

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Matheus Montanha Paulon

**Realidade Virtual: Uma análise dos
impactos do uso prolongado e seus efeitos**

Alegrete
2024

Matheus Montanha Paulon

Realidade Virtual: Uma análise dos impactos do uso prolongado e seus efeitos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Me. Jean Felipe Patikowski Cheiran

Alegrete
2024

Matheus Montanha Paulon

Realidade Virtual: Uma análise dos impactos do uso prolongado e seus efeitos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia de Software da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 12 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Me. Jean Felipe Patikowski Cheiran

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Fabio Paulo Basso

UNIPAMPA

Prof. Dr. Maicon Bernardino da Silveira

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **JEAN FELIPE PATIKOWSKI CHEIRAN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/12/2024, às 20:39, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAICON BERNARDINO DA SILVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2024, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FABIO PAULO BASSO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2024, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1617816** e o código CRC **4983D546**.

“Trabalho duro é inútil para aqueles que não acreditam em si mesmos.”

Agradecimentos

Dedico meus agradecimentos primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível. Também, agradeço aos meus pais, Andréia e Luis Sérgio por todo apoio e pela criação que me deram. Durante toda a minha vida me incentivaram a estudar e a ter o caráter que possuo hoje. Também dedico esse trabalho aos meus irmãos, que também me ajudaram durante a graduação com incentivo nos momentos mais difíceis.

Estendo esses agradecimentos também aos meus colegas de graduação, Débora e Mathias, por todos os anos de dificuldade que passamos juntos, das noites de estudo e de trabalho para finalizar o curso. Também ao professore Jean Cheiran por toda orientação deste TCC.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte desta jornada, tanto diretamente quanto indiretamente. Pois graças a essas pessoas também que o curso e este trabalho foram concluídos. Meu muito obrigado a todos!

Resumo

A Realidade Virtual (RV) evoluiu significativamente desde a década de 1990, tornando-se uma tecnologia promissora em áreas como jogos, medicina, e educação. No entanto, um dos maiores desafios à sua ampla adoção é o fenômeno conhecido como *cybersickness*, que inclui sintomas como náusea, tontura e desorientação durante ou após a imersão em ambientes virtuais. Esses sintomas limitam o tempo de exposição dos usuários e impactam negativamente a experiência. Além disso, fatores como a qualidade dos gráficos e o atraso na reprodução dos movimentos no mundo virtual podem agravar os sintomas. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo compreender como o *cybersickness* afeta os usuários de RV durante uma exposição prolongada. Através da aplicação da Fast Motion Sickness Scale (FMS) e do Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) em sete participantes ao longo de 3 horas de experimento, foi possível mapear os sintomas, comparar os resultados e trazer *insights* relevantes sobre ambientes de RV imersiva. Como principais contribuições, observamos que os sintomas de *cybersickness* crescem consideravelmente a partir da primeira hora de imersão e identificamos três perfis de usuários a partir das análises individuais (usuários resistentes a *cybersickness*, usuários sensíveis a *cybersickness* e que são resilientes na continuação da tarefa, e usuários sensíveis a *cybersickness* que abandonam a tarefa). Além disso, observa-se uma forte correlação entre as medições do SSQ e da FMS que sugerem viabilidade de utilização do FMS para avaliações rápidas dos sintomas.

Palavras-chave: Realidade Virtual. *Cybersickness*. Uso Prolongado. Sintomas. Experiência do Usuário.

Abstract

Virtual Reality (VR) has evolved significantly since the 1990s, becoming a promising technology in areas such as gaming, medicine, and education. However, one of the major challenges to its widespread adoption is the phenomenon known as cybersickness, which includes symptoms such as nausea, dizziness, and disorientation during or after immersion in virtual environments. These symptoms limit the use time and negatively impact users' experience. Factors such as graphics quality and motion latency in the virtual world can also exacerbate these symptoms. This study aims to understand how cybersickness affects VR users during extended usage. Applying the Fast Motion Sickness Scale (FMS) and the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) on seven participants over three-hour experimental sessions made it possible to track symptoms, compare results, and provide relevant insights into immersive VR environments. The main findings include observing that cybersickness symptoms increase significantly after the first hour of immersion and identifying three user profiles based on individual analyses: users resistant to cybersickness, users sensitive to cybersickness but resilient enough to fulfill the task, and users sensitive to cybersickness who give up the task. Furthermore, a strong correlation between SSQ and FMS measurements suggests the feasibility of using FMS for quick cybersickness assessment.

Key-words: Virtual Reality. Cybersickness. Extended Use. Symptoms. User Experience.

Lista de figuras

Figura 1 – Modelo de UX para RV imersiva.	18
Figura 2 – Organização do TCC 1	32
Figura 3 – Intervalos de tempo para avaliação dos sintomas	34
Figura 4 – Sala onde ocorreram os procedimentos experimentais	35
Figura 5 – Monitores virtuais (visão do participante)	38
Figura 6 – Recorte do teclado e do <i>touchpad</i> físicos (visão do participante)	39
Figura 7 – Organização do TCC 2	40
Figura 8 – Duração do experimento para cada participante (de S1 a S7)	43
Figura 9 – Média de resultados do FMS	44
Figura 10 – Resultados da FMS	45
Figura 11 – Média do <i>score</i> geral do SSQ	46
Figura 12 – Resultado do SSQ	47
Figura 13 – Média das Subescalas do SSQ	49

Lista de tabelas

Tabela 1 – Desafios de Lógica de Programação	36
Tabela 2 – Resumo das características dos participantes do experimento	42
Tabela 3 – Correlação de Pearson entre a FMS e o SSQ	50

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivo	14
1.3	Organização deste trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Realidade Virtual	16
2.2	Experiência do Usuário	17
2.2.1	Experiência do Usuário em Realidade Virtual	17
2.3	Sintomas e Efeitos Induzidos pela Realidade Virtual (VRISE)	18
2.3.1	Teoria do Conflito Sensorial	20
2.3.2	Teoria Evolucionária ou Teoria do Veneno	20
2.3.3	Teoria da Instabilidade Postural	20
2.3.4	Teoria dos Referenciais de Repouso	20
2.4	Questionários de Medição de <i>Cybersickness</i>	21
2.4.1	Questionário de Mal-Estar de Simulador (SSQ)	21
2.4.2	Questionário de Mal-estar em Realidade Virtual (VRSQ) . . .	23
2.4.3	Questionário de Suscetibilidade a Enjoo de Movimento (MSSQ)	23
2.4.4	Questionário de Suscetibilidade a Enjoo de Movimento Visu- almente Induzido (VIMSSQ-short)	24
3	TRABALHOS RELACIONADOS	26
3.1	Lingering Effects Associated with Virtual Reality: An Analy- sis Based on Consumer Discussions Over Time	26
3.2	Quantifying the Effects of Working in VR for One Week . . .	27
3.3	Mixed Reality Office System Based on Maslow’s Hierarchy of Needs: Towards the Long-Term Immersion in Virtual Envi- ronments	27
3.4	Exploring the Differences of Visual Discomfort Caused by Long-term Immersion between Virtual Environments and Phy- sical Environments	28
3.5	Comparação dos estudos	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	Organização do TCC 1	31
4.1.1	Concepção do tema	31
4.1.2	Fundamentação Teórica	31
4.1.3	Busca de trabalhos relacionados	32
4.1.4	Definição dos questionários a serem utilizados para avaliação	32

4.1.5	Definição do grupo para avaliação	33
4.1.6	Definição das Atividades do Experimento	33
4.2	Software e Hardware	34
4.2.1	Meta Quest 3	35
4.2.2	Notebook	37
4.2.3	Aplicativo Immersed	37
4.3	Organização do TCC 2	38
4.3.1	Organização do Grupo de Voluntários	39
4.3.2	Preparação do <i>Setup</i>	39
4.3.3	Elaboração do Roteiro do Experimento	40
4.3.4	Realização do Experimento	40
4.3.5	Avaliação dos Resultados	41
4.3.6	Melhorias do texto e escrita do TCC 2	41
4.3.7	Defesa do TCC 2	41
5	RESULTADOS	42
5.1	Perfil dos Participantes	42
5.2	Medições e desistências de participantes	43
5.3	Resultados da aplicação da FMS	43
5.4	Resultados da aplicação do SSQ	46
5.4.1	Resultados das subescalas do SSQ	48
5.5	Correlação entre <i>scores</i> da FMS e do SSQ	49
5.6	Relação dos Resultados com a Experiência do Usuário	50
5.7	Ameaças à Validade do Estudo	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICES	59
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	60
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE TRIAGEM	63
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE PERFIL	65
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE MAL-ESTAR DE SI- MULADOR (SSQ)	68

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DE ESCALA RÁPIDA DE MAL-ESTAR (FMS)	74
--	----

1 Introdução

A Realidade Virtual (RV) tem suas raízes em pesquisas e experimentos realizados nas décadas de 1960 e 1970, mas foi apenas a partir da década 90 que a tecnologia começou a se tornar cada vez mais acessível e comercialmente viável para os usuários (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1993). Desde então, nos últimos 34 anos, a RV tem se destacado cada vez mais como uma das tecnologias mais promissoras e transformadoras das últimas décadas. Seu potencial para criar experiências imersivas tem revolucionado diversos setores, incluindo jogos, medicina, educação e treinamento (KIM; RHIU; YUN, 2019).

No entanto, apesar de suas inúmeras aplicações e avanço crescente, a RV também apresenta desafios significativos relacionados à Experiência do Usuário (UX, do inglês *User Experience*). Definida pela ISO 9241-210 como “percepções e respostas do usuário que resultam do uso e/ou da expectativa de uso de um sistema, produto ou serviço” (ISO, 2019), a UX representa tudo aquilo que o usuário sente, pensa e faz ao usar um artefato computacional. Além disso, Pressman e Maxim (2021) indicam que o projeto de UX no processo de Engenharia de Software envolve aumentar a satisfação de clientes pela criação de uma interação usável, acessível e prazerosa com o artefato. Esse projeto de UX inclui o projeto de interação com o usuário no qual os dispositivos de interação são críticos por interferirem, segundo Pressman e Maxim (2021), na capacidade do software gerar uma experiência natural e agradável. Considerando as características dos dispositivos de Realidade Virtual imersiva e os efeitos dessas tecnologias nos usuários, faz parte do projeto de UX a investigação de consequências de uso para os usuários.

O termo *cybersickness*, ou mal-estar cibernético, é um conjunto de sintomas semelhantes a *motion sickness* (cinetose ou enjoo de movimento), que pode incluir náusea, tontura, dores de cabeça, desorientação, dentre outros. Esses sintomas podem ser sentidos por alguns usuários durante ou após a imersão em ambientes virtuais como, por exemplo, RV, simuladores, *videogames* e navegação em telas 3D (MCCAULEY; SHARKEY, 1992). Esse fenômeno tem sido uma barreira para a adoção ampla de ambientes virtuais imersivos e especialmente a RV imersiva, uma vez que afeta negativamente a experiência do usuário, fazendo com que o tempo de exposição nesses ambientes virtuais seja limitado (PAPAEFTHYMIU et al., 2024). O termo *cybersickness* também está relacionado a outros termos mais específicos relativos ao mal-estar sentido pelos usuários de RV, estando “VRISE” dentre os termos mais comuns.

Os Sintomas e Efeitos Induzidos pela Realidade Virtual (VRISE, do inglês *Virtual Reality Induced Symptoms and Effects*) referem-se a uma diversidade de reações físicas e cognitivas que podem surgir durante ou após a utilização de tecnologias de RV. Esses sintomas podem incluir náusea, vertigem, desorientação, fadiga, dor de cabeça e outros (REGAN; PRICE; MCCLEAN, 1996). Na tentativa de entender e explicar a origem dos efeitos negativos causados pela RV, diversas teorias foram elaboradas por pesquisadores, tendo destaque a Teoria do Conflito Sensorial (REASON; BRAND, 1975), a Teoria

Evolucionária ou Teoria do Veneno (MONEY, 1990), a Teoria da Instabilidade Postural (LAVIOLA, 2000) e a Teoria dos Referenciais de Repouso (JERALD, 2016). Além disso, a qualidade dos gráficos, o atraso entre movimentos reais do usuário e sua reprodução no mundo virtual, e o tempo de uso prolongado da RV podem ampliar esses sintomas, impactando negativamente a experiência do usuário e sua saúde geral (CONNER et al., 2022). Sem um consenso entre os pesquisadores, todas essas teorias e aspectos adicionais estão no radar de desenvolvedores de ambientes imersivos de RV que buscam criar experiências positivas que possam ser usadas por longos períodos de tempo com um mínimo de efeitos negativos sobre seus usuários.

1.1 Motivação

As tecnologias de RV imersiva possibilitam que o usuário perceba estar presente em um ambiente diferente daquele onde ele está fisicamente e interaja com os elementos desse novo ambiente (SCHROEDER, 1996). Essa mediação tecnológica de percepção e interação frequentemente desencadeia sintomas negativos cuja origem ainda não é completamente compreendida e que prejudicam significativamente a Experiência do Usuário, afetando processos de Engenharia de Software como o projeto de interação e o projeto de interfaces (PRESSMAN; MAXIM, 2021). Diante disso, esse trabalho se propõe compreender melhor a relação desses efeitos negativos com o tempo de exposição à RV imersiva e comparar formas de medir esses sintomas ao longo do tempo. Com isso, espera-se fornecer *insights* valiosos em uma perspectiva de Engenharia de Software para desenvolvedores e pesquisadores, ajudando a entender como esses efeitos podem surgir em diferentes perfis de usuário e a criar experiências de RV mais confortáveis.

1.2 Objetivo

Nosso trabalho tem como objetivo medir e entender como os sintomas de *cybersickness* afetam os usuários de Realidade Virtual imersiva ao longo de uma exposição prolongada.

O mapeamento dos sintomas de *cybersickness* é feito por meio de questionários padronizados aplicados em um cenário de RV pré-determinado e a avaliação dos resultados permite identificar aspectos que podem melhorar a experiência final do usuário com ambientes de RV imersiva. Com isso, para que esse objetivo seja alcançado, os objetivos específicos abaixo devem ser atingidos:

- Identificar os principais questionários utilizados na literatura para avaliar *cybersickness*;
- Entender a evolução de *cybersickness* com o uso prolongado de RV imersiva;

1.3 Organização deste trabalho

O trabalho está organizado em seis capítulos. No Capítulo 1 são apresentadas a introdução e a contextualização do tema. O Capítulo 2 aborda o referencial teórico, explicando os principais conceitos e instrumentos de medição utilizados neste trabalho. O Capítulo 3 descreve os trabalhos relacionados ligados ao tema dessa pesquisa. O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada, incluindo uma descrição detalhada dos procedimentos, do hardware e do software aplicados. O Capítulo 5 descreve e discute os resultados obtidos. E, por fim, o Capítulo 6 inclui considerações finais sobre a pesquisa, suas limitações e possibilidades de trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os conceitos importantes ligados ao nosso trabalho como, por exemplo, Realidade Virtual, VRISE, questionários de medição de *cybersickness* e Experiência do Usuário no contexto de RV.

2.1 Realidade Virtual

A Realidade Virtual tem suas raízes em pesquisas e experimentos realizados nas décadas de 1960 e 1970, mas foi apenas a partir da década de 1990 que a tecnologia começou a se tornar cada vez mais acessível e comercialmente viável para os usuários (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1993; RHEINGOLD, 1992). Desde então, houve avanços significativos em *hardware*, *software* e técnicas de *design* que expandiram as possibilidades da RV e a tornaram aplicável em uma variedade de campos, incluindo jogos, medicina, educação e treinamento (KIM; RHIU; YUN, 2019).

Schroeder (1996) define a RV como “uma representação gerada por computador que permite ou força o usuário (ou os usuários) a ter uma sensação de estar presente em um ambiente que não seja aquele em que ele está realmente e de interagir com aquele ambiente”. Ainda, Sherman e Craig (2003) define a RV como uma simulação interativa de um ambiente gerado por computador, que utiliza diversos dispositivos e técnicas para mapear os movimentos e as ações do usuário para aumentar ou diminuir o *feedback* de um ou mais sentidos. Burdea e Coiffet (2003) aponta elementos importantes, na qual indica que a RV consiste em quatro elementos principais:

- **Mundo Virtual:** um espaço contendo uma coleção de objetos virtuais.
- **Imersão:** ato de um indivíduo estar imerso em uma realidade ou ponto de vista alternativo, podendo ser capaz de perceber algo diferente sem nenhum estímulo externo.
- **Feedback Sensorial:** permite ao indivíduo escolher livremente o seu ponto de vista fazendo com que tenha influência nos eventos do mundo virtual. Sendo assim, uma forma de experimentar uma realidade imaginária com diversos sentidos físicos.
- **Interatividade:** capacidade do indivíduo interagir com objetos ou se movendo fisicamente de lugar dentro de um mundo virtual e obtendo novos pontos de vista, como por exemplo, ao movimentar a cabeça.

