

AValiação de Simulador de Direção a Partir de Questionário de Presença

Aurenice da Cruz Figueira

Ana Paula Camargo Larocca

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP

RESUMO

O uso de simuladores de direção aplicado às pesquisas em transportes, especialmente em fatores humanos, tem aumentado consideravelmente. Essa popularidade traz à tona uma preocupação no que diz respeito à validação dessa ferramenta. Este trabalho tem por objetivo realizar uma avaliação subjetiva do simulador de direção a partir de questionário após participação de voluntários em experimento de manobra de ultrapassagem. Foi realizada uma análise de componentes principais categóricas (CATPCA) para confrontar o questionário adaptado com o original, e análise de correlação bivariada entre os escores obtidos da CATPCA e variáveis independentes da amostra. Neste experimento, o simulador de direção foi avaliado positivamente pelos voluntários, mas existe a necessidade de uma validação complementar com acréscimo de medidas coletadas durante a simulação.

ABSTRACT

The use of driving simulators applied to transport research, especially in human factors, has increased considerably. This popularity raises a concern regarding the tool validation. This research aims to execute a subjective evaluation of the driving simulator from a questionnaire applied after the participation of volunteers in an overtaking maneuver experiment. A categorical principal component analysis (CATPCA) was performed to compare the adapted questionnaire and the original one, and bivariate correlation analysis between the CATPCA scores and some independent variables of the sample. For this experiment, the driving simulator was positively evaluated by the volunteers, but there is the need for a complementary validation with the addition of measures collected during the simulation.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de tráfego é composto por três elementos: a via, o veículo e o usuário. O acidente de trânsito é o resultado de um problema na interação entre esses fatores, com grande influência na frequência, gravidade e no tipo de acidente.

A falha do elemento humano é atribuída a 90% dos acidentes registrados (Botessini e Nodari, 2011; TRB, 2012). A análise do banco de dados de acidentes de trânsito - Datatran da Polícia Rodoviária Federal – PRF- corroboram essa afirmação. Dentre as causas prováveis de acidentes fatais registrados, que possuem como causa principal o erro humano, estão: a falta de atenção, velocidade incompatível, ultrapassagem indevida e ingestão de álcool.

A compreensão dos fatores humanos – características, habilidades, atuação e limitações dos motoristas, ciclistas e pedestres – é essencial para um bom projeto de rodovia, para a operação do tráfego e para a segurança viária (DNIT, 2010). Para isto é necessário conhecimento sobre como as pessoas se comportam e realizam tarefas em ambientes complexos e dinâmicos (Horst e Hogema, 2011).

O entendimento do comportamento do motorista durante o processo de condução exige a realização de pesquisas em situações similares às do mundo real, principalmente em situações de risco com maior probabilidade de acidentes fatais. Porém, a grande variedade de características físicas e psicológicas das pessoas dificulta o controle experimental (Dewar e Olsen, 2002).

Pesquisas com fatores humanos são conduzidas com vários métodos, que variam de modelos matemáticos e experimentos laboratoriais a observações em situações reais, como análise de acidentes, observação de vídeo, pesquisa com veículos instrumentados, testes operacionais de campo, entre outros. A escolha do método depende do foco de interesse e divide-se em similaridade ao mundo real e a flexibilidade e interpretação do experimento.

Os benefícios dos simuladores de direção em pesquisas de segurança viária têm sido relatados em vários estudos, dentre esses, os que objetivam reduzir a velocidade do condutor, alternativas para evitar a fadiga durante a condução (Merat e Jamson, 2013); simular seções de estradas reais onde novas geometrias e contramedidas de segurança possam ser avaliadas (Kelly *et al.*, 2007).

A popularidade dos simuladores de direção traz à tona uma preocupação que diz respeito a avaliação da qualidade e validade dessa ferramenta na pesquisa. Na década de 80, com o surgimento das primeiras pesquisas sobre a realidade virtual, apresentou-se um novo conceito que avalia a questão da validade ecológica do comportamento observado em ambientes virtuais, conhecido como 'presença' e interessou uma ampla gama de áreas acadêmicas, resultando em uma série de conceituações (Deniaud *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o presente trabalho realiza uma avaliação subjetiva de simulador de direção a partir do conceito de presença por meio de questionário aplicado a condutores voluntários após participação em experimento de manobra de ultrapassagem no ambiente simulado.

2. VALIDAÇÃO DE SIMULADORES DE DIREÇÃO

A principal vantagem dos simuladores de direção é prover um ambiente artificial de pesquisa seguro, economicamente viável e com coleta de dados facilitada, de forma a possibilitar a investigação de uma variedade de problemas de pesquisas com fatores humanos ao avaliar situações perigosas, como manobras de ultrapassagem (Kaptein *et al.*, 1996; Shechtman *et al.*, 2009; Winter *et al.*, 2012; Kluver *et al.*, 2016).

