

O MAL-ESTAR EM CONDUÇÃO SIMULADA: COMPARAÇÃO ENTRE SIMULADORES IMERSIVOS DE DIREÇÃO COM PLATAFORMA ESTÁTICA E DINÂMICA

Tânia Batistela Torres

Laísa Braga Kappler

Christine Tessele Nodari

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia de Produção

Carlo da Silveira Framarim

RESUMO

Este artigo tem por objetivo principal avaliar e comparar a sensação de mal-estar dos condutores em simuladores imersivos dinâmicos e estáticos. Para isso, o *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) foi aplicado a 36 voluntários (18 homens e 18 mulheres) distribuídos em três faixas etárias (de 19 a 30 anos, entre 31 e 60 e maior que 60 anos) que foram submetidos à experiência de condução simulada. A severidade de sintomas de mal-estar em condução simulada foi obtida para o SSQ e para a sua versão adaptada à realidade virtual – *Virtual Reality Sickness Questionnaire*, VRSQ – permitindo a comparação das duas abordagens. A análise dos resultados usando ANOVA indica que simuladores estáticos causam maior severidade de mal-estar que os dinâmicos. Enquanto a aplicação do SSQ permitiu a identificação de sintomas oculomotores que afetam os condutores nos dois tipos de plataforma, a aplicação do VRSQ permitiu identificar também sintomas de desorientação.

ABSTRACT

This paper aims to evaluate and compare drivers' sickness sensation on simulated driving for static and dynamic immersive simulators. For this, the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) was applied to 36 volunteers (18 men and 18 women) of three age groups (less than 30 years old, between 30 and 60 years old and over 60 years old) who underwent the simulated driving experience. The severity of sickness symptoms in simulated conduction for SSQ and its virtual reality version - Virtual Reality Sickness Questionnaire, VRSQ - was obtained, allowing the comparison of both approaches. Analysis of the results using ANOVA indicates that static simulators cause greater sickness severity than dynamic ones. While the application of SSQ allowed the analysis of drivers' oculomotor symptoms through the two types of platform, the application of VRSQ allowed the analysis of oculomotor and disorientation symptoms.

1. INTRODUÇÃO

Diante da perda de mais de 1,25 milhão de vidas no trânsito todos os anos (WHO, 2018), os esforços para prover um sistema seguro para todos os usuários são crescentes. Experiências bem-sucedidas, fundamentadas na Visão Zero e que atribuem as lesões no trânsito a uma responsabilidade compartilhada (ITF, 2016), levam ao incentivo das práticas proativas e dedicadas a entender a interação entre os fatores contribuintes para os acidentes: humano, viário e veicular (Treat *et al.*, 1979). Nesse contexto, os simuladores de direção emergem como uma ferramenta capaz de viabilizar a ampliação dos estudos que conciliam a interação humana ao viário e ao veicular. Os simuladores de condução tornam-se uma ferramenta cada vez mais difundida à medida que permitem estudar aspectos como o desempenho dos condutores para uso de veículos semiautônomos (Sportillo *et al.*, 2018) e o projeto viário e a eficácia das intervenções a favor da segurança viária (Boyle e Lee, 2010). No Brasil também são crescentes os esforços para compreender a aplicação dos diferentes usos para simuladores quanto sua tecnologia (Orsolin e Rampelotto, 2010; Santos *et al.*, 2017), potencial de contribuição em projetos viários (Lucas *et al.*, 2013), qualificação da educação na condução (Balbinot *et al.*, 2009), análise da carga mental imposta ao condutor (Vieira *et al.*, 2015) e para medir realismo e mal-estar decorrente da condução simulada (Nodari *et al.*, 2017). Frente a seu uso crescente em pesquisas de transportes, torna-se relevante o entendimento das potencialidades e limitações do uso de simuladores de direção para fomentar e qualificar a sua aplicação no estudo da

segurança viária.

Existem diferentes simuladores de direção que têm sido aplicados à segurança viária. São muitas as diferenças de tecnologia que os diferem. De forma sucinta, os simuladores de condução podem apresentar os ambientes simulados através de interfaces que vão desde monitores planos ou telas de projeção até a adoção de óculos de realidade virtual. Outro aspecto relevante na reprodução fidedigna do ambiente simulado é o uso de plataforma estática ou dinâmica.

A condução no simulador é capaz de fornecer resultados representativos da realidade com a vantagem de se estar em ambiente controlado para situações perigosas (Classen *et al.*, 2011). No entanto, uma limitação importante quanto ao uso dos simuladores é o desconforto físico e o mal-estar que pode ser experienciado durante a condução simulada. A estrutura conceitual mais difundida atribui o mal-estar em condução simulada à incompatibilidade entre os sinais visuais, de audição e de movimento percebidos pelos indivíduos expostos ao simulador (Hettinger *et al.*, 1990; Reason, 1978; Oman, 1990). Difundida por Kohl (1983). Essa teoria é chamada de Teoria do Conflito Sensorial ou Teoria da Incompatibilidade Neural, a qual decorre de uma descontinuidade entre a entrada visual, proprioceptiva (provenientes dos músculos) e somatossensorial (sensações ligadas ao tato). Ao mal-estar decorrente da incompatibilidade visual é dado o nome, em inglês, de Simulator Sickness. O SS ocorre mais facilmente quando uma pessoa é exposta a cenas visuais em movimento, enquanto o corpo permanece em um estado relativamente fixo e o cérebro interpreta o movimento como desarmônico (Reason e Brand, 1975). Portanto, principalmente para os simuladores de plataforma estática, as fontes visuais e vestibulares (localizada no interior do ouvido humano e responsável pela detecção de movimento) de informação entram em conflito à medida que o padrão de fluxo óptico visto pelo condutor cria uma ilusão convincente de auto movimento, o que não é corroborado pelas forças inerciais transmitidas através dos órgãos sensoriais vestibulares (Hettinger *et al.*, 1990).