Dessa forma, podemos dizer que a RV é projetada para criar uma sensação de presença, alterando a percepção sensorial do usuário por meio de tecnologias. Com a capacidade dos dispositivos atuais, as alterações de percepção sensorial têm foco na visão (*e.g.*, por meio de óculos de Realidade Virtual ou projeções estereoscópicas) e audição (*e.g.*, por meio de som binaural ou som 3D).

2.2 Experiência do Usuário

A Experiência do Usuário (UX) é um conceito que engloba as percepções do usuário, como as emoções e as respostas do usuário ao utilizar um sistema computacional (ISO, 2019). Dessa forma, a UX considera não só o desempenho do usuário em relação à utilização de um sistema, mas também leva em consideração as necessidades, as expectativas e a promoção de uma experiência positiva de um usuário.

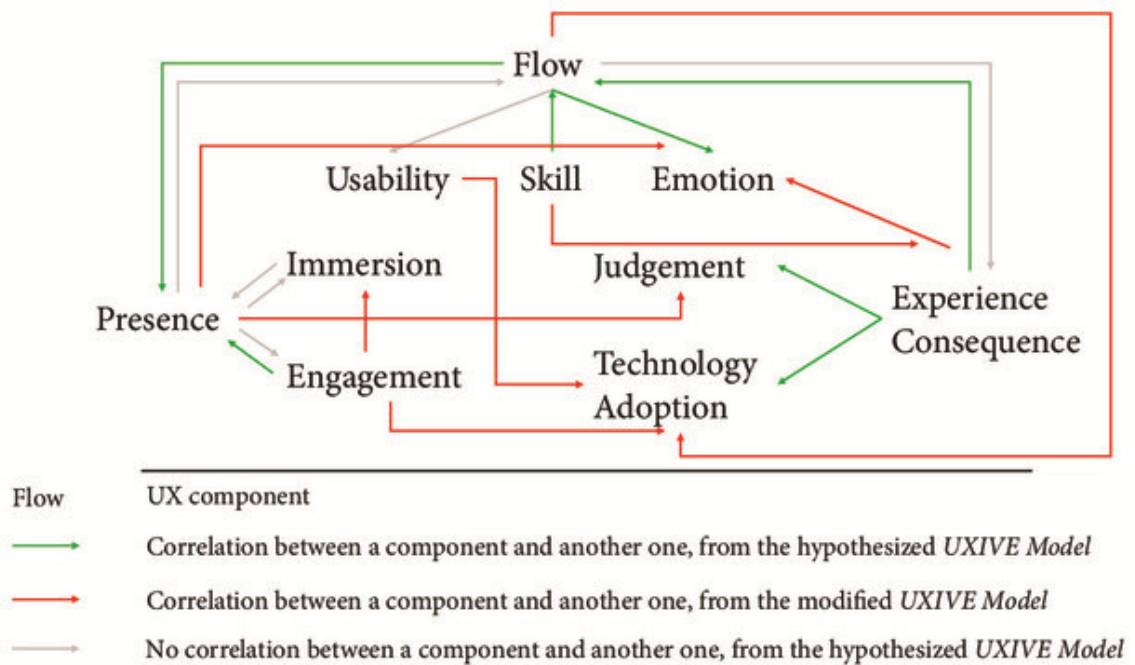
Norman e Nielsen (2006) destacam que a UX trata de todos os aspectos da interação do usuário final com a empresa, seus serviços e seus produtos. Esse conceito extremamente amplo é resultante da usabilidade (relacionado à facilidade de aprendizagem, eficiência de uso e satisfação), desempenho do sistema, capacidades assistivas, emoções, preferências, conforto e inúmeros outros elementos que fazem parte do uso ou da expectativa de uso de um produto (ISO, 2019; NORMAN; NIELSEN, 2006).

2.2.1 Experiência do Usuário em Realidade Virtual

Como mencionado anteriormente, a Experiência do Usuário é um fator importante no desenvolvimento de um software, refletindo na interação final do usuário. Visando compreender melhor a relação entre os aspectos de UX e como os estímulos fornecidos por tecnologias de Realidade Virtual ampliam o engajamento (LOUP et al., 2016), foram propostos modelos de UX para o contexto de RV que descrevem as dimensões de UX em RV e as relações entre elas. O modelo de Tcha-Tokey et al. (2018) menciona os seguintes aspectos que devem ser considerados na avaliação de UX no âmbito de RV:

- **Presença:** Sentimento de “estar lá” no ambiente virtual.
- **Imersão:** Nível de fidelidade sensorial oferecido pela tecnologia.
- **Engajamento:** Concentração e dedicação às atividades no ambiente.
- **Fluxo (*flow*):** Estado de controle total e foco no uso do ambiente.
- **Usabilidade:** Facilidade de uso, eficiência e satisfação.
- **Habilidades:** Competências desenvolvidas no ambiente.
- **Emoções:** Sentimentos subjetivos como alegria, frustração ou satisfação.
- **Julgamento:** Avaliação geral do ambiente (positivo, indiferente ou negativo).
- **Adoção da Tecnologia:** Intenção de continuar usando o ambiente.
- **Consequências da Experiência:** Sintomas físicos ou emocionais como enjoo ou estresse.

Figura 1 – Modelo de UX para RV imersiva.



Fonte: Tcha-Tokey et al. (2018)

Como pode ser observado na Figura 1, as Consequências da Experiência, que incluem sintomas físicos negativos que podem surgir no contexto de RV, afetam diretamente as dimensões de Adoção da Tecnologia, Julgamento, Emoções e Fluxo, desfavorecendo aspectos de interação que são fundamentais em sistemas computacionais (SOMMERVILLE, 2011).

2.3 Sintomas e Efeitos Induzidos pela Realidade Virtual (VRISE)

Como descrito no Capítulo 1, VRISE são uma variedade de efeitos adversos que podem surgir especificamente durante o uso ou após o uso de Realidade Virtual. Os sintomas resultantes podem ser físicos, como náusea e fadiga ocular, ou cognitivos, como confusão e desorientação (REGAN; PRICE; MCCLEAN, 1996). No trabalho de Conner et al. (2022), os efeitos e sintomas associados a VRISE são apresentados e classificados em diferentes categorias, como sintomas visuais, sintomas vestibulares, sintomas de desorientação e sintomas cognitivos. Essa classificação pode ajudar na compreensão e no tratamento desses efeitos. Dessa forma, os sintomas que o uso da Realidade Virtual pode trazer são:

- **Náusea:** sensação de desconforto estomacal, incluindo a sensação de que pode haver vômito;
- **Vertigem:** sensação de tontura ou instabilidade, muitas vezes associada a movimentos rotacionais ou oscilatórios;
- **Desorientação:** sensação de confusão ou falta de consciência da orientação espacial;
- **Fadiga:** sensação de cansaço ou exaustão, que pode ser exacerbada pela exposição prolongada à simulação;
- **Dor de cabeça:** dor ou desconforto na região da cabeça, que pode ser uma resposta ao estresse visual ou vestibular;
- **Sudorese:** aumento da transpiração, que pode ser uma resposta autonômica ao desconforto ou estresse;
- **Palidez:** diminuição do fluxo sanguíneo para a pele, resultando em uma aparência pálida ou esbranquiçada;
- **Dificuldade de concentração:** dificuldade em focar a atenção ou processar informações, o que pode ser afetado pela presença de sintomas de náusea;

Conforme Stanney, Kennedy e Drexler (1997), há vários aspectos que contribuem para que esses sintomas se manifestem, incluindo características individuais do usuário (como idade e sensibilidade pessoal), características do ambiente virtual (como taxa de quadros e qualidade gráfica) e características do dispositivo de RV utilizado (como resolução e taxa de atualização).

Segundo Nichols e Patel (2002), a severidade dos sintomas também pode variar de pessoa para pessoa e depende de diversos fatores que podem intensificá-los:

- **Tipo de experiência:** experiências imersivas e experiências com eventos de movimentos rápidos aumentam VRISE;
- **Tempo de uso:** VRISE aumentam com o tempo de exposição à RV;
- **Suscetibilidade individual:** pessoas com histórico de *motion sickness* ou problemas de equilíbrio são mais propensas a sofrer VRISE mais intensos;

Algumas teorias tentam explicar a origem dos efeitos de *cybersickness* como a Teoria do Conflito Sensorial, a Teoria Evolucionária ou a Teoria do Veneno, a Teoria da Instabilidade Postural e a Teoria dos Referenciais de Repouso (CONNER et al., 2022). Embora a teoria mais adotada por pesquisadores de RV seja a Teoria do Conflito Sensorial (DAVIS; NESBITT; NALIVAICO, 2014; PORCINO; TREVISAN; CLUA, 2021), não existe consenso científico sobre a causa de *cybersickness*. Nas próximas subseções, apresentamos as principais ideias de cada uma das teorias.

2.3.1 Teoria do Conflito Sensorial

Essa teoria propõe que o conflito entre as informações visuais, vestibulares (sistema-periférico, processador central e resposta motora) e proprioceptivas (não-vestibulares) podem resultar em desconforto em quem experimenta RV. Quando os sentidos do corpo, como visão, sistema vestibular (responsável pelo equilíbrio) e propriocepção (percepção da posição do corpo) enviam informações conflitantes ao cérebro, o resultado do processamento de estímulos contraditórios pode ser náusea, vômito e outros sintomas (REASON; BRAND, 1975).

2.3.2 Teoria Evolucionária ou Teoria do Veneno

Sendo uma ramificação ou expansão da Teoria do Conflito Sensorial, essa teoria propõe que certos conflitos senso-motores são vistos como resultado de uma “intoxicação” do corpo, que age para expeli-los como forma de proteção do organismo. Esses sintomas, que podem incluir náusea e vômito, seriam um subproduto involuntário de um antigo sistema de defesa evolutivo contra envenenamento (MONEY, 1990).

2.3.3 Teoria da Instabilidade Postural

Essa teoria traz a relação entre a estabilidade postural e como a uso de Realidade Virtual (RV) pode afetá-la. Segundo (RICCIO; STOFFREGEN, 1991), todo indivíduo desenvolve a capacidade de manter uma postura equilibrada ao longo da sua vida durante diversas situações do dia-a-dia como, por exemplo, andar de bicicleta. Mesmo que subconscientemente, o corpo está sempre se ajustando para se manter equilibrado e com uma postura adequada de acordo com estímulos externos perceptíveis. No entanto, segundo LaViola (2000), em ambientes virtuais, esses estímulos são transmitidos para o usuário de forma visual ou auditiva, causando assim os conflitos sensoriais descritos nas teorias apresentadas. Um exemplo disso é a movimentação do indivíduo em um ambiente imersivo de RV usando um *joystick*: os estímulos visuais indicam que o corpo está em movimento pela alteração da perspectiva do usuário, mas fisicamente o corpo do usuário está parado. Contudo, diferente da Teoria do Conflito Sensorial, o esforço contínuo do corpo para adaptação da postura (visualmente em movimento e fisicamente estacionário) é a causa de *cybersickness* e não apenas o processamento das informações conflitantes pelo cérebro. Dessa forma, essa teoria propõe que essa exposição estímulos divergentes que exigem alterações posturais é a causa de *cybersickness*.

2.3.4 Teoria dos Referenciais de Repouso

A Teoria dos Referenciais de Repouso, diferente da Teoria da Instabilidade Postural, sugere que o mal-estar ocorre quando há um conflito de referências estacionárias. Esses referenciais são pontos ou objetos fixos no campo visual que o cérebro usa para

interpretar a orientação e o movimento (JERALD, 2016). Segundo LaViola (2000), a percepção de que certos objetos são estacionários é fundamental para o equilíbrio e a orientação humana. Com isso, quando estamos em um ambiente físico, nosso cérebro usa objetos fixos no entorno como pontos de referência para entender nosso movimento e posição. Por exemplo, quando alguém caminha pelo escritório ou pela casa, essa pessoa escolhe inconscientemente áreas do cenário que sabidamente permanecem parados e podem servir como uma referência confiável como, por exemplo, uma mesa com suas cadeiras ou o próprio chão ou ainda a sala como um todo. Com base nessa referência de algo que está parado, a pessoa consegue determinar se outras coisas estão se movendo ou não, incluindo se ela mesma está se movendo ou não. Dentro de um ambiente virtual, quando o referencial de repouso do usuário indica que ele está se movendo (o usuário está vendo uma parede se aproximando e ele inconscientemente definiu essa parede como uma referência estacionária) e outros estímulos indicam que ele está parado (sistema vestibular e proprioceptivo), há um conflito sensorial bastante específico e estritamente relacionado aos referenciais de repouso que causam os efeitos de *cybersickness* (JERALD, 2016).

2.4 Questionários de Medição de *Cybersickness*

Como já foi mencionado ao longo deste trabalho, *cybersickness*, também conhecida como mal-estar cibernético em uma tradução direta, refere-se a um conjunto de sintomas que podem ocorrer durante a imersão em ambientes virtuais (MCCAULEY; SHARKEY, 1992). Com isso, surgiu a necessidade de se obter um maior entendimento desses efeitos em Realidade Virtual por meio de medidas para avaliação de forma padronizada do tipo e da severidade dos sintomas, dando origem aos questionários para medição de mal-estar de simulação. Segundo Porcino, Trevisan e Clua (2021), questionários são os meios mais utilizados para mapeamento e classificação desses sintomas. Sendo assim, os questionários se tornaram uma ferramenta útil para pesquisadores e desenvolvedores, permitindo a comparação de diferentes tecnologias, a identificação de indivíduos mais suscetíveis a *cybersickness* e o desenvolvimento de estratégias para mitigar seus efeitos. Dessa forma, iremos abordar nas próximas subseções alguns questionários padronizados que foram sendo desenvolvidos ao longo dos anos, seus objetivos e o que agregam com a sua utilização.

2.4.1 Questionário de Mal-Estar de Simulador (SSQ)

Segundo seus criadores, Kennedy et al. (1993), o Questionário de Mal-Estar de Simulador (SSQ, do inglês *Simulator Sickness Questionnaire*) é um instrumento para avaliar os efeitos e sintomas decorrentes do uso de simuladores, sendo também amplamente utilizado pela comunidade de Realidade Virtual. Esse mal-estar caracteriza-se por sintomas que podem surgir durante ou após a utilização de simuladores e RV. O SSQ fornece uma

medida quantitativa da severidade dos sintomas, permitindo que pesquisadores e desenvolvedores compreendam melhor o impacto da simulação nos usuários. O SSQ é derivado do Questionário de Enjoo de Movimento (MSQ, do inglês *Motion Sickness Questionnaire*) de Pensacola (KELLOGG; KENNEDY; GRAYBIEL, 1965) que é composto por itens relacionados à severidade de 28 sintomas, como náuseas, tontura e fadiga ocular, em uma escala de 0 a 3 (0 - nada, 1 - pouco, 2 - moderado, 3 - severo). No SSQ, esses sintomas foram analisados e posteriormente agrupados em subescalas (oculomotor, desorientação e náusea) em sua versão final. Doze sintomas incluídos na pontuação do MSQ, relacionado ao enjoo de movimento, são irrelevantes para o mal-estar de simulador, diminuindo assim a quantidade para os seguintes 16 sintomas¹:

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| – 1. Mal-estar generalizado | – 9. Dificuldade de concentração |
| – 2. Cansaço | – 10. “Cabeça pesada” |
| – 3. Dor de cabeça | – 11. Visão embaçada |
| – 4. Vista Cansada | – 12. Tontura com olhos abertos |
| – 5. Dificuldade de manter o foco | – 13. Tontura com olhos fechados |
| – 6. Aumento de salivação | – 14. Vertigem |
| – 7. Sudorese | – 15. Desconforto Abdominal |
| – 8. Náusea | – 16. Arroto |

Cada um dos sintomas recebe uma pontuação específica seguindo a mesma estrutura do MSQ (de 0 até 3). Para se obter pontuação final, os 16 itens são divididos nas três subescalas que representam diferentes categorias dos sintomas. Cada subescala é calculada somando as pontuações dos itens pertencentes a ela e, em seguida, multiplicando por um fator específico para padronização da seguinte maneira:

- Náusea [N] = $(Q1 + Q6 + Q7 + Q8 + Q9 + Q15 + Q16) \times 9.54$
- Desorientação [D] = $(Q5 + Q8 + Q10 + Q11 + Q12 + Q13 + Q14) \times 13.92$
- Oculomotor [O] = $(Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q9 + Q11) \times 7.58$

A pontuação total é calculada somando os itens das três subescalas (alguns itens são somados duas vezes) e, em seguida, multiplicando o resultado por 3.74, da seguinte maneira:

$$\text{Score total} = (\text{itens Náusea} + \text{itens Desorientação} + \text{itens Oculomotor}) \times 3.74$$

¹ Os sintomas em português foram obtidos do artigo de Carvalho, Costa e Nardi (2011) que descreve o processo de tradução do SSQ.