Os simuladores de direção variam em grau de sofisticação e custo, e apesar de serem úteis como ferramentas de pesquisa em fatores humanos, devem ser válidos para que os dados coletados possam refletir o comportamento de condutor em uma situação real.

A validade do simulador tem relevância no contexto de pesquisa específica onde é provável que o nível de similaridade dos comportamentos de condução em ambiente simulado e em condição real possa ser altamente dependente da tarefa. Principalmente quando a interação aerodinâmica entre o condutor e o tráfego simulado depende de variações individuais dos condutores, como o caso de manobras de ultrapassagem.

Fischer *et al.* (2011) ressaltam que cada simulador deve ser validado para um uso específico, pois cada experimento tem seus próprios requisitos relacionados a diferentes aspectos da tarefa de dirigir.

Pressupostos sobre a validade do simulador de direção também são criticamente dependentes das condições experimentais específicas sob as quais os comportamentos de condução são comparados. Por exemplo, as variações entre equipamentos de simulação, os *softwares* utilizados e o ambiente podem afetar a generalização dos resultados de validação (Mullen *et al.*, 2011). Além disso, as características dos participantes também podem influenciar a

validade, como a experiência de condução, sua motivação e o desconforto no simulador (Blana, 1996).

A principal desvantagem no uso de simuladores de direção é que os estudos experimentais não podem reproduzir a motivação do mundo real. Geralmente, a avaliação da validade do ambiente virtual envolve uma comparação com resultados de estudos realizados em situações reais. Essa verificação é dispendiosa, pois envolve a necessidade de instrumentação do veículo, extremamente complexa, pois os eventos devem ter um controle rigoroso em um estudo de campo (Deniaud *et al.*, 2015).

Não existe consenso do vocabulário adotado para descrever e estabelecer a classificação da validade em estudos de simulação de direção. Blaauw (1982), propôs dois níveis de validade: física e comportamental. Grande parte da literatura sobre simuladores de direção subdivide a validade comportamental em dois tipos - absoluta e relativa (Reimen *et al.*, 2006). Outro conceito de validação que vem se destacando na área de pesquisa em simuladores é a validade ecológica, advindo das pesquisas em psicologia.

2.1. Validade Física

A validade física é a correspondência física dos componentes, *layout* e dinâmica do simulador com sua contraparte do mundo real. Blaauw (1982) rotulou essa validade como física, mas frequentemente é referida como a fidelidade de um simulador, pois se refere à correspondência entre os componentes físicos do veículo do simulador e de um veículo em estrada, incluindo o *layout* do simulador e exibições visuais e dinâmicas, como a sensação dos controles de frenagem e direção (Mullen *et al.*, 2011; Zöllner *et al.*, 2015).

2.2. Validade Comportamental

A validade comportamental refere-se ao nível de correspondência entre os comportamentos de condução verificados no simulador e nas estradas reais, comumente referido como validade preditiva. Muitas vezes, presume-se que a fidelidade incorpora a validade comportamental. Assim, os estudos em simuladores frequentemente relatam a correspondência física, e geralmente não mencionam ou analisam a correspondência comportamental. Na realidade, entretanto, as duas categorias de validação nem sempre estão relacionadas (Blaauw, 1982).

A validade comportamental foi definida em termos de validade absoluta e relativa (Blaauw, 1982). Embora a validade absoluta exija que os dois ambientes de condução produzam os mesmos valores numéricos, a validade relativa é estabelecida quando as diferenças entre os dois ambientes indicam a mesma direção, apresentam a mesma magnitude ou similar (Godley *et al.*, 2002).

2.2.1. Validade Absoluta e Relativa

A validade absoluta raramente é estabelecida em estudos de simulador de direção devido a várias características do simulador que não são encontradas em configurações das rodovias reais. De fato, argumenta-se que a validade absoluta não é necessária para que os simuladores sejam ferramentas de pesquisa úteis e que estabelecer validade relativa é suficiente (Törnros, 1998).

A validade relativa dos resultados é necessária e suficiente nos casos em que o pesquisador está interessado em comparar as mudanças nos padrões de direção sob diferentes condições de

tratamento no simulador e no mundo real. Nessas circunstâncias, é importante estabelecer que o tratamento resultou no mesmo tipo de mudança de comportamento (por exemplo, redução de velocidade) em comparação com uma condição de controle, em ambos os cenários. No entanto essa validação não é suficiente para estabelecer que a magnitude da mudança (por exemplo, quantidade de redução de velocidade) é precisamente correspondida entre as comparações.