Desde o fim da década de 1960 a realidade virtual pode ser configurada a partir da percepção da terceira dimensão (Sutherland, 1968), que apresenta ao usuário uma imagem em diferente perspectiva à medida que ele se move. Essa percepção pode ser complementada pelo uso de fones de ouvido, embora não essencial para configurar uma experiência de realidade virtual. Nesse sentido, os simuladores imersivos são capazes de criar experiências de realidade virtual melhorada em relação ao uso de telas, uma vez que a exibição de vídeo com um grande campo de visão é mais imersiva do que uma exibição com um campo de visão restritivo (Stone, 2017). Assim, o termo imersivo é aqui usado para definir os simuladores de direção que adotam o uso dos óculos de realidade virtual.

Frente à expansão do uso de simuladores imersivos, que a partir de recursos de realidade virtual proporcionam a real sensação de se estar dentro dos cenários de estudo gerados virtualmente, surge a necessidade de se entender as especificidades do SS resultante da simulação em realidade virtual (Kim *et al.*, 2018; Bruck e Watters, 2009; (Stone, 2017). Alguns autores passaram a denominar de *Cybersickness* o mal-estar decorrente do contato com a realidade virtual, sugerindo que as disfunções visual-vestibulares nesses ambientes são distintas daquelas associadas ao SS em ambientes não imersivos (Rebenitsch e Owen, 2016; Stanney e Kennedy, 1997). Ferramentas para a avaliação do *Cybersickness* surgiram da adaptação do *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) (Kennedy *et al.*, 1993), indicando a importância de adaptações do SSQ de forma a melhor identificar o mal-estar em ambiente de realidade virtual (Kim *et al.*,

2018). No entanto, ainda não há consenso a esse respeito.

Os mecanismos exatos ou mitigações para o *Simulator Sickness* ainda são desconhecidos (Stone, 2017), de forma que as evidências empíricas podem contribuir com o entendimento dos fatores associados a esse mal-estar. Nesse contexto, este artigo tem por objetivo principal avaliar e comparar a sensação de mal-estar (*Simulator Sickness*) dos condutores em simuladores imersivos dinâmicos e estáticos. Concilia, ainda, o objetivo específico de comparar as mensurações do SS através de questionário tradicional (SSQ) e de questionário dedicado a captar os efeitos de SS em realidade virtual imersiva, produzindo evidências empíricas para o estado da arte. Para atingir tais objetivos, o artigo está organizado em cinco seções, incluindo esta introdução. A seção 2 dedica-se a apresentar a fundamentação teórica dos sintomas e de características dos condutores que atuam sobre o SS, além das especificidades da realidade virtual. A seção 3 apresenta o desenvolvimento do estudo realizado e as seções 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos e as discussões, e as considerações finais deste estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica deste artigo está organizada sobre dois enfoques: os aspectos associados ao mal-estar em condução simulada; e os esforços reportados na literatura para a mensuração do mal-estar decorrente da simulação em realidade virtual (RV).

2.1 Fatores influentes no mal-estar em condução simulada

Enquanto alguns estudos sugerem que o mal-estar em condução simulada, tipicamente referido como *Simulator Sickness* (SS), é decorrente das configurações da simulação, há estudos que indicam que os sintomas são associados as características individuais dos condutores. Dentre as configurações do simulador, o tipo de plataforma (estática ou dinâmica), os detalhes do cenário viário (traçado e sinalização), a profundidade e limitação do campo de visão (Carnegie e Rhee, 2015), a distorção óptica (Kennedy *et al.*, 2000), a composição sonora (Keshavarz *et al.*, 2014) e a estabilidade postural proporcionada (Lee *et al.*, 1997; Dennison e D’Zmura, 2018) são fatores que podem afetar o mal-estar. Por outro lado, as características individuais dos condutores, como a idade (Brooks *et al.*, 2010), o sexo (Keshavarz *et al.*, 2018), a experiência prévia e corriqueira com o uso de simuladores (Howarth e Hodder, 2008), também podem impactar em diferentes níveis de mal-estar experienciado.

Os simuladores dinâmicos oferecem um importante incremento ao realismo da condução simulada, uma vez que permitem a reprodução dos efeitos de aceleração (Baumgartner *et al.*, 2017). No entanto, alguns estudos revisados apontam o aumento dos sintomas de mal-estar pela adição de movimento à simulação, especialmente os sintomas do tipo oculomotores e de desorientação (Bruck e Watters, 2009; Dziuda *et al.*, 2014). Por outro lado, de acordo com a Teoria do Conflito Sensorial (Kohl, 1983), o mal-estar é decorrente da falta de sincronia entre a imagem e o movimento percebido, permitindo inferir que o dinamismo pode contribuir com a redução dessa falta de sincronia.

O SS tem se mostrado um obstáculo relevante na condução de pesquisas em ambiente simulado com condutores idosos, visto que esse grupo de usuários tem maior probabilidade de ser afetado por SS do que usuários mais jovens. Isso pode ocorrer pelo aumento da dificuldade de equilíbrio e tontura derivados do envelhecimento (Brooks *et al.*, 2010). Ao avaliar os efeitos de SS decorrentes do uso de simulador de condução dinâmico, Keshavarz *et al.* (2018) identificaram significativo aumento de SS para idosos (acima de 65 anos) em relação a adultos mais jovens

(abaixo de 25 anos). Os autores também constataram que as mulheres idosas são suscetíveis a intensidades de sintomas associados ao SS ainda maiores. No geral, mulheres são mais vulneráveis ao aumento de sintomas do tipo Oculomotores, devido a sua menor estabilidade postural em comparação com os homens (Mourant e Thattacheny, 2000).