Com isso, é possível avaliar a intensidade dos sintomas de mal-estar de simulação que um indivíduo está experimentando de modo geral. Já as subescalas ajudam a identificar grupos específicos de sintomas que estão contribuindo mais para uma experiência negativa.

2.4.2 Questionário de Mal-estar em Realidade Virtual (VRSQ)

Segundo Kim et al. (2018), o Questionário de Mal-Estar em Realidade Virtual (VRSQ, do inglês *Virtual Reality Sickness Questionnaire*), sendo uma adaptação do SSQ apresentado anteriormente, é um instrumento para medir VRISE. Diferente do seu antecessor que foi desenvolvido com base em sintomas causados por uso de simuladores de voo, o VRSQ foi desenvolvido com base em efeitos de mal-estar induzidos no contexto de RV imersiva. O VRSQ oferece uma visão abrangente dos sintomas experimentados pelos usuários durante o uso de RV baseado em nove itens divididos em duas classes distintas: oculomotor e desorientação. Na categoria oculomotor, temos os seguintes sintomas: desconforto geral, fadiga, fadiga ocular, e dificuldade de foco. E, na categoria de desorientação temos os seguintes sintomas: dor de cabeça, pressão na cabeça, visão embaçada, tontura (olhos fechados), e vertigem. O VRSQ é aplicado após a experiência em RV, sendo que o usuário avalia cada item em uma escala de intensidade do sintoma de 0 (nada) a 3 (muito). A pontuação total é obtida pela soma dos valores individuais, com pontuações mais altas indicando maior nível de desconforto.

2.4.3 Questionário de Suscetibilidade a Enjoo de Movimento (MSSQ)

Segundo Reason e Brand (1975), o Questionário de Suscetibilidade a Enjoo de Movimento (MSSQ, do inglês *Motion Sickness Susceptibility Questionnaire*) tem objetivo de avaliar a propensão e determinar o tempo que um indivíduo leva para apresentar sintomas de cinetose, quando exposto a meios de transporte e outras situações que possam causar enjojo de movimento. Apesar de não ter sido criado especificamente para mapear os efeitos de *cybersickness*, diversas pesquisas acabam utilizando esse questionário pelas semelhanças entre cinetose e *cybersickness* (REBENITSCH; OWEN, 2016). Devido a época em que foi criado, o MSSQ passou por ajustes e melhorias ao longo dos anos, como a versão revisada de Golding (1998) incluindo mudanças no processo de pontuação para uma forma simplificada para tornar a interpretação dos resultados mais fácil e assertiva. Também, as normas para adultos foram atualizadas para refletir as mudanças na prevalência da cinetose ao longo do tempo. Dessa forma, utilizaremos esta versão revisada nesta apresentação sobre o MSSQ.

O MSSQ contém ao total 10 questões separadas em 3 partes: a parte 1 contém 4 questões demográficas com o objetivo de saber mais sobre o indivíduo; a parte 2 (seção A) com foco nas experiências vivenciadas ao longo da sua infância (antes dos 12 anos); e, por fim, a parte 3 (seção B) com foco nas experiências vivenciadas nos últimos 10 anos

pelo indivíduo. Para as seções A e B, cada questão é referente à frequência da experiência de cinetose pelo indivíduo nas seguintes condições: Carros, Ônibus (transporte público ou viagens), Trens, Aeronaves, Barcos Pequenos, Navios, Balanços, Gira-gira (brinquedo de parque) e Montanhas-russas.

Ainda para as seções A e B, são consideradas a frequência de experiências em cada condição (nunca, de 1 a 4 usos, 5 a 10 usos, 11 ou mais usos), a frequência de mal-estar ou náusea em cada condição (nunca, raramente, algumas vezes, frequentemente, sempre) e a frequência da ocorrência de vômito em cada condição (nunca, raramente, algumas vezes, frequentemente, sempre). O *score* para cada item varia de 0 (nunca) até 3 ou 4, dependendo da faixa de respostas.

O *score* final de suscetibilidade é calculado a partir dos resultados das seções A e B conforme as seguintes fórmulas:

$$MSSQA = \frac{2.64 \times (\text{soma dos } \textit{scores} \text{ de mal-estar e vômito da seção A}) \times 9}{(\text{tipos de experiências em condições diferentes quando criança})}$$

$$MSSQB = \frac{2.64 \times (\text{soma dos } \textit{scores} \text{ de mal-estar e vômito da seção B}) \times 9}{(\text{tipos de experiências em condições diferentes nos últimos 10 anos})}$$

$$\text{MSSQ } \textit{score} \text{ final} = \text{MSSQA} + \text{MSSQB}$$

2.4.4 Questionário de Suscetibilidade a Enjoo de Movimento Visualmente Induzido (VIMSSQ-short)

Segundo Golding, Rafiq e Keshavarz (2021), o Questionário de Suscetibilidade a Enjoo de Movimento Visualmente Induzido - formato curto (VIMSSQ-short, do inglês *Visually Induced Motion Sickness Susceptibility Questionnaire - Short Form*) é uma variação do MSSQ apresentado anteriormente. VIMSSQ-short foi criado para identificar a suscetibilidade de um indivíduo ao Enjoo de Movimento Visualmente Induzido (VIMS, do inglês, *Visually Induced Motion Sickness*) e foi desenvolvido com o intuito de ser usado em conjunto com o MSSQ como um complemento para avaliar sintomas em tecnologias específicas envolvendo dispositivos visuais e *displays*. O questionário avalia a suscetibilidade de um indivíduo à sensação de náusea e desconforto provocada por VIMS. O VIMSSQ-short considera a frequência de 5 sintomas principais para estimar a suscetibilidade: náusea, dor de cabeça, fadiga, tontura e cansaço visual. As respostas são pontuadas em uma faixa que varia de 0 (Nunca) a 3 (Frequentemente). A seguir, são apresentados os três itens do questionário:

- Q1. Com que frequência você experimentou cada um dos seguintes sintomas ao usar qualquer um desses dispositivos?

- Q2. Algum desses sintomas fez você parar de usar algum desses dispositivos ou fez você evitar usar essas telas?
- Q3. Se você respondeu que parou ou evitou, por favor liste os dispositivos ou telas que você evita.

Destaca-se que o item Q1 inclui os 5 sintomas com as faixas de resposta de frequência, o item Q2 possui apenas uma faixa de resposta de frequência disponível e o item Q3 recebe respostas abertas.

Dessa forma, VIMSSQ-Short tem como foco principal na sua utilização a avaliação da experiência dos usuários com diferentes dispositivos de exibição visual ou entretenimento. Os dispositivos podem ser *videogames*, *smartphones*, *tablets*, cinemas, óculos de RV, simuladores e outros. Também, o questionário orienta que as experiências consideradas sejam apenas as vivenciadas na idade adulta (acima de 18 anos) e ignorar as experiências vivenciadas na infância (GOLDING; RAFIQ; KESHAVARZ, 2021).

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados ao tema desta pesquisa. Primeiramente, foi realizada uma busca *ad hoc* para mapear artigos com tema similar e, após a leitura de alguns trabalhos de referência, um conjunto de palavras-chaves relacionadas ao tema foi escolhido para uso como *string* de busca. As seguintes palavras-chaves foram selecionadas: *Virtual Reality*, *VR*, *Long-term*, *Effects*, *Cybersickness*, *Causes*, *Strategies* e *User Experience*.

O segundo passo foi a escolha de bases de dados que indexam periódicos e conferências de referência na área: *ACM Digital Library*¹, *ScienceDirect*² e *IEEE Xplore*³.

Os resultados das buscas foram avaliados pelo estudante e pelo orientador dessa pesquisa, sendo alguns dos artigos mais relevantes sobre o tema discutidos em detalhes nas próximas subseções.

3.1 Lingering Effects Associated with Virtual Reality: An Analysis Based on Consumer Discussions Over Time

O trabalho de Porter, Kohm e Robb (2020) explora os efeitos duradouros da RV a partir de uma análise detalhada das discussões em fóruns online realizadas por consumidores. A pesquisa examina como as percepções e experiências dos usuários evoluíram ao longo do tempo, desde a popularização do uso de RV imersiva até o momento que a pesquisa estava sendo desenvolvida.

Ao longo do estudo, são identificados e examinados diversos temas recorrentes nas discussões dos consumidores da RV, incluindo aspectos relacionados aos efeitos persistentes após o uso de pelo menos uma hora completa. O estudo separou esses efeitos em duas categorias principais: Efeitos Perceptivos e Comportamentais. Na categoria de Efeitos Perceptivos, muitos usuários relatam uma sensação de desconexão com seus corpos, especialmente em relação às mãos, descrevendo estas como: “não parecem mais parte do meu corpo” ou que estão em uma posição incorreta. Alguns usuários também relatam episódios de desorientação ao retornar ao mundo real, esbarrando em objetos ou sentindo uma estranheza temporária com seus corpos.

Na categoria de Efeitos Comportamentais, o estudo apresenta que após saírem da RV, os usuários frequentemente relatam uma sensação de irrealidade em relação ao mundo real como, por exemplo, dificuldade em descobrir se está no mundo virtual ou não ao tirar o *headset* e tocando deliberadamente objetos para confirmar sua substancialidade. Os usuários também expressaram hesitação ao tentar se apoiar em objetos físicos, com receio de “simplesmente passar por eles”.

Após a análise dos resultados, o estudo indica que os efeitos colaterais persistentes

¹ ACM: <https://dl.acm.org/>

² ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/>

³ IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/>

estão de fato associados ao uso da RV imersiva. Esses efeitos ocorrem depois de, pelo menos, uma hora contínua de uso da RV e podem variar em duração (de poucos instantes até um dia inteiro). Contudo, os usuários relataram que esses efeitos deixaram de acontecer após algumas semanas de uso regular de RV.

3.2 Quantifying the Effects of Working in VR for One Week

O trabalho de Kalamkar et al. (2022) também investiga os efeitos de longo prazo ao se trabalhar em um ambiente de Realidade Virtual, abordando a necessidade de entender como a RV imersiva impacta a produtividade e o bem-estar quando usada por períodos prolongados. O estudo apresenta uma comparação dos efeitos de trabalhar em um ambiente de RV com um ambiente de trabalho físico tradicional. Para isso, 16 participantes realizaram jornadas de trabalho de 8 horas em RV imersiva por uma semana e em um ambiente *desktop* físico por uma semana para a comparação.

Os participantes foram submetidos a uma configuração de VR que proporcionava uma experiência comparável à experiência de trabalhar em um ambiente físico *desktop*. O estudo utilizou um ambiente simples de RV imersiva com um *setup* que permitia uma comparação justa entre os dois ambientes. Com isso, o uso em RV resultou em resultados significativamente piores em várias medidas. Os participantes relataram níveis preocupantes de *cybersickness*, com dois desistindo no primeiro dia devido a enxaqueca, náusea e ansiedade. No entanto, apesar dos problemas iniciais, os participantes restantes gradualmente superaram as primeiras impressões negativas e o desconforto inicial.

Após a análise dos resultados, o estudo conclui que, atualmente, trabalhar em RV por longos períodos apresenta vários problemas, incluindo mal-estar físico e problemas de usabilidade na simulação. No entanto, os participantes mostraram alguma adaptação ao longo do tempo. O artigo destaca as limitações atuais da RV para o trabalho prolongado e sugere que melhorias são necessárias para que a RV imersiva possa ser uma alternativa viável aos ambientes de trabalho físicos.

3.3 Mixed Reality Office System Based on Maslow's Hierarchy of Needs: Towards the Long-Term Immersion in Virtual Environments

O trabalho de Guo et al. (2019) discute o desenvolvimento e a implementação de um sistema de escritório de Realidade Mista (MR, do inglês *Mixed Reality*) que visa melhorar a imersão a longo prazo em RV. Utilizando a Hierarquia de Necessidades de Maslow⁴ (MHN, do inglês *Maslow's Hierarchy of Needs*) como base teórica, o estudo propõe um sistema que não apenas aborda as necessidades tecnológicas e de usabilidade, mas

⁴ A Teoria da Hierarquia das Necessidades de Maslow (1943) sugere que as necessidades humanas estão organizadas hierarquicamente: Fisiológicas (base), Segurança, Pertencimento, Estima e de Autorrealização (topo). Ela estabelece também que as pessoas são motivadas a satisfazer essas necessidades de forma progressiva, começando pelas mais básicas (base) até alcançar as mais complexas (topo).

também as necessidades psicológicas e sociais dos usuários, com o objetivo de promover uma experiência de uso mais satisfatória e sustentável. Os autores desenvolveram um sistema de MR que integra componentes de hardware e software para criar um ambiente de trabalho virtual imersivo. Apesar da teoria de Maslow apresentar 5 níveis, os autores focaram apenas nas três primeiras camadas de acordo com a MHN, ou seja, as necessidades fisiológicas, de segurança e de pertencimento. Na camada de pertencimento, devido as cenas serem controladas pelos *designers*, os autores ressaltaram que o ambiente relaxante também é importante. Com isso, a camada de necessidades de pertencimento foi expandida e incluída também as necessidades emocionais.

No nível fisiológico são incluídas as necessidades mais básicas para a sobrevivência humana, incluindo necessidades metabólicas como alimento, ar, água, sono e excreção, além de necessidades básicas como vestimenta, abrigo e sexuais. No contexto de Ambientes Virtuais (VEs), a satisfação dessas necessidades é crucial para evitar desconforto.

As necessidades de segurança são importantes devido à inconsistência entre o mundo físico e o mundo virtual. Essas necessidades incluem segurança de vida, segurança financeira, saúde física e mental, e prevenção de acidentes.

Por fim, as necessidades emocionais durante a imersão a longo prazo incluem dois aspectos principais, sendo elas: Um VE agradável é importante para relaxar o corpo durante longos períodos de imersão e longos períodos de imersão podem levar à solidão e à redução das conexões sociais, prejudicando a saúde dos usuários. É crucial criar um ambiente que minimize esses sentimentos de isolamento.

Os resultados obtidos mostraram que um sistema de MR que considera a MHN pode melhorar significativamente a experiência do usuário e a imersão a longo prazo, pois os usuários relataram que se sentiram mais confortáveis, seguros e motivados, com uma maior propensão a usar o sistema de forma contínua. A interação social e o reconhecimento dentro do ambiente virtual foram particularmente destacados como fatores que aumentam a satisfação e a produtividade.

3.4 Exploring the Differences of Visual Discomfort Caused by Long-term Immersion between Virtual Environments and Physical Environments

O trabalho de Guo et al. (2020) investiga o impacto do desconforto visual causado pela imersão prolongada em Ambientes Virtuais (VEs) comparado a Ambientes Físicos (não-VEs). Trinta participantes foram expostos a ambas condições (27 completaram o experimento), realizando tarefas visuais por 8 horas diárias utilizando um dispositivo de Realidade Virtual (HMD) e, para controle, um monitor convencional.

Foram avaliados indicadores subjetivos e objetivos para medir os efeitos da exposição prolongada. A Escala de Fadiga Visual (VFS), composta por 24 itens, foi utilizada para medir sintomas subjetivos, como cansaço ocular, dificuldade de foco, náusea e desconforto geral. Já os indicadores objetivos incluíram medições do tamanho da pupila

e da resposta de acomodação visual, coletados por um refrator automático. As tarefas visuais foram estruturadas para replicar diferentes níveis de carga cognitiva e intensidade visual. Os participantes realizaram quatro tipos de atividades: correção de texto, digitação, busca de palavras-chave em documentos e classificação de imagens. Essas tarefas foram realizadas tanto no ambiente VE quanto no ambiente físico, com controle cuidadoso para garantir que os estímulos visuais fossem equivalentes entre as condições.

Os resultados do estudo demonstraram que os sintomas de fadiga visual aumentaram com o passar do tempo nas duas condições, mas foram mais intensos no ambiente virtual (VE) em comparação ao ambiente físico. Subjetivamente, participantes relataram maior cansaço ocular, dificuldade de foco e desconforto geral no VE, atribuídos ao conflito de acomodação e convergência dos dispositivos de realidade virtual. Objetivamente, o tamanho da pupila apresentou correlação negativa com a severidade da fadiga visual, indicando maior contração em situações de maior desconforto, enquanto a resposta de acomodação foi afetada principalmente na capacidade máxima de foco em objetos distantes após exposição prolongada. Além disso, os dados sugeriram diferenças de gênero, com mulheres apresentando sintomas mais severos no VE do que os homens, possivelmente devido à menor familiaridade com a tecnologia de realidade virtual.

