K., Leimu, R., e Tregenza, T. (2007) Publication bias

- and merit in ecology. *Oikos*, 116(7), 1247–1253. doi:[10.1111/j.0030-1299.2007.15686.x](https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15686.x)
- Louw, T., Markkula, G., Boer, E., Madigan, R., Carsten, O., e Merat, N. (2017) Coming back into the loop: Drivers' perceptual-motor performance in critical events after automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 9–18. doi:[10.1016/j.aap.2017.08.011](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.011)
- Morales, J. M., Díaz-Piedra, C., Rieiro, H., Roca-González, J., Romero, S., Catena, A., Fuentes, L. J., e Di Stasi, L. L. (2017) Monitoring driver fatigue using a single-channel electroencephalographic device: A validation study by gaze-based, driving performance, and subjective data. *Accident Analysis & Prevention*, 109, 62–69. doi:[10.1016/j.aap.2017.09.025](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.025)
- Naujoks, F., Purucker, C., Wiedemann, K., Neukum, A., Wolter, S., e Steiger, R. (2017) Driving performance at lateral system limits during partially automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 147–162. doi:[10.1016/j.aap.2017.08.027](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.027)
- NHTSA (2014). Distracted Driving 2012. (Traffic Safety Facts—Research Note, Report No. DOT HS 812 012). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Oldmeadow, J. A., Povey, S., Povey, A., e Critchley, C. (2019) Driver anger towards cyclists in Australia: Investigating the role of the perceived legitimacy of cyclists as road users. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 63, 240–251. doi:[10.1016/j.trf.2019.04.021](https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.021)
- Oviedo-Trespalacios, O., Haque, M. M., King, M., e Washington, S. (2017) Self-regulation of driving speed among distracted drivers: An application of driver behavioral adaptation theory. *Traffic Injury Prevention*, 18(6), 599–605. doi:[10.1080/15389588.2017.1278628](https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1278628)
- Papantoniou, P. (2018) Structural equation model analysis for the evaluation of overall driving performance: A driving simulator study focusing on driver distraction. *Traffic Injury Prevention*, 19(3), 317–325. doi:[10.1080/15389588.2017.1398825](https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1398825)
- Papantoniou, P., Yannis, G., e Christofa, E. (2019) Which factors lead to driving errors? A structural equation model analysis through a driving simulator experiment. *IATSS Research*, 43(1), 44–50. doi:[10.1016/j.iatssr.2018.09.003](https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.09.003)
- Perlman, D., Samost, A., Domel, A. G., Mehler, B., Dobres, J., e Reimer, B. (2019) The relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. *Applied Ergonomics*, 75, 8–16. doi:[10.1016/j.apergo.2018.09.001](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.09.001)
- Reinmueller, K., e Steinhauser, M. (2019) Adaptive forward collision warnings: The impact of imperfect technology on behavioral adaptation, warning effectiveness and acceptance. *Accident Analysis & Prevention*, 128, 217–229. doi:[10.1016/j.aap.2019.04.012](https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.012)
- Robbins, C. J., e Chapman, P. (2018) Drivers' Visual Search Behavior Toward Vulnerable Road Users at Junctions as a Function of Cycling Experience. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60(7), 889–901. doi:[10.1177/0018720818778960](https://doi.org/10.1177/0018720818778960)
- Rogé, J., Ndiaye, D., Aillerie, I., Aillerie, S., Navarro, J., e Vienne, F. (2017) Mechanisms underlying cognitive conspicuity in the detection of cyclists by car drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 104, 88–95. doi:[10.1016/j.aap.2017.04.006](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.006)
- Rosenbaum, P. R., e Rubin, D. B. (1985) Constructing a Control Group Using Multivariate Matched Sampling Methods That Incorporate the Propensity Score. *The American Statistician*, 39(1), 33–38. doi:[10.1080/00031305.1985.10479383](https://doi.org/10.1080/00031305.1985.10479383)
- Rudisill, T. M., Chu, H., e Zhu, M. (2018) Cell phone use while driving laws and motor vehicle driver fatalities: differences in population subgroups and location. *Annals of Epidemiology*, 28(10), 730–735. doi:[10.1016/j.annepidem.2018.07.015](https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2018.07.015)
- Saxby, D. J., Matthews, G., e Neubauer, C. (2017) The relationship between cell phone use and management of driver fatigue: It's complicated. *Journal of Safety Research*, 61, 129–140. doi:[10.1016/j.jsr.2017.02.016](https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.016)
- Shaaban, K., Gaweesh, S., e Ahmed, M. M. (2018) Characteristics and mitigation strategies for cell phone use while driving among young drivers in Qatar. *Journal of Transport & Health*, 8, 6–14. doi:[10.1016/j.jth.2018.02.001](https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.02.001)
- Shen, S., e Neyens, D. M. (2017) Assessing drivers' response during automated driver support system failures with non-driving tasks. *Journal of Safety Research*, 61, 149–155. doi:[10.1016/j.jsr.2017.02.009](https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.009)