Os estudos para verificação da validade de simuladores de direção tendem a obter a validade relativa quando comparados com experimento em veículo instrumentado e simulador, utilizando métricas de desempenho e comportamentais como: velocidade, posição lateral (Törnos, 1998; Godley *et al.*, 2002; Schechtman *et al.*, 2009;), controle longitudinal e atenção visual (Wang *et al.*, 2010), execução de tarefas secundárias simultâneas (Knapper *et al.*, 2015), erros de condução (Meuleners e Fraser, 2015), comportamento de frenagem próximo às interseções urbanas (Zoller *et al.*, 2017) e medições fisiológicas como os batimentos cardíacos (Johnson *et al.*, 2011).

2.2.2. Validade Ecológica

A validade ecológica de um estudo caracteriza-se pela análise do comportamento dentro de contextos ambientais específicos, ou ainda, é uma medida de aproximação da pesquisa ao mundo real (Barreiros, 2008). Este conceito aparece como uma alternativa para medir diretamente e comparar estatisticamente o comportamento do simulador e da rodovia.

Essa modalidade de validação consiste em examinar a validade do simulador medindo apenas o desempenho do simulador. Por exemplo, a velocidade que homens e mulheres dirigem em simulador comparado com o comportamento em estrada real geralmente demonstra uma tendência de velocidades mais altas desenvolvidas pelos homens em comparação com as mulheres. É uma forma de validade ecológica, pois reflete os padrões reais de comportamento na estrada. Dessa forma, os simuladores podem ser validados para padrões gerais de comportamento, sem medir diretamente o desempenho na estrada como parte do estudo (Mullen *et al.*, 2011).

Nos estudos da validade ecológica em ambientes virtuais, surgiu o conceito de ‘presença’ definida como a experiência subjetiva de estar em um lugar ou ambiente, mesmo fisicamente situado em outro. Aplicado a um ambiente virtual, a presença refere-se a experimentar o ambiente gerado por computador em vez do local físico real. O conceito de presença foi usado pela primeira vez no campo das tele operações, para designar a sensação subjetiva do operador de estar no local de trabalho remoto e não na estação de controle do operador (Witmer e Singer, 1998).

É importante ressaltar que a sensação de presença pode ser separada da capacidade de uma tecnologia de imersão. Embora essa imersão seja uma variável da tecnologia e possa ser definida objetivamente, a presença é uma variável da experiência de um usuário. Portanto, obtêm-se medidas do senso de presença em escalas subjetivas (Igroup, 2018). A simulação de direção é um desdobramento da realidade virtual, em que o objetivo é permitir que uma pessoa participe de uma atividade sensorio-motora e cognitiva em um mundo artificial.

Alguns estudos propuseram o conceito como uma ferramenta para avaliar simuladores de direção ou ferroviários em situações que geram um estado de estresse (Slater *et al.*, 2009; Johnson *et al.*, 2011).

Para mensurar o sentimento subjetivo de presença são utilizadas escalas de auto relato e questionários. Witmer e Singer (1998) desenvolveram um Questionário de Presença (QP) objetivando mensurar o nível de presença em ambiente virtual auto relatada através de 32 itens em uma escala Likert de 7 pontos. A validação do questionário baseou-se em experimentos em ambientes virtuais imersivos e realidade virtual.

3. MÉTODO

Nesta seção, descreve-se o método utilizado no estudo com a apresentação do experimento e procedimentos adotados.

3.1. Simulador de direção

O experimento utilizou o simulador de direção de base fixa instalado na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e vinculado ao Departamento de Engenharia de Transportes (STT/EESC). O simulador é constituído por componentes físicos e programas computacionais, que se subdividem em sistemas de controle do veículo, projeção e processamento.

O sistema de controle do veículo é composto por *cockpit* completo com banco, pedais de embreagem, freio, acelerador e volante de direção Logitech G27. O sistema de projeção consiste de projetor DepthQ, de resolução 1080p com taxa de projeção de 60Hz e tela frontal de 1425 x 800 mm, onde também são projetados os espelhos retrovisores dianteiros e traseiro.

O sistema de processamento integra os componentes físicos e computacionais, através de uma rede de três computadores de alto desempenho. Cada computador é responsável por um programa computacional sincronizado simultaneamente: *Virtual Test Drive*®, *VI-CarRealTime*® e *SmartEye*®. O cenário é exibido a uma taxa de 60 frames por segundo em simultâneo com a modelagem do veículo. O sistema *SmartEye*® é responsável pelo rastreamento do olhar do condutor, composto por 4 câmeras de vídeo, e permite estimar a posição do olhar e mensurar o tempo alocado para cada posição ocular em relação ao cenário.