3.5 Comparação dos estudos

Os trabalhos relacionados abordam diferentes aspectos da Realidade Virtual, oferecendo perspectivas variadas sobre os impactos de sua utilização e se distinguindo do presente estudo em diversos aspectos.

No trabalho de Porter, Kohm e Robb (2020) analisa os efeitos duradouros do uso de RV por meio de relatos informais coletados em fóruns online, o estudo atual adota uma abordagem experimental controlada, com medições frequentes e sistemáticas utilizando escalas validadas, como o FMS e SSQ, para capturar os sintomas de *cybersickness* ao longo do tempo.

Já o estudo de Kalamkar et al. (2022) compara ambientes de trabalho em RV e físicos, utilizando jornadas de 8 horas por dia durante uma semana, com avaliações entre duas, quatro, seis e oito horas de trabalho com intervalos diários. Em contraste, o presente estudo foca exclusivamente no ambiente de RV, realizando medições em intervalos de 15 minutos, o que permite um acompanhamento mais detalhado da evolução dos sintomas ao longo das sessões.

O trabalho de Guo et al. (2019) concentra-se no desenvolvimento de um sistema de Realidade Mista baseado na Hierarquia de Necessidades de Maslow, abordando aspectos emocionais e sociais para melhorar a imersão a longo prazo. Diferentemente, este estudo investiga diretamente os efeitos fisiológicos e subjetivos do uso prolongado de RV, sem considerar modificações ambientais ou sociais.

Por fim, o estudo de Guo et al. (2020) compara os efeitos de longas imersões em

ambientes virtuais e físicos, com foco no desconforto visual. O presente trabalho, por sua vez, se restringe ao ambiente de RV, priorizando uma análise abrangente de diferentes dimensões de sintomas de *cybersickness*, como oculomotor, desorientação e náusea, com medições regulares para entender os padrões ao longo do tempo.

4 Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem experimental e exploratória (PRODANOV; FREITAS, 2013). Sendo uma pesquisa aplicada, seu foco está na geração de conhecimento com potencial para entender e solucionar problemas práticos, especificamente relacionados a *cybersickness*. O método experimental é utilizado para investigar a relação entre os *scores* de questionários como o SSQ e o FMS, analisar a evolução dos sintomas de *cybersickness* ao longo do tempo e compreender fatores que podem afetar o aparecimento de sintomas. Finalmente, ela possui um caráter exploratório, pois busca identificar padrões e tendências na manifestação de sintomas de *cybersickness*, abrindo caminho para investigações mais aprofundadas sobre o tema. Por meio de experimentos e análise de dados coletados, a pesquisa visa contribuir para a compreensão dos efeitos da *cybersickness* em um contexto prático e possíveis ações para sua mitigação.

Dessa forma, para alcançar os objetivos propostos, o planejamento da pesquisa é apresentado nas Figuras 2 e 7. A Figura 2 representa as atividades do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 1 e a Figura 7 apresenta as atividades do TCC 2. Para representar o fluxo de atividades, diagramas na Notação de Modelagem de Processos de Negócios (BPMN, do inglês *Business Process Modeling Notation*) foram utilizados. Todos os diagramas criados para esse trabalho foram desenvolvidos utilizando a ferramenta Lucidchart¹.

4.1 Organização do TCC 1

A organização do TCC 1 se deu desde a concepção do tema, até o planejamento do experimento que será realizado para o TCC 2. Cada etapa da organização é discutido abaixo.

4.1.1 Concepção do tema

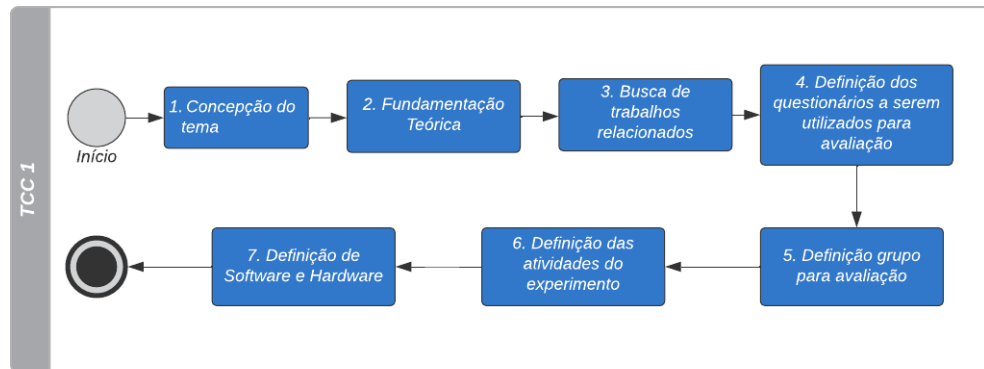
Com base em uma pesquisa preliminar e leitura de revisões sistemáticas presentes na literatura sobre o tema como, por exemplo, os trabalhos de Porcino, Trevisan e Clua (2021) e Lee, Koo e Jhung (2017) que indicam lacunas na compreensão do fenômeno de *cybersickness*, o tema deste trabalho foi escolhido. Dessa forma, essa pesquisa visa entender mais a evolução dos sintomas causados pela *cybersickness* em ambientes de RV imersivos e explorar os questionários disponíveis em português para sua medição.

4.1.2 Fundamentação Teórica

Após a escolha do tema, foi realizada uma pesquisa de conceitos importantes para este trabalho com base nos principais autores da área. Esses conceitos podem ser vistos

¹ <https://www.lucidchart.com/pages/pt>

Figura 2 – Organização do TCC 1



Fonte: o autor

no Capítulo 2.

4.1.3 Busca de trabalhos relacionados

Para encontrar trabalhos relacionados, foram definidas palavras-chave da pesquisa e exclusão e as bases de artigos a serem utilizadas. Depois da busca desses termos nas bases científicas, os trabalhos mais promissores para apoio nesta pesquisa foram escolhidos e sintetizados. Como a coleção de artigos escolhidos é bastante extensa e como alguns artigos da base de dados ACM Digital Library não estão mais disponíveis pela Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), apenas os trabalhos com contribuição mais relevante e ainda disponíveis foram descritos no Capítulo 3.

4.1.4 Definição dos questionários a serem utilizados para avaliação

Nesta etapa, após a fundamentação teórica e a leitura dos trabalhos relacionados, foram escolhidos quais questionários seriam utilizados nas etapas seguintes que envolvem experimentos com usuários. Tendo em vista o tipo de atividades e grupo de avaliação, o SSQ foi selecionado por dois fatores: (1) é o questionário mais utilizado para mapear sintomas causados pelo uso de RV (PORCINO; TREVISAN; CLUA, 2021) e (2) por ter uma versão traduzida para português (CARVALHO; COSTA; NARDI, 2011). Adicionalmente, foi utilizado como complemento a Escala Rápida de Cinetose (FMS, do inglês *Fast Motion Sickness Scale*) para avaliar de forma mais ampla o mal-estar dos indivíduos ao longo do uso de RV (KESHAVARZ; HECHT, 2011). A FMS teve seus dois extremos da escala traduzidos para português (*no sickness at all* foi traduzido como ‘nenhum mal-estar’ e *frank sickness* foi traduzido como ‘mal-estar real’), assim como recomendações gerais para os participantes conforme os experimentos de Keshavarz e Hecht (2011).

4.1.5 Definição do grupo para avaliação

Tendo em vista as limitações de tempo do TCC para realizar o experimento com uma grande quantidade de participantes, o grupo foi composto por 7 voluntários cujo perfil é apresentado no Capítulo seguinte. Esses voluntários obrigatoriamente possuíam conhecimentos de programação para realizarem as atividades descritas a seguir.

Considerando aspectos éticos da pesquisa científica, os participantes foram apresentados a um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), disponibilizado no Apêndice A, que detalha as pessoas responsáveis pela pesquisa, o objetivo da pesquisa, os procedimentos, os benefícios, os riscos e os direitos do participante. Ainda, um questionário de triagem, disponível no Apêndice B, foi adotado para garantir a segurança dos participantes, de forma a evitar que pessoas sensíveis sejam expostas à RV imersiva. Caso algum critério de triagem fosse descumprido, o candidato não era autorizado a participar do experimento. Esse questionário de triagem é baseado nas recomendações de segurança de uso descritas no manual de dispositivos *Meta Quest*².

4.1.6 Definição das Atividades do Experimento

Com base nos trabalhos relacionados apresentados, o tempo de exposição à RV que pode ser classificado como “longa duração” pode variar. Além disso, os sintomas de *cybersickness* podem se tornar significativos apenas depois da primeira hora de uso. Dessa forma, foi definido que o experimento teria duração de 3 horas com avaliações dos sintomas com o SSQ e a FSM em intervalos de 15 minutos, de acordo com a Figura 3. Adicionalmente, os participantes foram continuamente monitorados para garantia de sua segurança, podendo abandonar a pesquisa a qualquer momento conforme informado no TCLE e reforçado pelos pesquisadores.

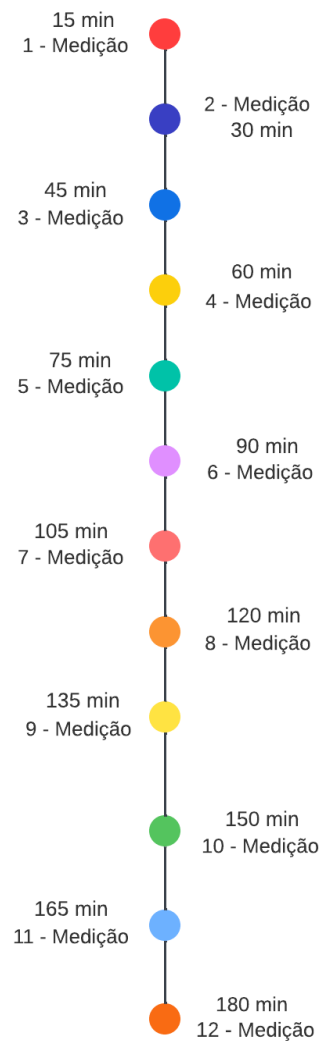
Os participantes foram conduzidos a uma sala reservada para a realização do experimento, onde foram explicados os procedimentos experimentais, o tempo de duração da experiência, as atividades a serem feitas e as medições de *cybersickness*. A Figura 4 apresenta a organização da sala do experimento (a pessoa que aparece na foto não é um participante real).

Os participantes preencheram o TCLE, o questionário de triagem e o questionário de perfil. Após isso, o *hardware* usado foi apresentado aos participantes e um curto período de ambientação foi oferecido para se familiarizarem com o dispositivo e com a forma de interação. Após isso, as atividades foram iniciadas e as medições realizadas, respeitando os intervalos definidos anteriormente.

As atividades programadas são desafios de lógica de programação em níveis de dificuldade variados que foram realizadas usando monitores virtuais e periféricos visua-

² <https://www.meta.com/legal/quest/health-and-safety-warnings/>

Figura 3 – Intervalos de tempo para avaliação dos sintomas



Fonte: o autor

lizados por meio de Virtualidade Aumentada³. Os desafios que foram apresentados aos voluntários é descritos na Tabela 1.

4.2 Software e Hardware

Como mencionado anteriormente, o experimento é baseado em RV imersiva na qual os voluntários realizarão tarefas de programação durante 3 horas com avaliação contínua de sintomas de *cybersickness*. Será utilizado o *software Immersed* em um dispositivo de

³ Virtualidade Aumentada incorpora elementos reais em um ambiente virtual (ZULKARNAIN et al., 2024). Nesse caso, o teclado e o *touchpad* físicos eram apresentados como um recorte do mundo real para o usuário que estava imerso em um ambiente majoritariamente em Realidade Virtual. Essa estratégia foi usada para evitar problemas de sincronia causados pelo mapeamento de objetos reais em objetos virtuais.

Figura 4 – Sala onde ocorreram os procedimentos experimentais



Fonte: o autor

RV Meta Quest 3 para criar um monitor virtual *desktop* que espelha o sistema operacional *Windows* que estará executando em um notebook Lenovo. Os detalhes desses programas e equipamentos é descrito a seguir.

4.2.1 Meta Quest 3

Para a realização do experimento, serão utilizados os óculos de RV, *Meta Quest 3*⁴ usando recursos de rastreamento de mãos do usuário. Os óculos contêm as seguintes configurações:

- **Processador**
 - **Chipset:** Qualcomm Snapdragon XR2 Gen 2
- **Memória**
 - **RAM:** 8 GB
- **Display**

⁴ <https://www.meta.com/quest/quest-3/>

#	Título	Descrição
1	Números Pares em um Intervalo	Escreva um programa que receba dois números inteiros, $n1$ e $n2$, e imprima todos os números pares entre $n1$ e $n2$. Se $n1$ for maior que $n2$, o programa deve trocar os valores de $n1$ e $n2$ para garantir a ordem crescente.
2	Palíndromo de Palavra	Escreva um programa que verifique se uma palavra é um palíndromo. Uma palavra é considerada um palíndromo se ela for igual quando lida de trás para frente. O programa deve ignorar letras maiúsculas e espaços.
3	Soma dos Dígitos	Escreva um programa que receba um número inteiro positivo e calcule a soma dos seus dígitos. O programa deve funcionar para números de qualquer tamanho.
4	Fatorial Recursivo	Escreva um programa que calcule o fatorial de um número inteiro positivo usando recursão. O fatorial de um número n é o produto de todos os números inteiros positivos menores ou iguais a n .
5	Subsequência Máxima de Soma Positiva	Escreva um programa que encontre a subsequência contígua de uma lista de números inteiros que tenha a maior soma possível. Se a lista contiver apenas números negativos, o programa deve retornar o maior número negativo.
6	Alarme Despertador	Daniela, enfermeira em um grande hospital com horários irregulares, tem sono pesado e dificuldade em acordar com despertadores comuns. Recentemente, ganhou um relógio digital com múltiplos tons de alarme, na esperança de melhorar sua rotina. Por estar sempre cansada, leva o relógio consigo e programa o alarme para qualquer momento que consiga descansar. Contudo, a ansiedade para dormir a impede de relaxar. Uma de suas maiores preocupações é calcular quantos minutos teria de sono se adormecesse imediatamente até o toque do alarme. Por não ser boa com números, Daniela pediu ajuda para criar um programa que resolva esse problema, calculando o tempo de sono com base na hora atual e no horário do alarme.
7	Dama	No xadrez, a dama pode se mover em linha reta pela mesma linha, coluna ou diagonal. O grande mestre Kary Gasparov propôs um problema: dado um tabuleiro vazio e a posição inicial e final de uma dama, determinar o número mínimo de movimentos necessários para que ela chegue ao destino. Incapaz de resolver todos os casos, Kary pediu sua ajuda para criar um programa que solucione o problema.

Tabela 1 – Desafios de Lógica de Programação

- **Tipo de Display:** LCD (*single panel*)
- **Resolução:** 2064 x 2208 pixels por olho

- **Taxa de Atualização:** 120 Hz (compatível com atualização dinâmica em alguns aplicativos)
- **Campo de Visão:** Aproximadamente 110 graus
- **Dimensões e Peso**
 - **Peso:** Aproximadamente 515 gramas

4.2.2 Notebook

O notebook utilizado é um *Lenovo Ideapad 310* com as seguintes configurações:

- **Processador**
 - **Chipset:** Intel Core i5-6200U (6ª geração)
 - **CPU:** Dual-core, com frequência base de 2,3 GHz e turbo até 2,8 GHz
 - **GPU:** NVIDIA GeForce 920M 2GB
- **Memória**
 - **RAM:** 8 GB DDR4
- **Display**
 - **Tipo de Display:** LCD
 - **Resolução:** 1366 x 768 pixels (HD)
 - **Tamanho:** 15,6 polegadas
- **Armazenamento**
 - **HDD:** HD 1 TB e SSD 240 GB
- **Dimensões e Peso**
 - **Peso:** Aproximadamente 2,2 kg

4.2.3 Aplicativo Immersed

O *Immersed*⁵ é um software desenvolvido para criar ambientes de trabalho virtuais por meio de dispositivos de Realidade Virtual e Realidade Aumentada (RA). Ele permite que os usuários acessem seus computadores e dispositivos móveis em um espaço tridimensional, onde é possível configurar múltiplas telas virtuais, sem a necessidade de monitores físicos. Essa tecnologia busca proporcionar maior flexibilidade no uso do espaço de trabalho e facilitar atividades que exigem multitarefa.