Quanto ao impacto da experiência prévia e corriqueira com uso de simuladores, de forma geral, os condutores que estão habituados à imersão em ambientes virtuais tendem a sofrer menos com os sintomas de SS (Howarth e Hodder, 2008). A experiência prévia e corriqueira pode ser adquirida pelo uso crescente de jogos que empregam realidade virtual (Hill e Howarth, 2000).

Quanto aos efeitos do tempo de condução em ambiente simulado, a análise de mal-estar em simulação estática imersiva de realidade virtual reportou baixo impacto nos sintomas de SS para até 8 minutos de imersão (Nodari *et al.*, 2017). No entanto, os efeitos de SS tendem a aumentar em função do tempo de simulação: os sinais fisiológicos devido ao sistema autônomo central mostram alterações a partir de 5 minutos de simulação e há aumento significativo de SS 10 minutos após o início do experimento (Min *et al.*, 2004). Por outro lado, essa relação não é sempre crescente: a comparação dos efeitos de SS para a caminhada em simulador imersivo em períodos de duração de 11 minutos, de 15 a 25 e de 45 minutos indicam que o mal-estar é mais severo para o período intermediário, voltando a reduzir para períodos maiores, mas mantendo-se superior àquele reportado para os períodos de 11 minutos (Sinitski *et al.*, 2018).

2.2 Mensuração do mal-estar em condução simulada em realidade virtual

Originado a partir do refinamento do *Motion Sickness Questionnaire* (MSQ) (Frank *et al.*, 1983) – que considera sintomas gastrointestinais, associados ao sistema central (fraqueza, tontura, desorientação, confusão), associado ao sistema periférico (suor, frio) e associado ao aborrecimento (irritação, cansaço, fadiga) – o mal-estar em condução simulada vem sendo mensurado pela aplicação do *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ), tipicamente denominado *Simulator Sickness* (SS) (Kennedy *et al.*, 1993). Esse mal-estar é formado por três principais conjuntos de sintomas: náusea, oculomotor e desorientação. Embora semelhante ao mal-estar devido ao movimento (*Motion Sickness*, MS), o SS tende a ser menos severo (Kim *et al.*, 2018). O SSQ é composto por 16 sintomas, adaptados para o português brasileiro por (Carvalho *et al.*, 2011).

Para simuladores de realidade virtual (RV), outros conceitos de mal-estar têm sido propostos: o *Cybersickness* (Stanney e Kennedy, 1997; Stone, 2017); o *Visually Induced Motion Sickness* (VIMS) (Keshavarz e Hecht, 2012); e o *Virtual Reality Sickness* (VRS) (Kim *et al.*, 2018). O conceito de *Cybersickness* refere-se a um mal-estar comum aos usuários de ambientes virtuais, semelhante ao mal-estar decorrente do movimento (*Motion Sickness*, MS), resultante do conflito sensorial e que pode resultar em náuseas, dores de cabeça e tontura (Rebenitsch e Owen, 2016). O VIMS refere-se aos sintomas que podem resultar de movimentos visualmente induzidos, mesmo na ausência de movimento físico (Kennedy *et al.*, 2010). Embora fundamentados de forma semelhante na teoria do conflito sensorial (Oman, 1990), esses conceitos propõem diferentes abordagens aos conjuntos de sintomas de mal-estar considerados. Uma vez que a literatura ainda carece de discussões sobre esses conceitos emergentes, o SSQ ainda se configura como a principal ferramenta capaz de medir os sintomas para *Cybersickness* e VIMS (Stone, 2017).

O VRS é proposto a partir de uma adequação do SSQ à realidade virtual (Kim *et al.*, 2018).

Assim, sugere a mensuração dos componentes oculomotor e desorientação a partir da seleção de parte dos sintomas associados a esses grupos de sintomas pelo SSQ. A esse novo arranjo dos sintomas deu-se o nome de *Virtual Reality Sickness Questionnaire* (VRSQ). Os sintomas medidos pelo SSQ são agrupados de forma a produzir três constructos: Náusea, Oculomotor e Desorientação. Para a análise do mal-estar em realidade virtual, ou *Virtual Reality Sickness* (VRS), são formados apenas os constructos Oculomotor e Desorientação (Figura 1).

Sintoma	SSQ			VRSQ	
	Náusea	Oculomotor	Desorientação	Oculomotor	Desorientação
1 Mal-estar generalizado	●	●		●	
2 Cansaço		●		●	
3 Dor de cabeça		●			●
4 Vista cansada		●		●	
5 Dificuldade de manter o foco		●	●	●	
6 Aumento de salivação	●				
7 Sudorese	●				
8 Náusea	●		●		
9 Dificuldade de concentração	●	●			
10 "Cabeça pesada"			●		●
11 Visão embaçada		●	●		●
12 Tontura com olhos abertos			●		
13 Tontura com olhos fechados			●		●
14 Vertigem			●		●
15 Desconforto abdominal	●				
16 Arroto	●				

Figura 1: Síntese da relação constructos e sintomas propostos no SSQ e no VRSQ

3. DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

O experimento consistiu em realizar testes de condução utilizando simuladores imersivos de condução. Este estudo foi realizado em três etapas descritas nos itens que seguem: (i) planejamento do experimento; (ii) coleta de dados; e (iii) análise do mal-estar em condução simulada.

3.1 Planejamento experimental

O experimento foi planejado de forma a incluir cinco variáveis como fatores controláveis, escolhidas por sua relevância com o tema com base na revisão da literatura. São eles: sexo, idade, tempo de imersão no simulador, tipo de plataforma do simulador e presença de linhas centrais e de bordo. Cada variável foi testada em diferentes níveis, a fim de verificar possíveis alterações ocorridas na sensação de mal-estar do condutor em ambiente simulado, conforme a combinação de níveis atribuída ao experimento. O Quadro 1 apresenta o conjunto de fatores testados, com seus respectivos níveis.