- Tarabay, R., e Abou-Zeid, M. (2018) Assessing the effects of auditory-vocal distraction on driving performance and physiological measures using a driving simulator. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 351–364. doi:[10.1016/j.trf.2018.06.026](https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.026)
- Timmins, F., e McCabe, C. (2005) How to conduct an effective literature search. *Nursing Standard*, 20(11), 41–47. doi:[10.7748/ns2005.11.20.11.41.c4010](https://doi.org/10.7748/ns2005.11.20.11.41.c4010)
- Trawley, S. L., Stephens, A. N., Rendell, P. G., e Groeger, J. A. (2017) Prospective memory while driving: comparison of time- and event-based intentions. *Ergonomics*, 60(6), 780–790. doi:[10.1080/00140139.2016.1214288](https://doi.org/10.1080/00140139.2016.1214288)
- Trivedi, N., Haynie, D., Bible, J., Liu, D., e Simons-Morton, B. (2017) Cell Phone Use While Driving: Prospective Association with Emerging Adult Use. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 450–455. doi:[10.1016/j.aap.2017.04.013](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.013)
- Vieira, F. S., e Larocca, A. P. C. (2017) Drivers' speed profile at curves under distraction task. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 44, 12–19. doi:[10.1016/j.trf.2016.10.018](https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.10.018)
- Warner, J., Hurwitz, D. S., Monsere, C. M., e Fleskes, K. (2017) A simulator-based analysis of engineering treatments for right-hook bicycle crashes at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 104, 46–57. doi:[10.1016/j.aap.2017.04.021](https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.021)
- Wiedemann, K., Naujoks, F., Wörle, J., Kenntner-Mabiala, R., Kaussner, Y., e Neukum, A. (2018) Effect of different alcohol levels on take-over performance in conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 115, 89–97. doi:[10.1016/j.aap.2018.03.001](https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.001)
- Wynne, R. A., Beanland, V., e Salmon, P. M. (2019) Systematic review of driving simulator validation studies. *Safety Science*, 117, 138–151. doi:[10.1016/j.ssci.2019.04.004](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.004)
- Ye, L., e Yamamoto, T. (2019) Evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on traffic safety. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 526, 121009. doi:[10.1016/j.physa.2019.04.245](https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.245)
- Yoshizawa, A., Nishiyama, H., Iwasaki, H., e Mizoguchi, F. (2016) Machine-learning approach to analysis of driving simulation data. *2016 IEEE 15th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC)* (p. 398–402). Apresentado em 2016 IEEE 15th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC), IEEE, Palo Alto, CA, USA. doi:[10.1109/ICCI-CC.2016.7862067](https://doi.org/10.1109/ICCI-CC.2016.7862067)
- Zahabi, M., Machado, P., Pankok, C., Lau, M. Y., Liao, Y.-F., Hummer, J., Rasdorf, W., e Kaber, D. B. (2017) The role of driver age in performance and attention allocation effects of roadway sign count, format and familiarity. *Applied Ergonomics*, 63, 17–30. doi:[10.1016/j.apergo.2017.04.001](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.04.001)
- Zeeb, K., Härtel, M., Buchner, A., e Schrauf, M. (2017) Why is steering not the same as braking? The impact of non-driving related tasks on lateral and longitudinal driver interventions during conditionally automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 50, 65–79. doi:[10.1016/j.trf.2017.07.008](https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.07.008)
- Zhang, J., Wang, Y., Lu, G., e Long, W. (2018) Transportation Safety. *International Conference on Transportation and Development 2018* (p. 253–264). Apresentado em International Conference on Transportation and Development 2018, American Society of Civil Engineers, Pittsburgh, Pennsylvania. doi:[10.1061/9780784481530.025](https://doi.org/10.1061/9780784481530.025)

Bruno Braga Batista (brunobraga20@hotmail.com)

César Luís Andriola (andriola.cesar@gmail.com)

Eduardo Henrique Siqueira (eduardo.hsiqueira@hotmail.com)

Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Sistemas de Transportes – Departamento de Engenharia de Produção e Transportes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre, RS, Brasil