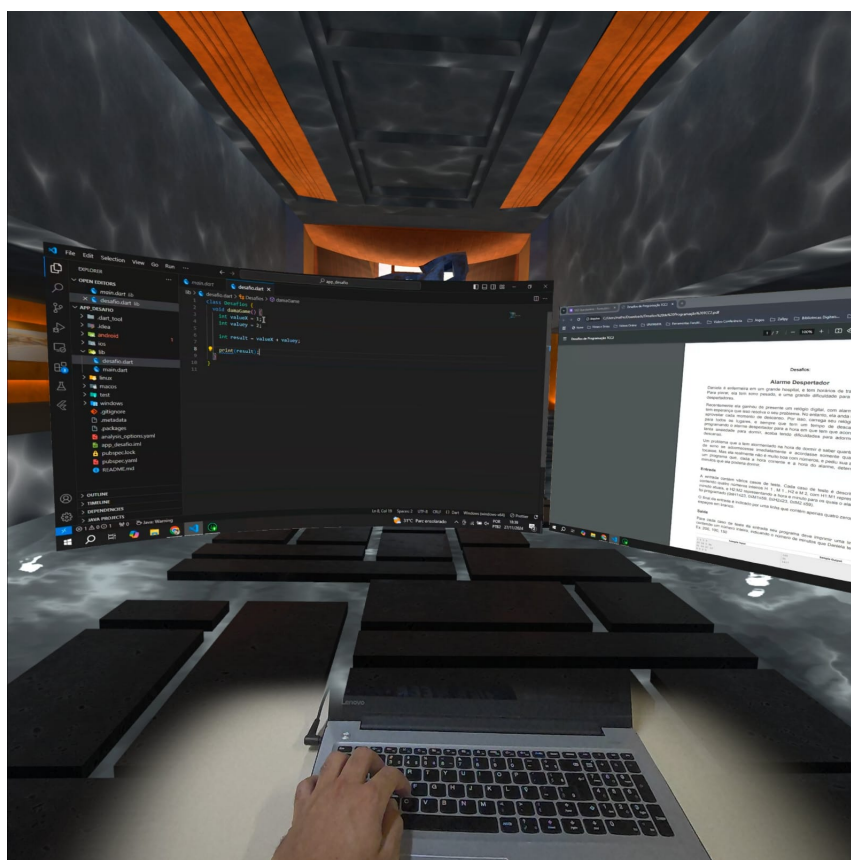
⁵ <https://immersed.com/>

Além disso, o *Immersed* oferece suporte a interações colaborativas em tempo real, permitindo que usuários compartilhem o mesmo ambiente virtual, independentemente de sua localização física. A ferramenta é compatível com diferentes sistemas operacionais e dispositivos de RV/RA. Sua aplicação é relevante em contextos que exigem trabalho remoto, estudo ou simulação de ambientes colaborativos, contribuindo para a integração de equipes e o aprimoramento da experiência de imersão em tarefas profissionais e educacionais.

Além disso, o software também oferece a possibilidade de personalizar o ambiente virtual e ajustar a qualidade de transmissão para otimizar a experiência conforme a capacidade da rede e do hardware.

Capturas de tela mostrando a visão dos monitores virtuais e do recorte do teclado e *touchpad* podem ser encontradas nas Figuras 5 e 6.

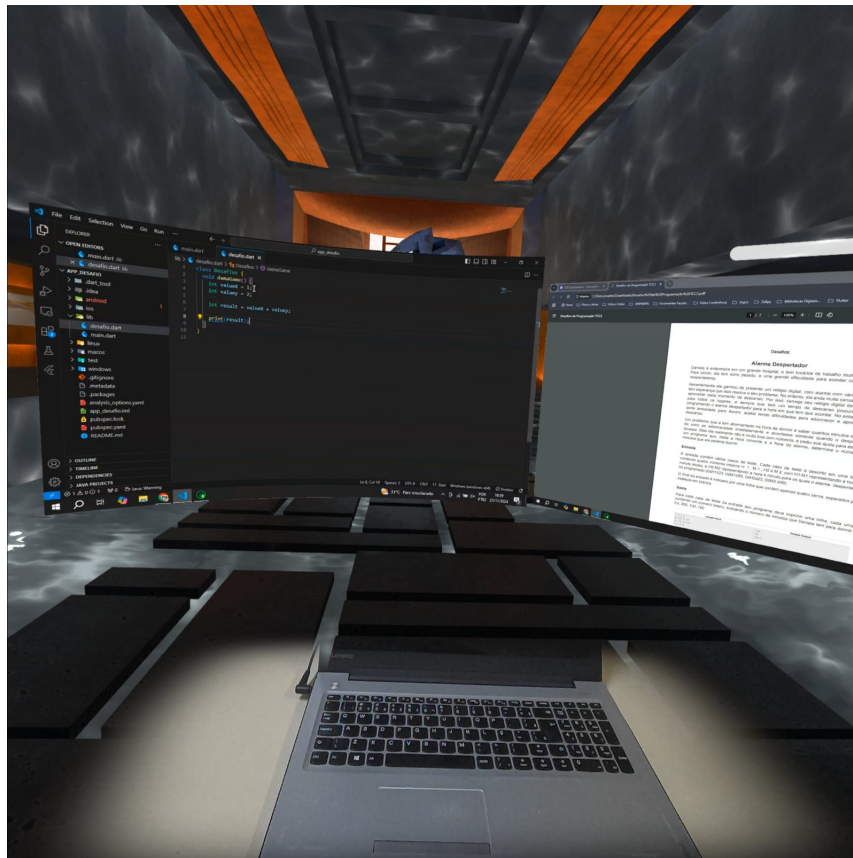
Figura 5 – Monitores virtuais (visão do participante)



Fonte: o autor

4.3 Organização do TCC 2

A organização do TCC 2 se deu desde a organização do grupo de voluntários, até a defesa do TCC 2. Cada etapa da organização é discutida a seguir.

Figura 6 – Recorte do teclado e do *touchpad* físicos (visão do participante)

Fonte: o autor

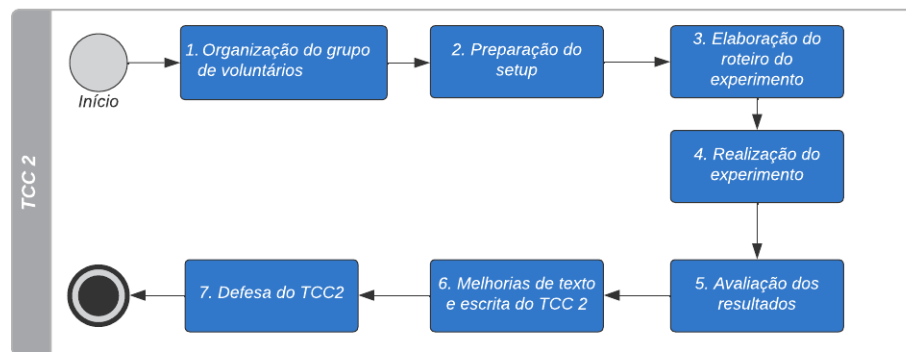
4.3.1 Organização do Grupo de Voluntários

A organização do grupo de voluntário se deu primeiramente via convite de conhecidos pelo aplicativo de mensagem *Whatsapp* e pela identificação de estudantes interessados em participar da pesquisa por contato direto. Após isso, foi enviada uma prévia do questionário de triagem para os interessados para agilizar a identificação de interessados com potenciais restrições no uso de RV.

4.3.2 Preparação do *Setup*

Um teste piloto do *software* e do *hardware* anteriormente mencionados permitiu refinamentos no protocolo experimental, como definir a quantidade de telas em RV, escolher as ferramentas necessárias para a resolução dos desafios propostos nessa pesquisa e estabelecer uma estratégia de carregamento do dispositivo Meta Quest 3 durante o experimento cuja duração extrapola a duração da bateria.

Figura 7 – Organização do TCC 2



Fonte: o autor

4.3.3 Elaboração do Roteiro do Experimento

O roteiro seguido nas sessões experimentais inclui o preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, do questionário de triagem e do questionário de perfil, a apresentação do *setup*, a descrição das atividades realizadas e a explicação das avaliações feitas ao longo do experimento.

4.3.4 Realização do Experimento

Uma sessão experimental foi agendada com cada participante conforme sua disponibilidade em uma sala de reuniões climatizada no campus Alegrete da Universidade Federal do Pampa ou em um ambiente controlado equivalente. Ao todo, mais de 18 horas foram dedicadas à condução das sessões experimentais.

Os dados da FMS e do SSQ foram registrados por meio de formulários no Google Drive⁶ apresentados dentro do ambiente em Realidade Virtual dos participantes, ou seja, os participantes não precisaram tirar os óculos Meta Quest em nenhum momento durante o experimento para realizar as avaliações. Foi disponibilizado água, Bis e biscoito de água e sal caso quisessem consumir durante o tempo do experimento. Os que fizeram algum consumo durante o experimento (líquido ou sólido), nenhum precisou tirar o óculos para realizar a atividade. Também, apenas 3 candidatos (dentre os 4 que completaram as 3 horas do experimento) fizeram ao menos 1 pausa para irem ao banheiro, onde o tempo foi pausado para não interferir no tempo total de exposição da RV.

O orientador desse TCC acompanhou a primeira sessão experimental para garantir o cumprimento do roteiro e identificar pontos de melhoria na interação do estudante e dos participantes.

⁶ <<https://drive.google.com/>>

4.3.5 Avaliação dos Resultados

Após a realização do experimento com todos os voluntários, os dados foram compilados e avaliados conforme os detalhes apresentados no Capítulo 5.

A análise de dados envolve a taxa de desistência do experimento, a evolução dos sintomas de *cybersickness* ao longo do tempo e a correlação entre os *scores* do SSQ e da FMS. Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas do Google Drive e o coeficiente de correlação foi calculado na linguagem de programação R (versão 4.0.3).

4.3.6 Melhorias do texto e escrita do TCC 2

Após a análise dos resultados, foi realizado a revisão de todo o texto para aplicar melhorias e ajustes apontados no TCC 1.

4.3.7 Defesa do TCC 2

Após a finalização de todos os itens anteriores, a defesa do TCC 2 será realizada para apresentação dos resultados obtidos e de *insights* relevantes para o tema.

5 Resultados

Esse capítulo apresenta nas seções a seguir os resultados obtidos durante a execução desse trabalho.

5.1 Perfil dos Participantes

A Tabela 2 sintetiza as informações sobre o perfil dos voluntários que participaram do experimento.

Tabela 2 – Resumo das características dos participantes do experimento

Característica	Detalhes
Número de participantes	7
Formação acadêmica	
Ensino Superior Incompleto	5
Ensino Superior Completo	2
Gênero	
Feminino	1
Masculino	6
Faixa etária	de 18 a 30 anos
Problemas de visão	
Sem problemas	4
Miopia e/ou astigmatismo	3
Uso diário de dispositivos digitais	Todos
Familiaridade com RV imersiva	
Experiência prévia	5
Primeira vez	2
Frequência de uso de RV (n=5)	
Apenas uma vez	3
Muito raramente (menos de 1x/mês)	1
Ocasionalmente (algumas vezes/mês)	1

Dos sete participantes, cinco são estudantes e dois são graduados em cursos da área de Computação, indicando que o público-alvo tem formação adequada para realizarem as atividades propostas. A diversidade de gênero é limitada, com apenas uma mulher participando. A idade média é 21 anos, sugerindo um grupo jovem e alinhado ao perfil típico de estudantes universitários ou recém-formados.

Em termos de acuidade visual, a maioria dos participantes (4) não possui problemas, mas uma parcela significativa (3) relatou condições como miopia e astigmatismo. Nestes casos, os participantes utilizaram seus óculos pessoais durante o experimento. Esse é um fator relevante em usos de Realidade Virtual (RV), dado que problemas de visão podem ocasionar sintomas visuais negativos não relacionados com *cybersickness*.

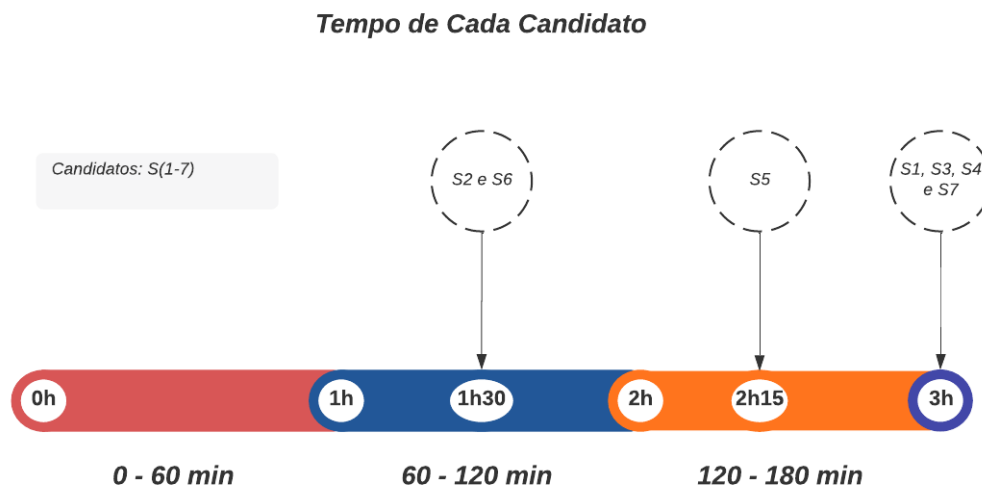
Todos os participantes relataram uso diário de dispositivos digitais, indicando familiaridade com tecnologia. Embora todos tivessem conhecimento prévio sobre RV,

apenas cinco já haviam experimentado RV imersiva e a frequência de uso variou significativamente. Três dos participantes usaram RV apenas uma vez, um raramente, e um ocasionalmente. Isso sugere que o efeito de novidade tecnológica pode influenciar a experiência e percepção dos participantes no experimento.

5.2 Medições e desistências de participantes

Como mencionado anteriormente, o experimento teve duração máxima de 3 horas, durante as quais os candidatos tinham total liberdade para desistir a qualquer momento e sem qualquer penalidade. Como podemos observar na Figura 8, os candidatos S1, S3, S4 e S7 conseguiram completar as 3 horas do experimento. O candidato S5 completou 2 horas e 15 minutos e os candidatos S2 e S6 completaram 1 hora e 30 minutos de experimento. Com isso, após a aplicação do SSQ e da FMS a cada 15 minutos, obtivemos um total de 69 medições.

Figura 8 – Duração do experimento para cada participante (de S1 a S7)



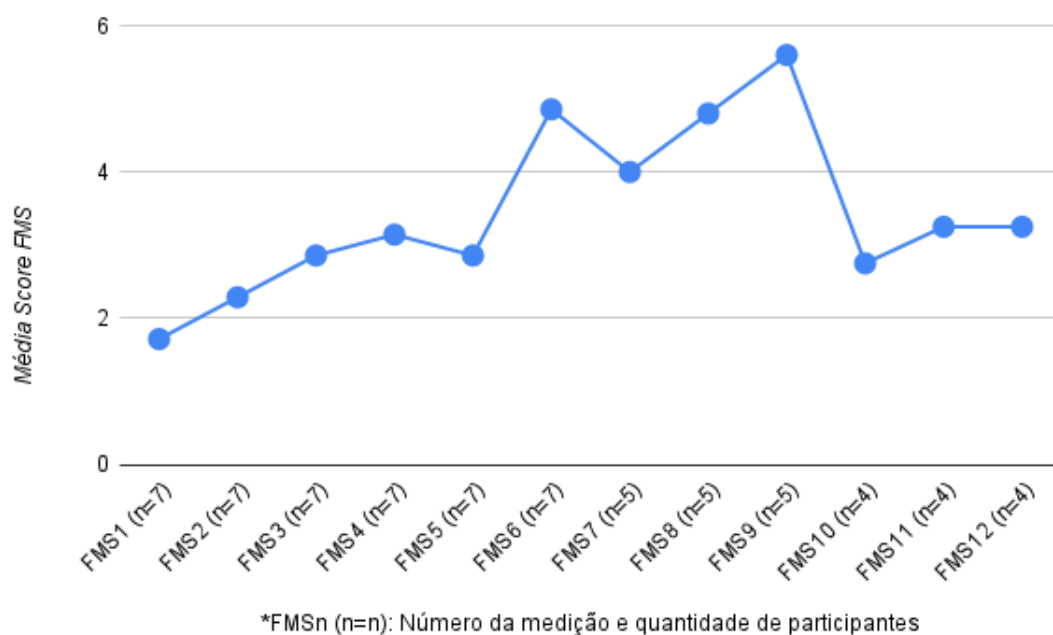
Fonte: o autor

5.3 Resultados da aplicação da FMS

As aplicações da FMS, como mencionado anteriormente, consistiram em uma escala numérica de 0 a 20, sendo os dois extremos “nenhum mal-estar” (valor zero) e “mal-estar real” (valor vinte). Dessa forma, como podemos analisar na Figura 9, o *score* médio da FMS (eixo X) em cada momento de medição (eixo Y) indica que o mal-estar em RV imersiva aumenta substancialmente a partir da segunda hora de utilização (FMS6, FMS7,

FMS8 e FMS9). Também, podemos notar que os sintomas tendem a ser menores na última hora de uso, sugerindo a adaptação dos indivíduos menos suscetíveis a *cybersickness* que completaram as 3 horas de experimento.