Quadro 1: Fatores controláveis e níveis de análise

Fator controlável	Níveis	Descrição dos níveis
Sexo	2	mulher; homem
Idade	3	de 19 a 30 anos; entre 31 e 60 anos, acima de 60 anos
Tempo de imersão	2	6 minutos; 11 minutos
Tipo de plataforma do simulador	2	estática; dinâmica
Presença de linhas centrais e de bordo	2	sim; não

No planejamento experimental, o arranjo de todas as possíveis combinações entre os níveis dos fatores do experimento constitui um experimento fatorial completo. Quando o número de fatores no experimento é grande ou os recursos são limitados, uma opção frequente é utilizar experimentos fatoriais fracionados. Um experimento fracionado é aquele em que os experimentadores realizam apenas um subconjunto selecionado dos ensaios no experimento fatorial completo. Esse possibilita a coleta de uma quantidade inferior de dados, quando da eliminação da análise das interações de efeitos de mais alta ordem, desde que seja observada a ortogonalidade entre as variáveis (Hair *et al.*, 2009).

Nesse sentido, o experimento buscou contemplar diferentes configurações de cenários, que têm forte dependência com o planejamento experimental. Para construir o cenário rodoviário virtual, foram definidas duas situações distintas: a primeira considerou a presença de linhas centrais e linhas de bordo na pista, já o segundo cenário não apresentava as demarcações de linhas na rodovia. Todos os cenários foram simulados na condição de luz do dia com tempo estável. O tipo de plataforma e tempo de exposição no simulador de direção também foram definidos conforme planejamento experimental. Neste estudo faz-se a ressalva de que o interesse pela variável de sinalização horizontal é complementar, apesar de ela proporcionar a composição de cenários distintos. Para fins de mensuração do mal-estar em condução simulada, a literatura reporta que as variáveis quanto ao tipo de simulador e características dos condutores são mais relevantes.

3.2 O experimento

O simulador de direção imersivo utilizado neste estudo foi desenvolvido pela empresa *BS MOTION* (Figura 2). O diferencial deste projeto é o alto grau de imersão proporcionado aos condutores, ao unir a realidade virtual com a simulação de movimentos. O simulador é composto por um banco semelhante ao de veículos reais, com pedais destinados à aceleração, frenagem e embreagem. Para este estudo os voluntários foram submetidos a testes em veículos com câmbio automático. A realidade virtual é propiciada pelo uso de Óculos *Rift* e de fone de ouvido, agregando a percepção de diferentes sentidos para o condutor se sentir presente no ambiente virtual.



Figura 2: Cenários de condução e voluntário em condução simulada de realidade virtual

Os cenários de estudo consistiam em um conjunto de dois trechos rodoviários virtuais elaborados em plataforma *Unity 3D*, pela equipe VizLab/UNISINOS. O primeiro trecho diz respeito a um segmento da rodovia BR-290, na região metropolitana de Porto Alegre, com extensão aproximada de 2,5 quilômetros, destinada à adaptação do condutor ao simulador de direção imersivo. Na sequência, ocorre a transição para o segundo trecho rodoviário, que consiste no cenário experimental a ser simulado, com pista simples em relevo ondulado, com uma sucessão de trechos curvos e retilíneos de aproximadamente 3,2 quilômetros de extensão. Foram criados dois cenários para esse segundo trecho: com e sem a demarcação de linhas central e de bordo.

A coleta de dados sobre do mal-estar em condução simulada foi realizada em dois momentos distintos: (i) antes do participante do experimento entrar no simulador (pré-teste) e (ii) depois do participante do experimento percorrer o cenário proposto (pós-teste). Nessas etapas, foi utilizado o *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) proposto por Kennedy *et al.* (1993) e adaptado para uso no Brasil por (Carvalho *et al.*, 2011).

3.3 Análise do mal-estar em condução simulada

O *Simulator Sickness* (SS) foi mensurado a partir da ponderação proposta por Kennedy *et al.* (1993) para os construtos que compõem o SSQ e para a ponderação proposta por Kim *et al.* (2018) para os construtos do VRSQ, conforme apresentadas no Quadro 2. Os fatores ponderadores são aplicados para a soma dos valores atribuídos a cada sintoma pela escala de 0 a 3 em que: 0, nada; 1, levemente; 2, moderadamente; e 3, severamente. Os constructos Náusea (N), Oculomotor (O) e Desorientação (D) são mensurados pela soma das pontuações atribuídas a cada sintoma (medidas na escala de 0 a 3), conforme aplicação sugerida por Kennedy *et al.* (1993). No entanto, a mensuração de uma severidade total de mal-estar para o SSQ e o VRSQ diferem pela atribuição dos pesos a cada constructo ou grupo de sintomas.

Quadro 2: Ponderações para os constructos que compõem o mal-estar

	Náusea (N)	Oculomotor (O)	Desorientação (D)	Total
SSQ	N x 9,54	O x 7,58	D x 13,93	(N+O+D) x 3,74
VRSQ	-	O x 0,12	D x 0,15	(O+D) / 2

A existência de diferença de sintomas no pré e no pós-simulação foi avaliada analisando a média amostral das diferenças, resultando na estatística t (Hair *et al.*, 2009). Assim, o teste t pareado foi aplicado tanto para grupos de sintomas como para os índices totais do SSQ e do VRSQ. A fim de identificar as diferenças de severidade em mal-estar em condução simulada para diferentes tipos de plataforma, sexo, faixas etárias e cenários, a análise da variância (ANOVA) foi empregada (Hair *et al.*, 2009).

4. RESULTADOS

Esta seção aborda os resultados obtidos a partir do experimento realizado para 36 voluntários submetidos à condução simulada. Foram recrutados motoristas habilitados há mais de um ano, que dirigem ao menos três vezes por semana e que têm experiência em conduzir em rodovias, de forma a obter voluntários habituados com a condução real em ambiente vário semelhante ao simulado. Esses voluntários, 18 homens e 18 mulheres, jovens, adultos jovens e adultos idosos, foram alocados em dois cenários (com e sem linha de bordo) em simulador de plataforma estática ou dinâmica, durante 6 ou 11 minutos, conforme planejamento experimental, que define essas características como fatores controláveis nesta análise (Quadro 1).