O simulador de direção do STT/EESC/USP foi validado por validação ecológica, onde dados coletados em pesquisa de sinalização viária foram comparados aos valores reportados na literatura através de outros estudos realizados em campo (Castillo, 2015).



Figura 1: Cockpit e disposição do sistema de rastreamento do olhar - SmartEye (Castillo, 2015).

3.2. Participantes

Os participantes foram recrutados através de redes sociais, onde os interessados preenchiam

um formulário *on-line* para contato e agendamento dos testes. A exigência para participação no experimento foi possuir carteira de habilitação. Participaram da pesquisa 82 voluntários (26 mulheres e 56 homens) com idade entre 20 e 42 anos ($M = 26,45$; $DP = 5,35$) e tempo de habilitação entre 1 e 23 anos ($M = 6,52$; $DP = 5,37$).

3.3. Questionário de Presença (QP)

O simulador de direção utilizado nessa pesquisa é um equipamento no qual o condutor interage com o aparelho de forma similar a uma situação real de condução, não havendo necessidade de respostas ao toque como em realidade virtual. Foram utilizadas 21 (vinte e uma) questões do QP original de Witmer e Singer (1998).

As questões escolhidas foram adaptadas para uma interpretação relacionada ao simulador de direção e cenário virtual de rodovia. Além disso, o *layout* foi reformulado e a escala *Likert* adotada compreendeu 6 pontos, que variam de 0 a 5 (**Figura 2**).

Figura 2: Questão 4 na versão original (inglês) e adaptada (português) ao simulador.

3.4. Experimento

Como relatado, o experimento faz parte de pesquisa em andamento na área de segurança viária, com ênfase em manobras de ultrapassagem. O experimento é do tipo fatorial completo (2^3) composto de três fatores com dois níveis, que produz oito combinações (tratamentos) de ultrapassagem. Para investigar o impacto dos fatores, foram criados oito cenários que compartilham a mesma geometria de rodovia de pista simples bidirecional, extensão de aproximadamente 13 km, velocidade regulamentada de 80 km/h, em condições diurnas com boa visibilidade. No desenho do experimento os tratamentos foram aleatorizados em cada cenário a fim de evitar efeitos de aprendizagem. Cada voluntário conduziu em apenas um cenário.

3.5. Procedimento

Os participantes iniciaram o experimento assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) sob o parecer de nº 2094027. Em seguida, foram feitos os ajustes do banco e pedais do simulador às características físicas do voluntário e explanação do funcionamento do equipamento. Posteriormente, iniciou-se o treinamento para adaptação ao equipamento com percurso de 5 minutos em trecho similar ao trecho do experimento, que poderia ser repetido por, no máximo, três vezes. Depois da confirmação da adaptação do voluntário ao equipamento, as câmeras do sistema de rastreamento do olhar foram calibradas e passadas orientações sobre o trecho do experimento, como extensão e velocidade regulamentada. Os motoristas foram instruídos a dirigirem como normalmente fariam em situação real.

Os cenários de teste foram projetados para que um motorista, conduzindo no limite de

velocidade regulamentada, exigiria aproximadamente 10 minutos para completar o trecho. Os dados da coleta da simulação foram gravados em tempo real. Após a conclusão do trecho simulado, cada voluntário foi convidado a responder dois questionários: (1) para avaliar o realismo do cenário e suas impressões sobre a condução no simulador e (2) sobre sintomas de desconforto (*sickness*) sentido em decorrência do uso do simulador de direção, após o experimento.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As respostas do questionário (1) foram processadas pelo *software* de análises estatísticas *Statistical Package for the Social Science* (SPSS). Foram realizadas análises descritivas e métodos de extração de análise fatorial exploratória (variância máxima e análise de componentes principais). O objetivo da análise fatorial exploratória foi verificar se o questionário adaptado ao simulador de direção formaria uma solução fatorial semelhante à do estudo de validação original (Witmer *et al.* 2005), e se os fatores encontrados refletiriam variáveis latentes semelhantes.

A análise de componentes do QP original (Witmer e Singer, 1998) resultou em quatro fatores principais: **Envolvimento** (EV), com itens avaliando o estado de concentração, a atenção e a carga mental em estímulos, atividades coerentes ou significativamente relacionadas; **Adaptação/Imersão** (AI), no sentido de estar envolvido, imerso e interagindo com um fluxo contínuo de experiências e estímulos; **Fidelidade Sensorial** (FS), relacionada às percepções visuais, auditivas do cenário e equipamento virtual; e **Qualidade da Interface** (QI), avaliando a influência das interfaces visuais e de controle na experiência da simulação (Witmer *et al.*, 2015).