Figura 9 – Média de resultados do FMS



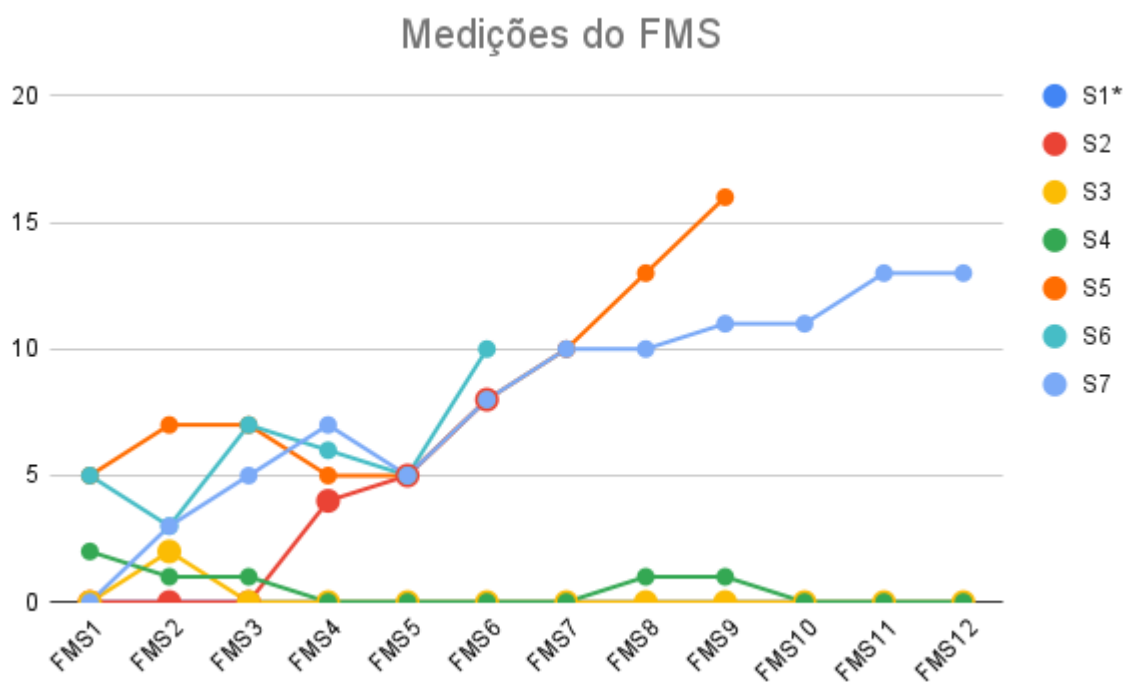
Fonte: o autor

A Figura 10 apresenta os resultados das medições individuais da FMS para os sete participantes (S1 a S7) ao longo dos 12 momentos de avaliação. Nesse caso, o eixo Y representa os *scores* individuais para a intensidade dos sintomas de mal-estar com variação de 0 a 20. É importante destacar que nem todos os participantes completaram as 12 medições: os participantes S2 e S6 realizaram 6 medições e o participante S5 teve 9 medições.

O participante S1, marcado com um asterisco, apresentou *score* constante em todas as medições realizadas, registrando valor zero em todas elas. Isso indica completa ausência de mal-estar ao longo de todo o experimento, possivelmente devido à alta resistência individual ou à adaptação natural desde o início. Para os participantes S3 e S4 segue um padrão similar, onde as medições seguem próximas a 0, apenas na segunda medição onde houve um leve aumento para o S3 e nas medições 8 e 9 para o S4.

Por outro lado, o participante S2 demonstrou um padrão inicial de valores igual a 0, com estabilização até a medição 3. No entanto, um pico de sintomas a partir da medição 3, onde se manteve o aumento até a medição 9, onde o candidato decidiu interromper a sua participação, pois estava com medições maiores que 15. Portanto, neste caso

Figura 10 – Resultados da FMS



Fonte: o autor

podemos inferir que o candidato faz parte dos candidatos mais suscetíveis aos sintomas de *cybersickness*.

Um padrão semelhante ao S2 ocorreu com os participantes S5 e S6, onde apresentaram medições altas durante as avaliações. No caso do S5, desde as primeiras 4 avaliações, foram identificados valores maiores ou igual a 5. No entanto, a partir da medição 5 (1h e 15 min), assim como o S2 e S7, houve um aumento expressivo no resultado das avaliações, sugerindo um padrão entre essas avaliações com estes participantes.

Para o participante S6, fazendo parte dos 4 participantes com maiores valores (S2, S5, S6 e S7), observa-se os valores iniciais com maior variabilidade, onde houve valores maiores e menores que 5. Após a avaliação 5, houve um pico mais elevado que os demais, onde chegou a 10 e o participante decidiu interromper o experimento.

Por fim, o participante S7 exibiu um aumento progressivo, assim como os valores de S2, S5, e S6. Os *scores* relatados cresceram de forma consistente ao longo das medições (com uma pequena queda na medição 5), alcançando o *score* 13 nas avaliações finais. Esse comportamento reforça o padrão de intensificação de mal-estar observado em outros participantes, contudo sugere também um indivíduo com tolerância a continuar realizando atividades em RV imersiva mesmo na presença de *cybersickness* substancial.

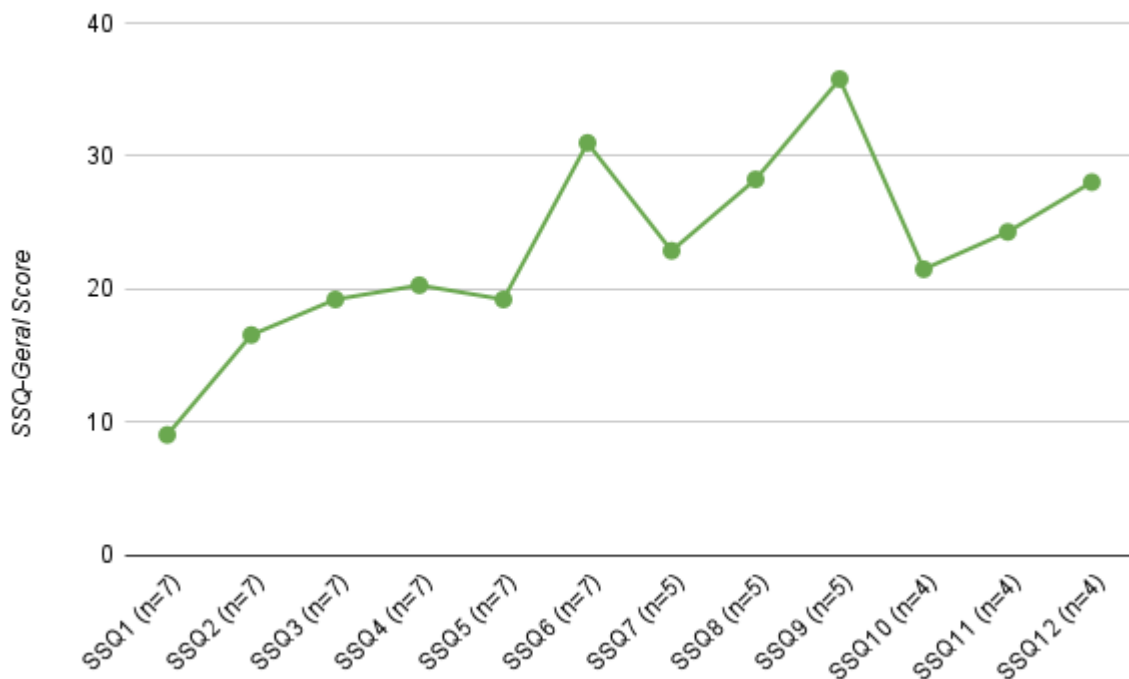
De forma geral, os resultados sugerem a presença de três perfis de usuário em exposições de longa duração, onde serão chamados de Imparáveis (S1, S3 e S4), Sobreviventes

(S5 e S7) e Canhões de Vidro (S2 e S6): Imparáveis são os resistentes a *cybersickness* que mantêm consistentemente *score* próximo de zero todo o tempo; os Sobreviventes são as pessoas que desenvolvem mal-estar crescente ao longo do tempo, mas que ainda assim são resilientes para manterem suas atividades; os Canhões de Vidro são pessoas que desenvolvem mal-estar crescente e insustentável dentro das primeiras duas horas de uso, abandonando as atividades em RV imersiva.

5.4 Resultados da aplicação do SSQ

A Figura 11 apresenta o *score* geral médio do SSQ (eixo X) em cada momento de medição (eixo Y) indica que os sintomas de *cybersickness* aumentam substancialmente a partir da segunda hora de utilização (SSQ6, SSQ8 e SSQ9). Diferente do *score* médio de mal-estar da FMS, os *scores* médios do SSQ não reduziram significativamente na última hora de uso (SSQ10, SSQ11 e SSQ12) para valores similares àqueles do final da primeira hora (SSQ2, SSQ3 e SSQ4).

Figura 11 – Média do *score* geral do SSQ

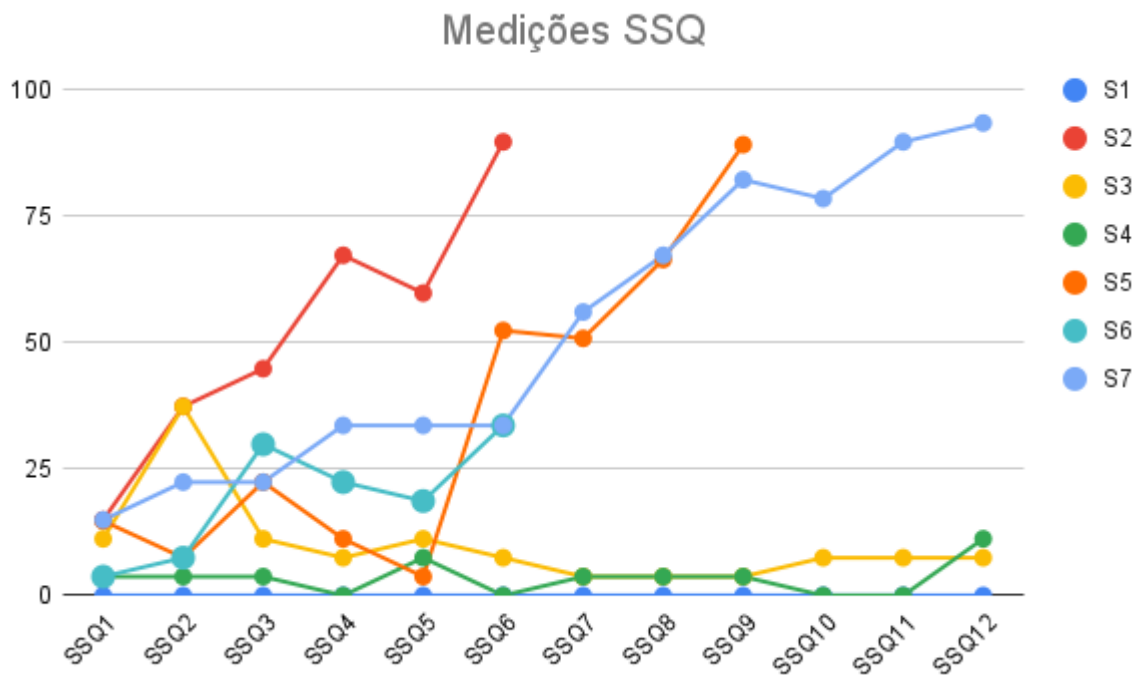


Fonte: o autor

Embora o *score* geral do SSQ varie de 0 a 235.62, a pontuação geral média dos participantes se manteve abaixo de 40 pontos em todas as medidas. Apesar do SSQ frequentemente classificar os resultados no contexto de simuladores como sem sintomas (*score* = 0), sintomas insignificantes ($0 < \textit{score} < 5$), sintomas mínimos ($5 \leq \textit{score} < 10$),

sintomas significativos ($10 \leq score < 15$), sintomas preocupantes ($15 \leq score < 20$) e um simulador ruim ($score > 20$), Stanney, Kennedy e Drexler (1997) mencionam que a sintomatologia média experimentada pelos usuários em ambientes virtuais imersivos é aproximadamente três vezes maior do que a de simuladores de voo devido, principalmente, ao perfil mais geral de usuários. Com isso, os *scores* gerais do SSQ passam a ser maiores quando aplicados para quantificar os efeitos de *cybersickness* na população em geral. Nosso experimento corrobora essa informação em dois casos de desistência quando os *scores* gerais de SSQ atingiram valores de 89.76 (S2) e 134.64 (S5), sendo que esses valores representam um dispositivo e/ou um ambiente virtual com problemas que promovem maior *cybersickness*.

Figura 12 – Resultado do SSQ



Fonte: o autor

Também, com as medições do SSQ por participante mostradas na Figura 12, podemos analisar um padrão semelhante ao do FSM apresentado na Figura 10.

Primeiramente, os participantes S1, S3 e S4 que fazem parte do grupo dos Imparáveis (pessoas resistentes a *cybersickness*), apresentaram baixos níveis de severidade dos sintomas ao longo de todas as medições e chegaram ao final do experimento com consistência nos *scores* baixos, indicando uma baixa suscetibilidade e boa adaptação aos uso de ambientes imersivos.

Em seguida, temos os participantes que fazem parte dos Sobreviventes (pessoas que desenvolvem mal-estar, mas resilientes contra os sintomas) S5 e S7, que experimentaram

níveis mais elevados de sintomas de *cybersickness*, com picos notáveis entre as medições 5 e 12. Apesar disso, demonstraram resiliência ao permanecerem no experimento por períodos prolongados. O participante S5 encerrou sua participação na medição 9, enquanto S7 concluiu todas as etapas, sugerindo uma alta resistência frente aos níveis crescentes dos sintomas.

Por fim, identificamos os participantes o perfil dos Canhões de Vidro (pessoas que são mais suscetíveis e pouco resistentes aos sintomas), S2 e S6, que interromperam precocemente o experimento. Embora S6 não tenha atingido níveis críticos (com severidade abaixo de 50 ao longo de sua participação), ambos apresentaram desconforto suficiente para desistir na metade do experimento. Esse comportamento indica maior sensibilidade aos efeitos negativos da RV, mesmo sem atingir picos elevados de sintomas.

Portanto, os gráficos sugerem que os sintomas relacionados ao SSQ apresentam variações significativas ao longo do tempo, alternando entre picos e reduções, possivelmente em resposta à dinâmica de exposição, recuperação de alguns participantes ao longo do experimento e da desistência dos mais suscetíveis ao *cybersickness*. Outro aspecto importante observado, considerando as medidas de Stanney, Kennedy e Drexler (1997), a média global do SSQ no experimento pode ser classificada com severidade significativa (23.016 (DP = 6.809)). O que indica que mesmo para atividades simples, como atividades de programação nas quais os participantes ficam parados e os cenários não variaram consideravelmente em modo imersivo, há limitações na adoção do sistema por longos períodos de tempo.

5.4.1 Resultados das subescalas do SSQ

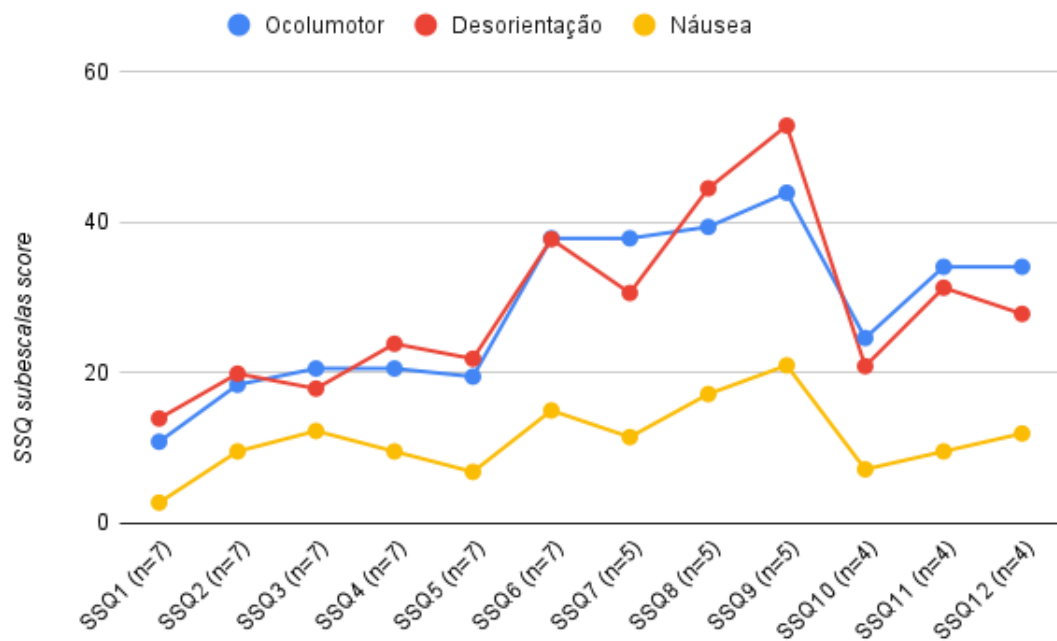
A Figura 13 ilustra as médias das subescalas do SSQ: Oculomotor (O), Desorientação (D) e Náusea (N).