Os graus de sintomas atribuídos no pré e no pós-teste permitiram o cálculo dos índices para sintomas dos construtos de Náusea (N), Oculomotores (O) e de Desorientação (D) para a ponderação sugerida pelo SSQ (Kennedy *et al.*, 1993) e de sintomas Oculomotores (O) e de Desorientação (D) para a ponderação do VRSQ (Kim *et al.*, 2018). Dada as diferentes magnitudes de ponderação, são observados maiores valores de índices para o SSQ do que para VRSQ, como pode ser observado na Figura 3. De forma geral, a severidade dos sintomas de mal-estar medidos em simulador estático é superior à do dinâmico.

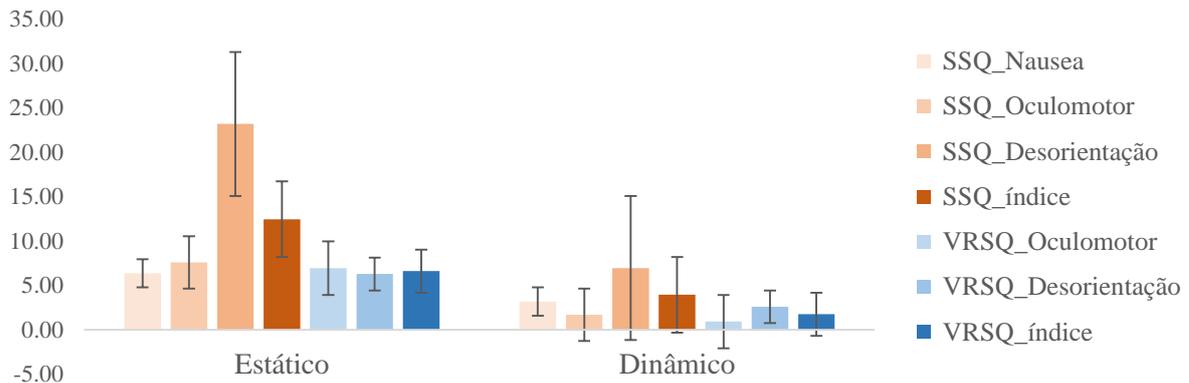


Figura 3: Índice médio de SS e índice por construto de sintomas por tipo de simulador

A diferença entre os sintomas pré e pós-teste, analisada por construtos de sintomas (O, N e D), foi verificada pela comparação de médias aos pares (teste “t” pareado). Como se trata da diferença das avaliações feitas pelos participantes do experimento antes e após a condução no simulador, é possível a ocorrência de valores negativos para os conjuntos de sintomas. A Tabela 1 demonstra que há diferença significativa ($t > |1.96|$ ou valor- $p < 0.05$ para 95% de confiança) para os índices de mal-estar em condução simulada mensurados pelas ferramentas SSQ e VRSQ, em seus índices totais e para os construtos de sintomas. Além da estatística t , a Tabela 1 demonstra a média da diferença entre médias para cada sintoma e o desvio padrão, descrevendo esses índices em sua variabilidade.

Tabela 1: Teste-t pareado para os sintomas de SS pelo SSQ e VRSQ

Questionário	Índices (0: pré-teste; 1: pós-teste)	\bar{d}	Desvio padrão	t	p-valor
SSQ	Náusea0 - Náusea1	-4,77	11,29	-2,54	0,02
	Oculomotor0 - Oculomotor1	-4,63	13,23	-2,10	0,04
	Desorientação0 - Desorientação1	-15,08	23,85	-3,79	0,00
	SSQ_índice0 - SSQ_índice1	-8,21	15,86	-3,10	0,00
VRSQ	Oculomotor0 - Oculomotor1	-3,94	11,35	-2,08	0,04
	Desorientação0 - Desorientação1	-4,44	6,76	-3,94	0,00
	VRSQ_índice0 - VRSQ_índice1	-4,19	7,95	-3,16	0,00

Para o SSQ, todos os constructos apresentaram diferenças significativas para os sintomas declarados no pré-teste e no pós-teste. O grupo de sintomas de Desorientação foi o que apresentou uma maior diferença entre médias, no entanto, também apresentou grande desvio padrão nos resultados da amostra. Na aplicação da estatística t para o VRSQ, também foram encontradas diferenças significativas para todos os constructos, sendo os sintomas de Desorientação os que apresentaram maior diferença entre médias.

A análise de variância (ANOVA) permitiu identificar os efeitos dos fatores controláveis e das

suas interações nos efeitos de mal-estar em condução simulada. Os resultados dos efeitos estatisticamente significativos, para 95% de confiança, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Análise de Variância para os índices de mal-estar em condução simulada

Índice	Fator controlável	Média Quadrada	F ($\alpha=0.05$)	p-valor
SSQ_O	Plataforma	615,00	42,81	0,02
SSQ_O	Sexo*Linhas	318,26	22,16	0,04
SSQ_O	Linhas*Tempo_imersão	276,75	19,27	0,05
SSQ_O	Linhas*Plataforma	331,22	23,06	0,04
VRSQ_Total	Simulador	278,46	19,80	0,05
VRSQ_O	Simulador	329,22	18,96	0,05
VRSQ_D	Simulador	231,94	20,87	0,04

Enquanto os índices totais de severidade de mal-estar a partir do SSQ (SSQ_Total) não apresentaram diferenças significativas para as distintas características dos motoristas, do cenário (com ou sem linha) ou das plataformas, o VRSQ_Total diferiu para o tipo de plataforma do simulador. Os efeitos do tipo de plataforma também apresentaram diferenças significativas para os grupos de sintomas Oculomotores e Desorientação para o VRSQ. Para os índices mensurados pelo SSQ, apenas o grupo de sintomas Oculomotores teve severidade de mal-estar significativamente diferente para a condução em plataforma estática ou dinâmica. O mal-estar em condução simulada demonstra atuar mais severamente com uso de plataforma estática. A Tabela 2 apresenta, ainda, os efeitos das interações da presença ou não das linhas central e de bordo com outros fatores, que não foram alvo de estudo neste trabalho. A Figura 4 apresenta a diferença entre as médias e ilustra a variabilidade (através da representação do desvio padrão) para cada fator controlável.