4.1. Análise de Componentes Principais Categóricas (CATPCA)

Partindo do pressuposto dos quatro fatores principais identificados em Witmer *et al.* (2005), aplicou-se a análise de componentes principais categóricas (CATPCA), um método não paramétrico que quantifica as variáveis categóricas por meio de um processo chamado de quantificação ideal, referido ainda como escalonamento ótimo ou pontuação ótima (Meulman *et al.*, 2004).

A CATPCA foi realizada com as 21 questões do QP adaptado, com rotação ortogonal (Varimax) e normalização Kaiser. A primeira maximiza a variação entre os pesos de cada componente principal, ou seja, simplifica as colunas do fator de carga matriz e a normalização de Kaiser recomenda a retenção de componentes com autovalores maiores que 1, baseado na ideia de autovalores representar o montante de variação explicada por um fator e um autovalor de 1 representar um substancial montante de variação (Field, 2011).

Análises referentes à confiabilidade e consistência interna do QP foram realizadas pelo alfa de Cronbach, o qual verifica a fidedignidade dos dados, ou seja, separa os dados em pares de todas as maneiras possíveis e calcula o coeficiente de correlação para cada dimensão, obtendo-se a média desses dados. Para cada variável é possível calcular a variância dentro da variável e a covariância entre uma variável particular e outro na escala, ou seja, uma matriz de variância-covariância (Field, 2011).

O alfa de Cronbach total da escala, calculado com base nos autovalores, foi de 0,98 indicando forte consistência interna. E para cada um dos quatro fatores foi considerado bom: fator 1 ($\alpha = 0,91$), fator 2 ($\alpha = 0,78$), fator 3 ($\alpha = 0,66$) e fator 4 ($\alpha = 0,62$). O resultado das cargas fatoriais

dos componentes rotacionados da CATPCA são apresentados na Tabela 1. Os itens apresentaram um carregamento acima de 0,3, e alguns apresentaram carga distribuída em mais de um fator.

Tabela 1. Matriz de componentes rotacionados obtida pela CATPCA, método de rotação Varimax com normalização Kaiser

			Componentes			
			1	2	3	4
QP Original		QP adaptado	EV	FS	QI	AI
Q2	EV	Q2. Em função das respostas do simulador , qual o nível de realidade sentida para suas ações?	0,987			
Q14	EV	Q12. Quão envolvido com o ambiente virtual você esteve?	0,985			
Q21	AI	Q15. No fim da simulação, como você classificaria seu nível de aptidão para dirigir no simulador?	0,985			
Q1	EV	Q1. Conseguiu controlar (volante, pedal, etc) o veículo simulado?	0,984			
Q19	QI	Q13. Como classifica o tempo entre uma ação tomada e a resposta do simulador?	0,982			
Q4	EV	Q4. Em que nível o aspecto visual do simulador conseguiu te envolver no ambiente?	0,756			
Q8	EV	Q7. Quão idêntico é o ambiente simulado comparado com uma experiência de direção real?	0,702			
Q18	EV	Q14. O quanto se sentiu adaptado ao simulador?	0,601			
Q23	QI	Q17. Os mecanismos de direção do <i>cockpit</i> interferiram a realização de alguma tarefa?	0,597		0,416	
Q11	FS	Q20. Quão bem você conseguiu identificar os sons ?		0,882		
Q5	FS	Q19. Em que nível o aspecto auditivo conseguiu te envolver no ambiente?		0,853		
Q12	FS	Q21. Conseguiu identificar as origens dos sons ?		0,822		
Q7	EV	Q6. Qual o nível de convicção que você daria para os objetos presentes na simulação?		0,620		0,383
Q3	EV	Q3. Qual o nível de naturalidade com o qual você interagiu com o simulador?		0,520		0,377
Q24	AI	Q18. Quanto você conseguiu se concentrar efetivamente na simulação, ao invés de desviar a atenção para os mecanismos de direção?			0,832	
Q6	EV	Q5. Como foi o seu controle dos mecanismos de direção do simulador?	0,551		0,744	
Q22	QI	Q16. A qualidade do vídeo interferiu na realização de alguma tarefa?			0,588	
Q10	EV	Q9. Quanto você conseguiu explorar visualmente o ambiente para tomar decisões baseadas no entorno?		0,368	0,489	0,401
Q16	FS	Q11. Considerando um mesmo objeto a diferentes distâncias, você percebeu diferença no nível de detalhamento ?				0,777
Q9	AI	Q8. Você foi capaz de prever o que aconteceria na simulação logo após executar alguma ação no simulador (cockpit)?				0,678
Q15	FS	Q10. Quantos detalhes você foi capaz de identificar nos objetos ao observá-los?		0,377		0,466

As questões do QP adaptado para o simulador de direção formaram fatores consistentes com o QP original. Para questões que obtiveram cargas altas (acima de 0,3) em mais de um fator,

procedeu-se uma análise qualitativa para escolha da melhor adequação do constructo.