A subescala Desorientação (D), indicada pela linha vermelha, apresenta os valores mais elevados e instáveis entre as três subescalas, com picos pronunciados na 6^a e 8^a medições. A subescala Náusea (N), indicada pela linha amarela, apresenta os valores mais estáveis e baixos ao longo de todo o experimento, indicando que sintomas relacionados a enjoo foram menos pronunciados no geral.

Observa-se também que o *scores* médio da subescalas Desorientação (D) sofre a maior queda quando participantes desistiram do experimento entre as medições 7 e 9. Isso sugere que os sintomas relacionados a confusão sensorial têm um papel mais significativo na decisão de interrupção do uso de RV imersiva quando comparados ao estresse visual medido na subescala de Oculomotor (O) e enjoo na subescala de Náusea (N).

De forma geral, as subescalas seguem um padrão crescente ao longo das primeiras avaliações, indicando um acúmulo gradual de sintomas com a exposição contínua ao estímulo. O aumento significativo entre as 6^a e 8^a avaliações reflete um período crítico, enquanto a redução na 10^a avaliação pode sugerir algum nível de recuperação e desistência

Figura 13 – Média das Subescalas do SSQ



Fonte: o autor

dos mais suscetíveis ao mal-estar.

5.5 Correlação entre *scores* da FMS e do SSQ

O coeficiente de correlação r de Pearson foi usado para verificar a existência de uma correlação linear entre os *scores* da FMS e os *scores* do SSQ, incluindo suas subescalas.

O coeficiente r estima o ajuste dos dados a uma relação linear entre eles, podendo variar de -1 (uma perfeita correlação negativa) a 1 (uma perfeita correlação positiva). Valores positivos indicam uma correlação direta (quando uma variável aumenta, a outra tende a aumentar), enquanto valores negativos refletem uma correlação inversa (quando uma variável aumenta, a outra tende a diminuir). Valores de r próximos de 0 indicam que não há uma relação linear entre as variáveis.

O coeficiente de correlação r pode ser obtido através da seguinte equação (COSTA, 2012):

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

A função `cor.test` na linguagem de programação R foi utilizada para calcular o coeficiente r de Pearson e verificar sua significância estatística (SCHMULLE, 2019). Os coeficientes obtidos, seus valores-p e os intervalos de confiança (IC) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Correlação de Pearson entre a FMS e o SSQ

Scores comparados	Coefficiente r	p-value	Intervalo de Confiança
FMS - SSQ geral	.857	< .001	95% IC [.777, .909]
FMS - SSQ Oculomotor	.863	< .001	95% IC [.788, .913]
FMS - SSQ Desorientação	.766	< .001	95% IC [.647, .849]
FMS - SSQ Náusea	.761	< .001	95% IC [.640, .846]

Considerando que coeficientes r superiores a .6 representam correlações fortes sobre as quais podemos inferir conclusões (COSTA, 2012), a alta correlação positiva entre os *scores* da FMS e do SSQ reflete a validade convergente entre as medidas. Isso indica que ambas são capazes de estimar de forma muito similar o mal-estar geral relacionado a *cybersickness* em ambientes de RV imersiva, podendo ser usadas de forma intercambiável conforme a necessidade de uma avaliação rápida (FMS) ou de uma avaliação que possa ser detalhada em categorias de sintomas (SSQ).

O coeficiente r de .863 entre a FMS e a subescala Oculomotor do SSQ é o mais alto dentre as medidas analisadas, indicando uma relação muito forte entre os *scores*. Isso sugere que os sintomas relacionados ao estresse visual têm maior associação com o mal-estar geral reportado por meio da FMS, indicando também que o uso da subescala Oculomotor pode ser mais adequada no contexto de RV imersiva do que o uso do SSQ como um todo. Essa relação pode ser explicada pela predominância de estímulos visuais em experiências imersivas. Os coeficientes menores entre FMS e SSQ-Desorientação e entre FMS e SSQ-Náusea indicam que essas subescalas podem ter um papel menor na avaliação de *cybersickness*.

Dessa forma, os elevados coeficientes de correlação apontam que a FMS é uma medida equivalente ao SSQ (tanto no *score* geral quanto nos *scores* de subescalas) para estimar a intensidade de *cybersickness* em ambientes imersivos de RV. Além disso, a correlação mais elevada com a subescala Oculomotor do SSQ sugere que o FMS pode ter uma confiabilidade muito próxima para mapear os sintomas dessa categoria, assim como o SSQ.

5.6 Relação dos Resultados com a Experiência do Usuário

Os resultados reforçam *insights* importantes para o campo da experiência do usuário (UX), especialmente no contexto de Realidade Virtual (RV) imersiva. Após a análise dos *scores* obtidos pela FMS e pelo SSQ, sugere-se que os sintomas de *cybersickness* têm um impacto direto na experiência do usuário durante exposições prolongadas. Como evidenciado nos resultados, as variações nos sintomas ao longo do tempo indicam que alguns usuários podem apresentar resiliência a *cybersickness*, mas outros, com um mal-estar crescente afetando negativamente a experiência, são obrigados a interromper o experimento após picos de mal-estar.

Mesmo que as tarefas escolhidas não tenham envolvido movimentação do usuário por meio de teletransporte ou deslocamento de câmera (mecânicas que aumentam significativamente efeitos de *cybersickness*), a taxa de abandono do experimento devido ao mal-estar foi significativa. Com isso, atividades relacionadas a educação e treinamento podem ser limitadas dado que longos períodos de uso podem ser necessários nessas áreas. A falta de conforto pode levar a uma maior rotatividade de usuários e à limitação de usuários recorrentes, impactando diretamente a sustentabilidade das plataformas e aplicativos imersivos.

5.7 Ameaças à Validade do Estudo

O estudo realizado apresenta algumas limitações que podem comprometer sua validade interna e externa, sendo importante considerá-las para uma interpretação adequada dos resultados e para a condução de futuros estudos. A seguir, são destacadas algumas das principais ameaças à validade do estudo:

- **Tamanho da Amostra:** A amostra do estudo foi composta por apenas sete participantes, o que representa uma limitação significativa em termos de generalização dos resultados. O número reduzido de participantes pode levar a uma falta de representatividade, especialmente considerando a diversidade de indivíduos e suas respostas variáveis ao *cybersickness*. A falta de diversidade na amostra, incluindo a possibilidade da identificação de mais perfis de participantes, também pode limitar a análise de aspectos importantes que devem ser considerados em uma exposição de longa duração;
- **Equipamentos e Recursos Limitados:** A limitação de equipamentos disponíveis para o estudo restringiu a possibilidade de realizar o experimento com mais de um participante simultaneamente, o que diminuiria o tempo necessário para realizar o experimento e permitiria a coleta de dados com uma amostra maior e mais diversificada. Também, durante uma etapa piloto do experimento, foi observado que a bateria do Meta Quest 3 seria insuficiente para a realização do experimento. Com isso, foi necessário a utilização de um cabo de carregamento de longa extensão para que o dispositivo estivesse carregando durante todo o experimento sem interferir na experiência dos participantes;
- **Sessões experimentais de três horas:** Considerando o perfil geral dos participantes (estudantes), não seria viável conduzir experimentos com duração superior a três horas devido às atividades na universidade. Considerando trabalhos relacionados que usaram sessões de oito horas de duração, os sintomas de *cybersickness* podem apresentar comportamentos diferentes a partir da terceira hora de experi-

mento ou mesmo os perfis de participantes podem apresentar diferenças ao longo de um tempo maior.

- **Falta de Controle de Variáveis Externas:** Embora o experimento tenha utilizado questionários e medidas subjetivas, variáveis externas, como a exata condição de saúde dos participantes ou a suscetibilidade à cinetose, não foram mapeadas. Tais fatores podem ter influenciado os resultados e estudos futuros devem monitorar mais condições para mitigar o efeito de variáveis ocultas.

A despeito das limitações indicadas, essa pesquisa apresentou tendências interessantes para a realização de investigações futuras e estabeleceu um protocolo viável para a realização de experimentos que envolvam uso de RV por longos períodos de tempo.

6 Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo medir e entender como os sintomas de *cybersickness* afetam os usuários de Realidade Virtual imersiva ao longo de uma exposição prolongada. Para isso, foram identificados os principais questionários para avaliar os sintomas e entender a evolução desses sintomas ao longo do experimento. Esse tema é relevante, dado o crescimento da RV imersiva em áreas como entretenimento, educação e simulação, onde o tempo de exposição é muitas vezes prolongado e limitado pelos efeitos adversos experimentados pelos usuários.

Para isso, foi conduzido um experimento com medições regulares de sintomas utilizando os instrumentos FMS (*Fast Motion Sickness Scale*) e SSQ (*Simulator Sickness Questionnaire*), abrangendo 12 avaliações ao longo de 3 horas. Cada avaliação foi realizada em intervalos de 15 minutos para capturar as variações nos sintomas ao longo do tempo. Além da pontuação geral do SSQ, foram analisadas separadamente suas subescalas: Oculomotor, Desorientação e Náusea. O experimento envolveu um total de 7 participantes, dos quais 3 interromperam a participação antes do final, o que limitou a coleta de dados.

Os resultados revelaram uma correlação forte entre os *scores* da FMS e do SSQ (.857), bem como entre a FMS e as subescalas do SSQ. A correlação entre a FMS e a subescala SSQ Oculomotor (.863) também se destacou, indicando que sintomas visuais são predominantes em experiências imersivas prolongadas. As análises da variação dos *scores* por participante sugeriram um padrão de aumento dos sintomas ao longo do tempo, com picos altos após 2 horas de experimento, seguidos por uma redução na 10ª avaliação, possivelmente relacionada a processos de habituação. Também, os resultados sugerem a presença de três perfis de usuário em exposições de longa duração: (Imparáveis) pessoas com baixa suscetibilidade a *cybersickness*; (Sobreviventes) pessoas mais suscetíveis a *cybersickness*, mas apresentando forte resistência e (Canhões de Vidro) pessoas com alta suscetibilidade a *cybersickness* e baixa resistência dentro das primeiras duas horas de uso, não chegando ao final do experimento.

Como contribuição, foi constatada a importância de compreender os efeitos adversos do uso prolongado de RV, especialmente no contexto da Experiência do Usuário (UX) que é um fator importante dentro do desenvolvimento de um software e sua utilização. Os resultados destacam a necessidade de mitigar sintomas oculomotores que parecem ser os mais intensos ao final de uma exposição prolongada. Com isso, os dados podem sugerir a necessidade de considerar ajustes nos parâmetros visuais como uma possível estratégia para mitigar os sintomas de *cybersickness*. Tais ajustes poderiam, em teoria, contribuir para melhorar a experiência imersiva, além de oferecer potenciais benefícios para a expansão da aplicabilidade da RV em áreas como educação, treinamento e terapia por exemplo.

O estudo enfrentou algumas limitações que devem ser consideradas. A baixa quan-

tidade de participantes, devido ao tempo disponível, comprometeu a generalização dos resultados. Ainda, a taxa de desistência significativa reduziu ainda mais o tamanho da amostra ao longo do experimento. Por fim, para a realização do experimento, houve uma limitação da quantidade de equipamentos para conseguir ter mais participantes e reduzir o tempo total do experimento, podendo ser feito com mais de 1 pessoa por vez.

Com isso, baseado nas limitações observadas neste estudo, trabalhos futuros podem explorar algumas direções importantes. Primeiramente, ampliar o tamanho e a diversidade da amostra, incluindo participantes com diferentes níveis de experiência em RV, permitiria uma melhor generalização dos resultados. Além disso, incorporar uma maior variedade de cenários e estímulos virtuais, especialmente aqueles com características tridimensionais e dinâmicas mais complexas, poderia ajudar a compreender como diferentes tipos de conteúdo impactam os sintomas de *cybersickness*. Estudos futuros também podem investigar estratégias de mitigação, como pausas regulares ou alterações nos parâmetros visuais, e avaliar sua eficácia em reduzir os sintomas ao longo de exposições prolongadas. Por fim, a inclusão de medidas fisiológicas, como variabilidade da frequência cardíaca e rastreamento ocular, pode complementar as medidas subjetivas e fornecer uma compreensão mais profunda dos mecanismos subjacentes a *cybersickness* em ambientes imersivos.

Referências

- BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2003. Citado na página 16.
- CARVALHO, M. R. d.; COSTA, R. T. d.; NARDI, A. E. Simulator sickness questionnaire: tradução e adaptação transcultural. **Jornal Brasileiro de Psiquiatria**, Instituto de Psiquiatria da Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 60, n. 4, p. 247–252, 2011. ISSN 0047-2085. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0047-20852011000400003>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 32.
- CONNER, N. et al. Virtual reality induced symptoms and effects: Concerns, causes, assessment & mitigation. **Virtual Worlds**, v. 1, p. 130–146, 11 2022. Citado 3 vezes nas páginas 14, 18 e 19.
- COSTA, G. G. de O. **Curso de estatística inferencial e probabilidades: teoria e prática**. São Paulo, SP: Atlas, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.
- DAVIS, S.; NESBITT, K.; NALIVAIKO, E. A systematic review of cybersickness. In: **Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014. (IE2014), p. 1–9. ISBN 9781450327909. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2677758.2677780>>. Citado na página 19.
- GOLDING, J. F. Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. **Brain Research Bulletin**, v. 47, n. 5, p. 507–516, 1998. ISSN 0361-9230. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0361923098000914>>. Citado na página 23.
- GOLDING, J. F.; RAFIQ, A.; KESHAVARZ, B. Predicting individual susceptibility to visually induced motion sickness by questionnaire. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 2, 2021. ISSN 2673-4192. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2021.576871>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- GUO, J. et al. Exploring the differences of visual discomfort caused by long-term immersion between virtual environments and physical environments. In: **2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 443–452. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- GUO, J. et al. Mixed reality office system based on maslow’s hierarchy of needs: Towards the long-term immersion in virtual environments. In: **2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 224–235. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- ISO. **9241-210:2019 – Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems**. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.
- JERALD, J. **The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality**. Williston, VT, USA: ACM Books, Morgan & Claypool, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 21.

- KALAMKAR, V. B. S. et al. Quantifying the effects of working in vr for one week. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 28, p. 3810–3820, 2022. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:249431644>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- KELLOGG, R. S.; KENNEDY, R. S.; GRAYBIEL, A. Motion sickness symptomatology of labyrinthine defective and normal subjects during zero gravity maneuvers. **Aerospace Medicine**, v. 36, p. 315–318, 1965. Citado na página 22.
- KENNEDY, R. S. et al. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. **The International Journal of Aviation Psychology**, v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993. Citado na página 21.
- KESHAVARZ, B.; HECHT, H. Validating an efficient method to quantify motion sickness. **Human Factors**, v. 53, n. 4, p. 415–426, Aug 2011. Citado na página 32.
- KIM, H. K. et al. Virtual reality sickness questionnaire (vrsq): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. **Applied Ergonomics**, v. 69, p. 66–73, 2018. ISSN 0003-6870. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000368701730282X>>. Citado na página 23.
- KIM, Y. M.; RHIU, I.; YUN, M. H. A systematic review of a virtual reality system from the perspective of user experience. **International Journal of Human-Computer Interaction**, Taylor & Francis, v. 36, n. 10, p. 893–910, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- LAVIOLA, J. J. A discussion of cybersickness in virtual environments. **SIGCHI Bull.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 32, n. 1, p. 47–56, jan 2000. ISSN 0736-6906. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/333329.333344>>. Citado 3 vezes nas páginas 14, 20 e 21.
- LEE, S.; KOO, A.; JHUNG, J. Moskit: Motion sickness analysis platform for vr games. In: **2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 17–18. Citado na página 31.
- LOUP, G. et al. Immersion and persistence: Improving learners' engagement in authentic learning situations. In: VERBERT, K.; SHARPLES, M.; KLOBUČAR, T. (Ed.). **Adaptive and Adaptable Learning**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 410–415. ISBN 978-3-319-45153-4. Citado na página 17.
- MASLOW, A. H. A theory of human motivation. **Psychological Review**, American Psychological Association, v. 50, n. 4, p. 370–396, 1943. Citado na página 27.
- MCCAULEY, M. E.; SHARKEY, T. J. Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments. **Presence: Teleoper. Virtual Environ.**, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 1, n. 3, p. 311–318, jan 1992. ISSN 1054-7460. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 21.
- MONEY, K. Motion sickness and evolution. **Motion and space sickness(A 93-55929 24-52)**. Boca Raton, FL, CRC Press, Inc., 1990., p. 1–7, 1990. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 20.