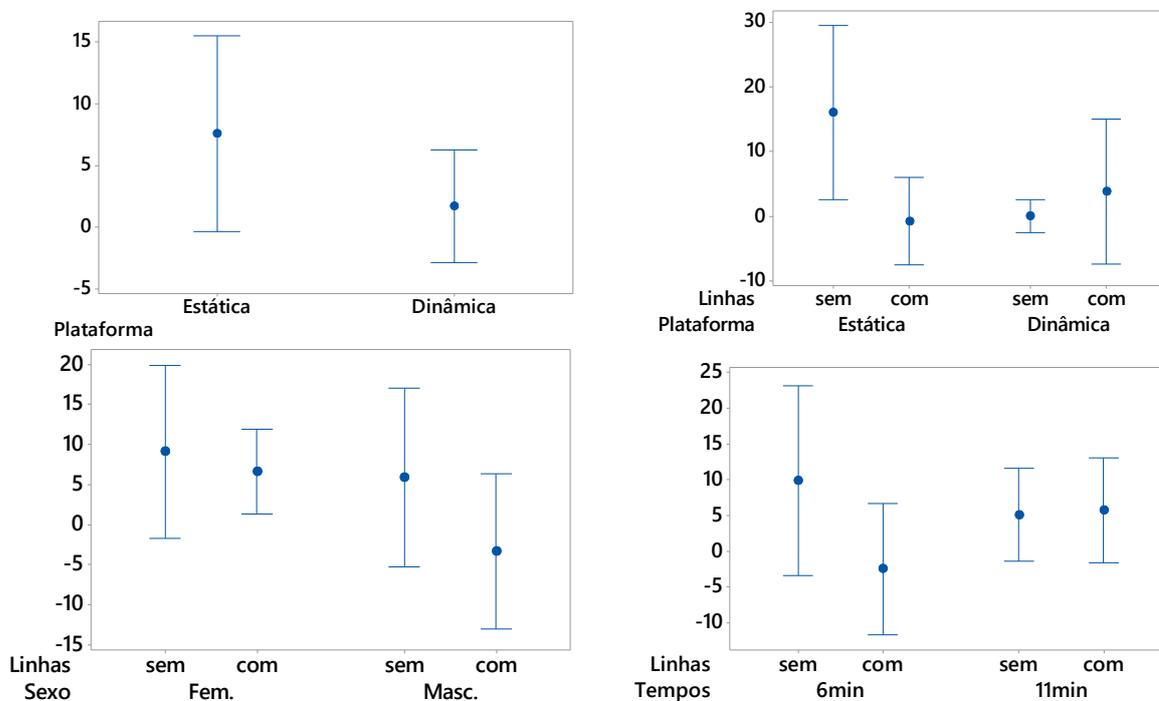


Figura 4: Diferenças significativas de SS para os fatores controláveis analisados

A interação entre o tipo de simulador e a presença de linhas de bordo também se mostrou significativa, ressaltando que a maior severidade de mal-estar para a plataforma estática torna-

se ainda maior na ausência de linhas de bordo. A interação entre a presença de linhas de bordo com o sexo do condutor e o tempo de imersão no simulador também provocam diferenças de mal-estar: as mulheres são mais severamente afetadas, especialmente na ausência de linhas de bordo; e o maior tempo de imersão provoca maior severidade de mal-estar em cenários convencionais (com linhas de centro e de bordo) – condição que se inverte na ausência de linhas de bordo e central. A maior severidade de sintomas Oculomotores para mulheres pode ser atribuída a forte correlação entre a menor estabilidade postural característica desse gênero (Cobb *et al.*, 1999; Mourant e Thattacheny, 2000)

O mal-estar mensurado a partir do VRSQ produziu índices de sintomas Oculomotores, de Desorientação e Total. O uso de plataforma estática ou dinâmica impacta de forma significativa no mal-estar do condutor: a plataforma dinâmica produz efeitos de mal-estar menos severos do que a estática, conforme apresenta a Figura 5. Embora o mal-estar já tenha sido associado em outros estudos ao aumento de movimento (Bruck e Watters, 2009; Dziuda *et al.*, 2014), a simulação dinâmica permite que sejam reduzidos ou eliminados os conflitos multissensoriais, responsáveis pelo mal-estar associado ao movimento (Kohl, 1983).