Dessa forma, o modelo de quatro fatores representou 69,76% da variância total. O fator 1 (EV) foi responsável por 33,77% da variância e incluiu os itens 1, 2, 4, 7, 12, 13, 14, e 15. O fator 2 (FS) representou 16,19% da variância e incluiu os itens 10, 19, 20 e 21. O fator 3 (QI) representou 10,03% da variância e incluiu os itens 5, 9, 16, 17 e 18. O fator 4 (AI) representou 9,77% da variância e incluiu os itens 3,6, 8, 9 e 11.

A questão Q17 *Os mecanismos de direção do cockpit interferiram a realização de alguma tarefa?* teve carga alta nos fatores EV e QI, porém ao se referir à “mecanismo de direção” percebe uma interdependência com a qualidade da interface, apesar da carga ser menor que a calculada para EV.

A questão Q3 *“Qual o nível de naturalidade com o qual você interagiu com o simulador?”* que também apresentou carga elevada em dois fatores (FS = 0,520 e AI = 0,377), foi atribuída ao fator Adaptação/Imersão por ter mais relação com o nível de naturalidade de adaptação ao simulador.

Outro item que se destacou foi a questão Q9 *“Quanto você conseguiu explorar visualmente o ambiente para tomar decisões baseadas no entorno?”* que apresentou carga fatorial proporcional nos fatores SF (0,368), QI (0,489) e AI (0,401) com alta interdependência entre os fatores, porém se adequou melhor a Qualidade da Interface (QI) no sentido de qualidade de vídeo do equipamento.

A questão Q6 *“Qual o nível de convicção que você daria para os objetos presentes na simulação?”* obteve maior valor de carga em SF, pois a amostra atribuiu o nível de fidelidade dos objetos com o fator sensorial da visão. De maneira semelhante, a questão Q15 *“Quantos detalhes você foi capaz de identificar nos objetos ao observá-los?”* originalmente era EV e passou para SF por estar mais relacionada ao sentido da visão.

Estudos de validação anteriores (Witmer *et al.*, 2005, Silva *et al.*, 2016) sustentam que a presença é um constructo extremamente difícil de medir, provavelmente por causa de sua natureza subjetiva. Os elementos que contribuem para o “sentimento de estar lá” são altamente interdependentes e a adequação das variáveis pode estar relacionada à interpretação dos participantes, principalmente se pertencerem a contextos diferentes, como pessoas que não tem contato com videogames e tecnologias virtuais.

4.2. Correlação bivariada

Foi feita uma correlação bivariada entre os escores dos fatores encontrados na CATPCA e variáveis independentes ordinais da amostra: gênero, tempo de habilitação (classificado em 5 escalas), faixa etária (classificada em 5 escalas) e tempo de treinamento (classificado em 3 escalas: 5, 10 e 15 min).

Dentre os coeficientes não paramétricos, optou-se pelo coeficiente de correlação por postos de Kendall, τ (tau) que é uma medida de associação para variáveis ordinais. Uma vantagem do τ sobre o coeficiente de Spearman é que o τ pode ser generalizado para um coeficiente de correlação parcial. A matriz de correlação das variáveis com seus respectivos coeficientes é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Correlação bivariada com coeficiente (τ) de Kendall

	Gênero	EV	SF	QI	AI	Faixa Etária	Habilitação	Treinamento
Gênero	1							
EV	-0,124	1						
FS	0,067	-0,190*	1					
QI	0,076	-0,274**	-0,069	1				
AI	-0,047	-0,019	-0,001	0,108	1			
Faixa Etária	-0,069	0,116	0,021	-0,16	-0,011	1		
Habilitação	0,036	0,209*	-0,006	-0,218*	0,041	0,674**		
Treinamento	-0,473**	0,201*	-0,096	-0,143	-0,082	0,024	-0,097	1

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

* . A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Pode-se concluir a partir destes resultados que o fator Envolvimento (EV) tem correlação fraca com os escores das respostas dos fatores SF e QI.

Além disso, entre as variáveis independentes e as variáveis dependentes (fatores) houve uma correlação negativa fraca do fator QI com os tempos de habilitação e treinamento, o que pode indicar que quanto maior a experiência de condução do participante, mais negativa é sua avaliação da qualidade do simulador.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de simuladores de direção em pesquisa na área de segurança viária levanta o problema da validade dos resultados. É fato que os simuladores de direção se destacam como uma ferramenta importante para a realização de experimentos usando uma réplica do espaço físico, com controle das variáveis e eventos, sem colocar em risco a vida do condutor. Entretanto, deve ser questionado em que medida o comportamento do condutor pode ser transposto do mundo virtual para o mundo real.