NICHOLS, S.; PATEL, H. Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. **Applied Ergonomics**, v. 33, n. 3, p. 251–271, 2002. Citado na página 19.

NORMAN, D.; NIELSEN, J. **The Definition of User Experience (UX)**. 2006. Accessed: 2024-11-15. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>>. Citado na página 17.

PAPAEFTHYMIOU, S. et al. Mitigating cybersickness in virtual reality: Impact of eye–hand coordination tasks, immersion, and gaming skills. **Virtual Worlds**, v. 3, n. 4, p. 506–535, 2024. ISSN 2813-2084. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2813-2084/3/4/27>>. Citado na página 13.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual Reality: Through the New Looking Glass**. [S.l.]: Intel/McGraw-Hill, 1993. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.

PORCINO, T.; TREVISAN, D.; CLUA, E. A cybersickness review: causes, strategies, and classification methods. **Journal on Interactive Systems**, v. 12, n. 1, p. 269–282, Nov. 2021. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/jis/article/view/2058>>. Citado 4 vezes nas páginas 19, 21, 31 e 32.

PORTER, J.; KOHM, K.; ROBB, A. Lingering effects associated with virtual reality: An analysis based on consumer discussions over time. In: **2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 806–807. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 29.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de Software: uma abordagem profissional**. Porto Alegre, RS: AMGH, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico - 2ª Edição**. Editora Feevale, 2013. ISBN 9788577171583. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=zUDsAQAAQBAJ>>. Citado na página 31.

REASON, J.; BRAND, J. **Motion Sickness**. Academic Press, 1975. ISBN 9780125840507. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=JMxrAAAAMAAJ>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 20 e 23.

REBENITSCH, L.; OWEN, C. Review on cybersickness in applications and visual displays. **Virtual Reality**, v. 20, 06 2016. Citado na página 23.

REGAN, E. C.; PRICE, K. R.; MCCLEAN, J. I. The frequency of occurrence and severity of side-effects of immersion virtual reality. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 67, n. 6, p. 527–535, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 18.

RHEINGOLD, H. **Virtual Reality: Exploring the Brave New Technologies of Artificial Experience and Interactive Worlds from Cyberspace to Teledildonics**. [S.l.]: Simon & Schuster, 1992. Citado na página 16.

RICCIO, G. E.; STOFFREGEN, T. A. An ecological theory of motion sickness and postural instability. **Ecological Psychology**, Routledge, v. 3, n. 3, p. 195–240, 1991. Citado na página 20.

- SCHMULLE, J. **Análise estatística com R para leigos**. Rio de Janeiro, RJ: Alta Books, 2019. Citado na página 49.
- SCHROEDER, R. **Possible Worlds: The Social Dynamic of Virtual Reality Technology**. USA: Westview Press, Inc., 1996. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design**. 1. ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2003. Citado na página 16.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. Pearson Prentice Hall, 2011. ISBN 9788579361081. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=H4u5ygAACAAJ>>. Citado na página 18.
- STANNEY, K. M.; KENNEDY, R. S.; DREXLER, J. M. Cybersickness is not simulator sickness. In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**. [S.l.: s.n.], 1997. v. 41, n. 6, p. 1135–1139. Citado 3 vezes nas páginas 19, 47 e 48.
- TCHA-TOKEY, K. et al. Towards a model of user experience in immersive virtual environments. **International Journal of Human-Computer Studies**, Elsevier, v. 108, p. 66–77, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- ZULKARNAIN, A. H. B. et al. Enhancing consumer sensory science approach through augmented virtuality. **Current Research in Food Sciences**, v. 9, p. 100834, 2024. Citado na página 34.

Apêndices

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do projeto: Realidade Virtual: Uma análise dos impactos do uso prolongado e seus efeitos

Pesquisador responsável: Jean Felipe Patikowski Cheiran (professor no campus Alegrete da UNIPAMPA)

Pesquisador executante: Matheus Montanha Paulon (estudante de Engenharia de Software no campus Alegrete da UNIPAMPA)

Avaliação do risco da pesquisa: Baixo

Você está sendo convidado para participar, como voluntário, de um experimento de uso de Realidade Virtual referente ao trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Software desenvolvido por Matheus Paulon e orientado por Jean Cheiran.

Essa pesquisa tem como objetivo avaliar a ocorrência de sintomas de *cybersickness* (um mal-estar que pode ocorrer em Realidade Virtual muito similar ao mal-estar que pessoas têm em meios de transporte como carros, ônibus, barcos e aviões) ao longo do uso de Realidade Virtual imersiva. Os resultados ajudam a entender a evolução dos sintomas para situações de uso por períodos de exposição maiores (até 3 horas).

Você pode a qualquer momento pedir esclarecimentos sobre a pesquisa, os métodos utilizados e os procedimentos do experimento aos pesquisadores Jean Cheiran (telefone: XX XXXX-XXXX; e-mail: jeancheiran@unipampa.edu.br) e Matheus Paulon (telefone: XX XXXX-XXXX; e-mail: matheuspaulon.aluno@unipampa.edu.br).

Sua participação na pesquisa não é obrigatória, e você também poderá parar de participar a qualquer momento apenas avisando o pesquisador sem sofrer qualquer tipo de penalidade ou prejuízo.

Benefício da pesquisa:

Aumento da compreensão dos sintomas de *cybersickness* em cenários de Realidade Virtual imersiva por longos períodos de exposição (até 3 horas). Esse benefício se caracteriza como benefício indireto aos participantes, visto que permite a elaboração de estratégias de redução de mal-estar por interrupções de uso programadas.

O que você precisará fazer na pesquisa (tempo estimado de três horas e 15 minutos):

1. Ouvir as instruções do pesquisador e preencher um questionário de perfil.
2. Resolver desafios de programação usando óculos de Realidade Virtual imersiva.
3. Preencher diferentes questionários sobre sintomas de mal-estar múltiplas vezes ao longo do tempo.

Riscos que você corre ao participar da pesquisa:

Efeitos adversos¹ conhecidos como *cybersickness* (que são tema dessa pesquisa) podem ocorrer durante ou depois do uso dos óculos de Realidade Virtual. Eles costumam ocorrer em pessoas sensíveis e incluem: fadiga ocular (olhos cansados); contrações musculares e movimentos súbitos dos olhos; movimentos involuntários; visão alterada, turva ou duplicada, ou outras anormalidades visuais; tontura; desorientação; equilíbrio prejudicado; coordenação visomotora prejudicada; suor excessivo; salivação aumentada; náusea; desconforto ou dor na cabeça e nos olhos; sonolência; fadiga; e outros sintomas similares a mal-estar causado por meios de transporte (como enjoo em ônibus,

¹ Efeitos adversos podem ocorrer pela exposição a quaisquer ambientes virtuais, sendo previstos nos manuais de todos os óculos de Realidade Virtual comerciais (<https://www.oculus.com/legal/health-and-safety-warnings>).

carros ou barcos). Esses sintomas são incomuns e temporários, mas podem durar várias horas ou ficar mais intensos com o passar do tempo.

Efeitos adversos mais severos como convulsões e perda de consciência são raros (menos de 0.1% das pessoas) e tendem a ocorrer em pessoas com menos de 20 anos.

Se você sentir algum desses efeitos adversos, você não deve dirigir, operar máquinas pesadas ou realizar outras atividades que exijam esforço visual ou físico até que esteja totalmente recuperado.

Se você sentir efeitos adversos severos ou persistentes depois de participar dessa pesquisa, você deve buscar atendimento médico emergencial do Sistema Único de Saúde (telefone 192) e deve contatar os pesquisadores. Você receberá acompanhamento e assistência dos pesquisadores se for necessário.

Participar dessa pesquisa não gera nenhum custo. Você também não receberá qualquer dinheiro ou ajuda financeira para participar da pesquisa.

Os documentos físicos dessa pesquisa (termos, formulário de triagem, questionário de perfil, respostas dos questionários e anotações do pesquisador) serão armazenados pelo pesquisador Jean Cheiran por um período mínimo de 5 anos. Sua participação e sua identificação serão mantidas em sigilo. As respostas dos questionários serão anônimas em todas as publicações para divulgar os resultados dessa pesquisa.

Você pode contatar os pesquisadores Matheus Paulon e Jean Cheiran a partir de abril de 2025 para receber detalhes sobre os resultados dessa pesquisa.

Depois de ler esse termo e tirar suas dúvidas, se você aceitar participar da pesquisa, assine no final deste documento que tem duas vias: uma via é sua (você deve guardá-la) e a outra ficará com o pesquisador.

Nome do Participante da Pesquisa: _____

Assinatura do Participante da Pesquisa

Assinatura do pesquisador responsável

Local e data

APÊNDICE B – Questionário de Triagem

QUESTIONÁRIO DE TRIAGEM

Título do projeto: Realidade Virtual: Uma análise dos impactos do uso prolongado e seus efeitos

Este questionário tem objetivo de identificar riscos potenciais para o participante.

1. Leia cuidadosamente as perguntas abaixo (você não precisa responder cada uma delas):

- Você está passando por uma gravidez?
- Você está sob efeito de álcool ou de ressaca?
- Você está sob efeito de drogas ou usou drogas nas últimas horas?
- Você está com dor de cabeça ou tem enxaqueca?
- Você está com dor de ouvido ou fazendo tratamento devido a alguma infecção no ouvido?
- Você está doente ou se sentindo doente (como se estivesse com gripe ou resfriado)?
- Você está se sentindo muito cansado ou cansada?
- Você está se sentindo muito estressado ou estressada emocionalmente?
- Você está com muito sono e sente que precisa dormir?
- Você tem transtornos psiquiátricos severos (como estresse pós-traumático)?
- Você tem problemas neurológicos de qualquer natureza (como epilepsia)?
- Você tem problemas cardíacos de qualquer natureza (como arritmia ou insuficiência cardíaca)?
- Você tem problemas médicos sérios de qualquer natureza que impeçam de realizar atividades físicas?

Marque com um "X" uma das linhas a seguir, referente a todas as perguntas do item (1).

_____ A resposta é "sim" para **UMA (OU MAIS)** das perguntas

_____ A resposta é "não" para **TODAS** as perguntas

Caso você tenha marcado [**A resposta é "sim" para UMA (OU MAIS) das perguntas**], infelizmente não é adequado que você participe dessa pesquisa, porque existem riscos para sua saúde. Agradecemos o seu tempo e garantimos que as respostas nesse questionário são sigilosas e não serão tornadas públicas. Desta forma, não é necessário responder o restante do questionário, e você pode devolvê-lo para o pesquisador (não é necessário colocar nome ou assinar).

Caso você tenha marcado [**A resposta é "não" para TODAS as perguntas**], preencha seu nome e assine no espaço abaixo se quiser participar da pesquisa.

Nome do Participante da Pesquisa: _____

Assinatura do Participante da Pesquisa

Local e data _____

APÊNDICE C – Questionário de Perfil

QUESTIONÁRIO DE PERFIL (não especialistas)

Essas perguntas serão usadas para organizar seus dados em nossa pesquisa e para caracterizar nossa amostra de participantes, mas NÃO serão vinculadas ao seu nome em nenhum momento.

1. Qual é sua idade?

2. Qual é seu gênero?

- Feminino
- Masculino
- Outro: _____
- Prefiro não responder

3. Qual é sua escolaridade mais alta?

- Não frequentei a escola
- Ensino fundamental incompleto
- Ensino fundamental completo
- Ensino médio incompleto
- Ensino médio completo
- Ensino superior incompleto
- Ensino superior completo
- Especialização / MBA completo
- Mestrado completo
- Doutorado completo

4. Descreva em linhas gerais sua principal ocupação atualmente. (por exemplo, você pode dizer que é estudante de uma escola ou um curso específico, ou dizer no que trabalha atualmente, ou dizer que cuida da casa, ou mesmo dizer que está sem uma ocupação)

5. Você possui problemas de visão?

- Não
- Sim

6. Se você respondeu “sim” na pergunta anterior (5), descreva os problemas que tem.

7. Você usa tecnologias digitais diariamente? (por exemplo, são tecnologias digitais os celulares, os tablets, os computadores, as televisões inteligentes etc.)

Não

Sim

8. Você já ouviu falar de Realidade Virtual?

(se você não tiver certeza, você pode perguntar ao pesquisador o que é Realidade Virtual)

Não

Sim

9. Você já ouviu falar de Realidade Virtual imersiva?

(se você não tiver certeza, você pode perguntar ao pesquisador o que é Realidade Virtual imersiva)

Não

Sim

10. Você já teve alguma experiência com Realidade Virtual imersiva ou usou algum equipamento de Realidade Virtual imersiva? (por exemplo, participou de reuniões ou eventos em mundos virtuais usando óculos de Realidade Virtual, jogou videogame com os óculos Playstation VR, brincou em um simulador de combate aéreo em um parque de diversões eletrônico etc.)

(se você não tiver certeza, você pode conversar com o pesquisador sobre as experiências que teve)

Não

Sim

11. Se você respondeu “sim” na pergunta anterior (10), qual é a frequência que você usa Realidade Virtual imersiva?

Só usei uma vez.

Uso muito raramente (menos de uma vez por mês)

Uso raramente (ao menos uma vez por mês)

Uso ocasionalmente (algumas vezes por mês)

Uso frequentemente (uma ou mais vezes por semana)

Uso muito frequentemente (diariamente)

APÊNDICE D – Questionário de Mal-Estar de Simulador (SSQ)

Questionário de Avaliação de Mal-estar

Objetivo: Este formulário tem como objetivo **coletar informações sobre os possíveis sintomas que o candidato possa vir a experimentar** durante o tempo que estiver participando do experimento. O questionário contém 16 questões, onde cada questão está relacionada a cada sintoma presente no SSQ (*Simulator Sickness Questionnaire*).

Respostas: Como já mencionado, cada questão está ligada a um sintoma do SSQ, onde estará descrito o nome do sintoma e as resposta terão 4 opções de resposta: **Nenhum, Leve, Moderado e Grave**. As questões serão respondidas pelo candidato durante a duração do experimento (3 horas) em tempos intervalados.

** Indica uma pergunta obrigatória*

1. Mal-estar generalizado *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

2. Cansaço *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

3. Dor de cabeça *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

4. Vista cansada *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

5. Dificuldade de manter o foco *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

6. Aumento de salivação *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

7. Suor (transpiração) *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

8. Náusea *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

9. Dificuldade de concentração *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

10. Cabeça pesada *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

11. Visão embaçada *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

12. Tontura com olhos abertos *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

13. Tontura com olhos fechados *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

14. Vertigem *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

15. Desconforto Abdominal *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Grave

16. Arroto *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Leve
- Moderado
- Severo

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE E – Questionário de Escala Rápida de mal-estar (FMS)

Duração do Experimento: 00:00:00

Escala Rápida de mal-estar (*Fast MS Scale - FMS*)

1- Considerando principalmente sintomas de náusea, desconforto geral e problemas no estômago e ignorando questões de nervosismo, tédio e cansaço, como você classifica o mal-estar que está sentindo atualmente em uma escala de 0 (nenhum mal-estar) até 20 (mal-estar real)?

Resposta:

ex: 0

2- Considerando principalmente sintomas de náusea, desconforto geral e problemas no estômago e ignorando questões de nervosismo, tédio e cansaço, como você classifica o mal-estar que está sentindo atualmente em uma escala de 0 (nenhum mal-estar) até 20 (mal-estar real)?

Resposta:

ex: 5

.
. .
. .
. .
. .
. .
. .
. .
. .
. .

12- Considerando principalmente sintomas de náusea, desconforto geral e problemas no estômago e ignorando questões de nervosismo, tédio e cansaço, como você classifica o mal-estar que está sentindo atualmente em uma escala de 0 (nenhum mal-estar) até 20 (mal-estar real)?

Resposta:

ex: 10