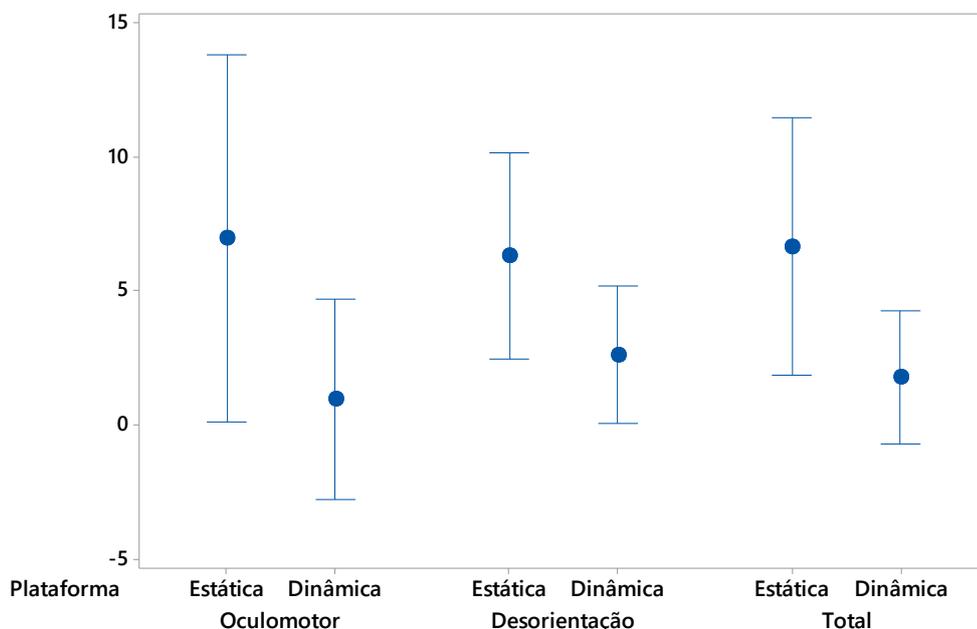


Figura 5: Tipos de plataforma e o efeito de mal-estar em condução simulada por VRSQ

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou avaliar e comparar a sensação de mal (*Simulator Sickness*) dos condutores em simuladores imersivos dinâmicos e estáticos, podendo contribuir com a sua promoção para estudos que adotam a simulação como uma ferramenta. A plataforma dinâmica foi consistentemente associada à menor severidade de sintomas de mal-estar por sintomas e total. Quanto ao objetivo específico de comparar as mensurações do SS pelo SSQ e pelo VRSQ, verificou-se que o uso da adaptação do SSQ para a realidade virtual (VRSQ) permitiu identificar o efeito da plataforma dinâmica para os dois construtos de sintomas que o compõe (Oculomotor e Desorientação), além do mal-estar total. Ao passo que o uso das ponderações tradicionais propostas pelo SSQ permitiu identificar exclusivamente a presença dos sintomas de mal-estar associados ao construto Oculomotor.

A obtenção de evidências empíricas pode contribuir com o melhor entendimento dos efeitos do

uso de plataformas estáticas, além de melhor esclarecer o efeito das características do cenário e do condutor na ocorrência mal-estar em condução simulada. Além disso, os resultados indicam que a proposição de questionários específicos para a realidade virtual imersiva, tais como o VRSQ, pode contribuir com a mensuração mais acurada desses efeitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração dos pesquisadores que ajudaram na aplicação da pesquisa e aos voluntários que participaram do experimento, assim como às empresas MO3 e BS MOTION e à equipe Vizlab/UNISINOS. Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelas bolsas de Doutorado e Mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbinot, A., Timm, M. I., e Zaro, M. A. (2009) Aplicação de Jogos e Simuladores como Instrumentos para Educação e Segurança no Trânsito. *RENOTE*, 7(1). Obtido de <http://www.seer.ufrgs.br/renote/article/view/14008/7899>
- Baumgartner, E., Ronellenfitch, A., Reuss, H. C., e Schramm, D. (2017) Using a dynamic driving simulator for perception-based powertrain development. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. doi:10.1016/j.trf.2017.08.012
- Boyle, L. N., e Lee, J. D. (2010) Using driving simulators to assess driving safety. *Accident Analysis and Prevention*, 42(3), 785–787. doi:10.1016/j.aap.2010.03.006
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., Logan, W. C., Ogle, J. H., Tyrrell, R. A., e Wills, R. F. (2010) Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis and Prevention*, 42(3), 788–796. doi:10.1016/j.aap.2009.04.013
- Bruck, S., e Watters, P. A. (2009) Estimating cybersickness of simulated motion using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): A controlled study. *Proceedings of the 2009 6th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization: New Advances and Trends, CGIV2009*. doi:10.1109/CGIV.2009.83
- Carnegie, K., e Rhee, T. (2015) Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(5), 34–41. doi:10.1109/MCG.2015.98
- Carvalho, M. R. de, Costa, R. T. da, e Nardi, A. E. (2011) Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação transcultural Simulator Sickness Questionnaire: translation and cross-cultural adaptation. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 60(4).
- Classen, S., Bewernitz, M., e Shechtman, O. (2011) Driving simulator sickness: An evidence-based review of the literature. *American Journal of Occupational Therapy*, 65(2), 179–188. doi:10.5014/ajot.2011.000802
- Cobb, S. V. G., Nichols, S., e Wilson, J. R. (1999) Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects (VRISE). *Presence*, 8(2), 169–186.
- Dennison, M., e D'Zmura, M. (2018) Effects of unexpected visual motion on postural sway and motion sickness. *Applied Ergonomics*, 71(March), 9–16. doi:10.1016/j.apergo.2018.03.015
- Dziuda, Ł., Biernacki, M. P., Baran, P. M., e Truszczyński, O. E. (2014) The effects of simulated fog and motion on simulator sickness in a driving simulator and the duration of after-effects. *Applied Ergonomics*, 45(3), 406–412. doi:10.1016/j.apergo.2013.05.003
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., e Anderson, R. E. (2009) *Multivariate Data Analysis*. (Pearson Prentice Hall, Ed) (Seventh Ed.).
- Hettinger, L. J., Berbaum, K. S., Kennedy, R. S., Dunlap, W. P., e Nolan, M. D. (1990) Vection and Simulator Sickness Vection and Simulator Sickness. *Military Psychology*, 2(3), 171–181. doi:10.1207/s15327876mp0203
- Hill, K. J., e Howarth, P. A. (2000) Habituation to the side effects of immersion in a virtual environment. *Displays*, 21(1), 25–30. doi:10.1016/S0141-9382(00)00029-9
- Howarth, P. A., e Hodder, S. G. (2008) Characteristics of habituation to motion in a virtual environment. *Displays*, 29(2), 117–123. doi:10.1016/j.displa.2007.09.009
- ITF. (2016) *Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System*. OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/9789282108055-en
- Kennedy, R. S., Drexler, J., e Kennedy, R. C. (2010) Research in visually induced motion sickness. *Applied Ergonomics*, 41(4), 494–503. doi:10.1016/j.apergo.2009.11.006
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., e Lilienthal, M. G. (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF A W O N PSYCHOLOGY*, 3(3), 2–220. doi:http://dx.doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3
- Kennedy, R. S., Stanney, K. M., e Dunlap, W. P. (2000) Duration and Exposure to Virtual Environments: Sickness