O principal objetivo na maioria dos estudos realizados em ambiente simulado é que o comportamento do participante no mundo virtual seja o mais semelhante possível do mundo real (Deniaud *et al.*, 2016).

Alguns estudos propõem que as semelhanças comportamentais entre o ambiente real e o virtual podem ser explicadas usando o conceito de presença (Witmer *et al.*, 2005, Silva *et al.*, 2016). O pressuposto subjacente é que a validade psicológica é um preditor positivo da validade comportamental, ou seja, supõe-se que uma pessoa que tenha um forte senso de presença no ambiente virtual reagirá como se estivesse em um ambiente real (Silva *et al.*, 2016).

Neste trabalho avaliou-se a presença em termos de experiência subjetiva direta, auto relatada pelo participante através de questionário de presença (QP). O objetivo foi avaliar o simulador de direção por meio do conceito de presença, utilizando as respostas do questionário de avaliação da simulação após condução em experimento de manobras de ultrapassagem.

Os resultados da análise exploratória com a técnica CATPCA mostraram que o questionário

adaptado com quatro fatores comparados com a versão original obteve 69,76% da variância total. A dimensão Envolvimento foi a que obteve os escores mais altos. Considerando as dimensões do QP original, algumas questões alocaram-se em dimensões diferentes no QP adaptado. Isto pode ter relação com a interpretação subjetiva feita pelo participante, com a tradução das questões para o português ou ainda pelo questionário original ter sido aplicado para um ambiente virtual com tarefa diferente. O resultado indica que o QP adaptado é um instrumento viável para avaliação do simulador de direção, com as questões agrupadas de maneira coerente com às dimensões originais.

É importante ressaltar que a avaliação do simulador de direção deve ser realizada de acordo com o experimento conduzido, pois as características do participante e as atividades solicitadas durante o experimento podem interferir na validação do simulador.

Dessa forma, propõe-se para trabalhos futuros que acrescido aos resultados obtidos com os questionários, seja adicionado dados coletados no experimento. No caso do estudo conduzido, que avalia as manobras de ultrapassagem, sugere-se contabilizar as fixações do olhar do condutor nos espelhos retrovisores ao executar a manobra para verificação de veículos no entorno, por se tratar de uma ação comumente executada em situação real de ultrapassagem. Estes dados associados às respostas computadas podem auxiliar a validação ecológica do simulador de direção para o experimento em questão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de fomento à pesquisa e aos colegas Cintia Isabel de Campos e Paulo Tadeu Meira e Silva Oliveira pelas contribuições na análise estatística.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreiros, J. (2008). Metodologia da investigação científica. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa.
- Blaauw, G. J. (1982). *Driving experience and task demands in simulator and instrumented car*. Human Factors, 24(4), 473–486.
- Blana, E. (1996). *Driving simulator validation studies: A literature review*. Institute of Transport Studies, University of Leeds, UK.
- Bottessini, G., Nodari, C. T. (2011). *Influência de medidas de segurança de trânsito no comportamento dos motoristas*. Revista Transportes v.19 n., p. 77–86.
- Castillo Rangel, M. A. (2015). Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutor, utilizando ambientes simulados de direção: um estudo de caso na rodovia BR-116. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, São Carlos.
- Deniaud, C.; Honnet, V.; Jeanne, B.; Mestre, D. (2015). *The concept of “presence” as a measure of ecological validity in driving simulators*. Journal of Interaction Science. <https://doi.org/10.1186/s40166-015-0005-z>
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2010). *Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 280p. (IPR. Publ., 741).
- Dewar, R. E.; Olsen, P. L. (2002). *Human Factors in Traffic Safety*. Lawyers & Judges Publishing Co. ISBN-13: 978-1933264240. ISBN-10: 1933264241.
- Field, A. *Descobrendo a estatística usando SPSS*. Tradução Lorí Viali. - 2. Ed. – Porto Alegre, RS: Artmed. 593-594, 2009.
- Fisher, D. L., Rizzo, M., Caird, J., & Lee, J. D. (Eds.). (2011). *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. CRC Press. Boca Raton, Fla, USA.
- Godley, S. T.; Triggs, T. J.; Fildes, B. N. (2002) Driving simulator validation for speed research. Accident Analysis and Prevention, Vol 34 (2002) 589–600.
- Horst, A. van der; Hogema, J. (2011). *Driving simulator research on safe highway design and operation*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 2248, p. 87–95.
- Igroup (2018). *The Igroup Presence Questionnaire (IPQ)*. Disponível em: <<http://www.igroup.org/index.php>>.