- Curves During an Across Sessions. *Presence*, 9(5), 463–472.
- Keshavarz, B., e Hecht, H. (2012) Visually induced motion sickness and presence in videogames: The role of sound. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1763–1767. doi:10.1177/1071181312561354
- Keshavarz, B., Hettinger, L. J., Kennedy, R. S., e Campos, J. L. (2014) Demonstrating the potential for dynamic auditory stimulation to contribute to motion sickness. *PLoS ONE*, 9(7). doi:10.1371/journal.pone.0101016
- Keshavarz, B., Ramkhalawansingh, R., Haycock, B., Shahab, S., e Campos, J. L. (2018) Comparing simulator sickness in younger and older adults during simulated driving under different multisensory conditions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. doi:10.1016/j.trf.2018.01.007
- Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., e Choe, M. (2018) Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69(March 2017), 66–73. doi:10.1016/j.apergo.2017.12.016
- Kohl R. L. (1983) Sensory conflict theory of space motion sickness: an anatomical location for the neuroconflict. *Aviat Space Environ Med.* 54 (5), 464-465.
- Lee, G. C. H., Yoo, Y., e Jones, S. (1997) Investigation of driving performance, vection, postural sway, and simulator sickness in a fixed-based driving simulator. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3), 533–536. doi:10.1016/S0360-8352(97)00186-1
- Lucas, F. R., Russo, L. E. A., Kawashima, R. S., Figueira, A. D. C., Larocca, A. P. C., e Kabbach, F. I. (2013) Uso de simuladores de direção aplicado ao projeto de segurança viária. *Boletim de Ciencias Geodesicas*. doi:10.1590/s1982-21702013000200010
- Min, B. C., Chung, S. C., Min, Y. K., e Sakamoto, K. (2004) Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator. *Applied Ergonomics*, 35(6), 549–556. doi:10.1016/j.apergo.2004.06.002
- Mourant, R. R., e Thattacheny, T. R. (2000) Simulator Sickness in a virtual environments driving simulator. *IEA 2000/HFES 2000 Congress*. San Diego, California.
- Nodari, C. T., Castilhos, M. O., Veronez, M. R., Bordin, F., Gonzaga, L., Paula, A., e Larocca, C. (2017) Avaliação do realismo e da sensação de mal-estar (simulator sickness) no uso de simulador imersivo de direção. *XXXI Congresso da ANPET* (p. 3103–3115). Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife, PE.
- Oman C. M. (1990) Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. *Can J Physiol Pharmacol.* 68 (2), 294-303.
- Orsolin, D. M., e Rampelotto, E. R. (2010) *SIMULADOR DE DIREÇÃO COM TRÊS GRAUS DE LIBERDADE*. *Revista da Graduação*. Obtido de <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/6754/4908>
- Reason, J. T. (1978) Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 71(11), 819–29. doi:10.1177/014107687807101109
- Reason, J. T. e Brand J. J. (1975) Motion sickness. Oxford, Inglaterra: Academic press.
- Rebenitsch, L., e Owen, C. (2016) Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*. doi:10.1007/s10055-016-0285-9
- Santos, M. I. dos, Oliveira, P. T. M. e S. de, Ribeiro, R. L., Larocca, A. P. C., e Kabbach Junior, F. I. (2017) Conceito, configuração e aplicação de um simulador de direção no Brasil – Estudo de caso. *Transportes*, 25(2), 1. doi:10.14295/transportes.v25i2.1174
- Vieira, F. S., Torquato, T., Larocca, A. P. C. e Simões, A. S. A. (2015) Análise da fixação ocular de condutores através de teste de carga mental. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET* (p. 1402–1413). Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Ouro Preto.
- Sinitski, E., Thompson, A. A., Godsell, P. C., Honey, J. L., e Besemann, M. (2018) Postural stability and simulator sickness after walking on a treadmill in a virtual environment with a curved display. *Displays*, 52(January), 1–7. doi:10.1016/j.displa.2018.01.001
- Sportillo, D., Paljic, A., e Ojeda, L. (2018) Get ready for automated driving using Virtual Reality. *Accident Analysis and Prevention*, 118(May), 102–113. doi:10.1016/j.aap.2018.06.003
- Stanney, K. M., e Kennedy, R. S. (1997) Kay M. Stanney and. *Communications of the ACM*.
- Stone, W. B. (2017) *Psychometric evaluation of the Simulator Sickness Questionnaire as a measure of cybersickness*. Iowa State University. Obtido de <http://lib.dr.iastate.edu/etd>
- Sutherland, I. E. (1968) A head-mounted three dimensional display. *Fall Joint Computer Conference* (p. 5–10).
- Treat, J., Tumbas, N., e McDonald, S. (1979) Tri-Level Study of the Causes of Traffic Accidents. Executive Summary. *Vision Research*, 42(21), 2419–2430. doi:00771862

Laísa Braga Kappler (laisakappler@hotmail.com)

Carlo Framarim (carlo.framarim@gmail.com)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia de Produção

Av. Osvaldo Aranha DEPROT/PPGEP, 99 - 5º Andar - Bairro Bom Fim. Porto Alegre. Rio Grande do Sul

CEP: 90035-190. Fone: +55 51 33083491