Acesso em jul. 2018.

- Johnson, MJ, Chahal, T, Stinchcombe, A, Mullen, N, Weaver, B, & Bedard, M. (2011). *Physiological responses to simulated and on-road driving*. International Journal of Psychophysiology, 81(3), 203–208.
- Kaptein, N.; Theeuwes, J.; Horst, R. V. D. (1996). *Driving simulator validity: Some considerations*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 1550, p. 30–36.
- Kelly, M. J.; Lassacher, S; Shipstead, Z. (2007). *A High Fidelity Driving Simulator as a Tool for Design and Evaluation of Highway Infrastructure Upgrades*. Technical Report FHWA/MT-07-005/8117-33.
- Kliver, M. *et al.* (2016). *The behavioral validity of dual-task driving performance in fixed and moving base driving simulators*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, v. 37, p. 78–96. ISSN 1369-8478.
- Merat, N.; Jamson, A. H. (2013). *The effect of three low-cost engineering treatments on driver fatigue: A driving simulator study*. Accident Analysis & Prevention, v. 50, p. 8 – 15. ISSN 0001-4575.
- Meuleners, L.; Fraser, M. (2015). *A validation study of driving errors using a driving simulator*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 29 (2015) 14–21
- Meulman J.J.; Van Der Kooij A.N.; Heiser W. (2004). *Principal Component Analysis with Nonlinear Optimal Scaling Transformations for Ordinal and Nominal Data*. In: Handbook of quantitative methodology for the social sciences. 49-70. Kaplan Sage, London.
- Mullen, N; Charlton, J.; Devlin, A.; Bédard, M. (2011). *Simulator Validity: Behaviors Observed on the Simulator and on the Road*. Cap 13 in Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology.
- Reimer, B.; D’Ambrosio, L. A.; Coughlin J. F.; Kafrissen M. E.; Biederman, J. (2006). *Using self-reported data to assess the validity of driving simulation data*. Behaviour Research Method 2006, 38(2), 314-324.
- Shechtman, O.; Classen, S., Kezia, A.; Wadzi, K.; Mann W. *et al.* (2009). *Comparison of driving errors between on-the-road and simulated driving assessment: A validation study*. Traffic Injury Prevention, v. 10, n. 4, p. 379–385, 2009. PMID: 19593717.
- Silva, G. R.; Donat, J. C.; Rigoli, M. M.; Oliveira, F. R.; Kristensen, C. H. (2016). *A questionnaire for measuring presence in virtual environments: factor analysis of the presence questionnaire and adaptation into Brazilian Portuguese*. Virtual Reality. Vol 20, Issue 4, pp 237–242.
- Slater, M.; Lotto, B.; Arnold, M.M.; Sanchez Vives, M.V. (2009). *How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement*. Anuario de Psicologia, 40(2), 193–210. Meeting 37(1), 612–616.
- Törnros, J. (1998). *Driving behaviour in a real and a simulated roadtunnel - a validation study*. Accident Analysis and Prevention vol 30 (4), 497–503.
- Transportation Research Board (2012). *Human Factors Guidelines for Road Systems*. NCHRP Report 600. Second Edition. Project 17-47. ISSN 0077-5614. ISBN 978-0-309-25816-6. Washington, D.C.
- Wang, Y.; Mehler, B., Reimer, B.; Lammers, V.; D’Ambrosio, L. A.; Coughlin, J. F. (2010). *The validity of driving simulation for assessing differences between in-vehicle informational interfaces: A comparison with field testing*. Ergonomics, 53:3, 404-420, DOI: 10.1080/00140130903464358
- Winter, D. *et al.* (2012). *Using a high-fidelity driving simulator to predict self-reported driving style and crash involvement: a preliminary study*. In: Proceedings of the 30th European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control. Braunschweig, Germany. p. 65–74.
- Witmer, B. G; Singer, M. J. (1998). *Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire*. Presence: Teleoperators and virtual environments, 7(3), 225–240.
- Witmer, B. G.; Jerome, C. J.; Singer, M. J. (2005). *The Factor Structure of the Presence Questionnaire*. Presence, Vol. 14, No. 3, June 2005, 298–312.
- Zöllner, I.; Betz, A.; Mautes, N.; Scholz, L.; Abendroth, B.; Bruder, R.; Winner, H. (2015). *Valid representation of a highly dynamic collision avoidance scenario in a driving simulator*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol 31 (2015) 54–66.

Aurenice da Cruz Figueira (aurefig@usp.br)

Ana Paula Camargo Larocca (larocca.ana@usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 – São Carlos, SP, Brasil7