

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

**FRAMEWORK DE TÉCNICAS PARA REDUÇÃO DE CYBERSICKNESS COM BASE EM
EVENTOS DE USUÁRIO E DE GAMEPLAY**

Leonardo Giuri Santiago

Projeto Final de Graduação

CENTRO TÉCNICO CIENTÍFICO - CTC
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Curso de Graduação em Ciência da Computação

Rio de Janeiro
Junho de 2025



Leonardo Giuri Santiago

**FRAMEWORK DE TÉCNICAS PARA REDUÇÃO DE CYBERSICKNESS COM BASE EM
EVENTOS DE USUÁRIO E DE GAMEPLAY**

Relatório de Projeto Final apresentada ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Alberto Barbosa Raposo
Coorientador: Thiago Malheiros Porcino

Rio de Janeiro
Junho de 2025

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à equipe de Realidade Extendida do Instituto Tecgraf, que me acolheu e proporcionou evoluir cercado de colegas extremamente talentosos.

Também agradeço e dedico este trabalho ao Thiago Malheiros e Victhor Kronemberger. Sem o apoio de vocês eu não teria chegado até aqui.

RESUMO

Santiago, Leonardo. Raposo, Alberto. Porcino, Thiago. Aplicação Automatizada de Técnicas para Mitigação de Cybersickness com base em Eventos de Usuário e de Gameplay. Rio de Janeiro, 2025. 19 PAGINAS. Relatório de Projeto Final - Departamento de Informática. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um framework destinado a mitigar a Cybersickness em aplicações de realidade virtual (VR) por meio da aplicação automatizada de técnicas de redução baseadas em eventos do usuário e de gameplay. Apesar da existência de diversos métodos para atenuar sintomas de cybersickness, ainda faltam soluções modulares e de fácil integração para desenvolvedores de VR. O framework proposto, implementado como um plugin do Unity, permite configurar as técnicas de mitigação por meio de uma interface simplificada, sem necessidade de programação adicional. Técnicas como Dynamic Field of View, Static Rest Frame e Rotational Blurring são acionadas automaticamente por eventos específicos do jogo, aumentando o conforto do usuário. Um jogo de demonstração foi desenvolvido para validar o framework, e testes com usuários indicaram uma redução de 18.75% nos sintomas de cybersickness quando o framework foi empregado. A solução visa simplificar o desenvolvimento de aplicações de VR e melhorar o bem-estar dos usuários, contribuindo para uma adoção mais ampla da tecnologia de realidade virtual.

Palavras-chave: Realidade Virtual; Cybersickness; Head-mounted Display; Unity;

ABSTRACT

Santiago, Leonardo; Raposo, Alberto; Porcino, Thiago. Automated Application of Techniques for Cybersickness Mitigation Based on User and Gameplay Events. Rio de Janeiro, 2025. 19 pages. Final Project Report – Department of Informatics, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

This work presents the development of a framework aimed at mitigating cybersickness in virtual reality (VR) applications through the automated application of reduction techniques based on user and gameplay events. Despite the availability of various methods to alleviate cybersickness symptoms, there remains a lack of modular and easily integrable solutions for VR developers. The proposed framework, implemented as a Unity plugin, enables developers to configure mitigation techniques via a simplified interface without additional coding. Techniques such as Dynamic Field of View, Static Rest Frame, and Rotational Blurring are automatically triggered by specific in-game events, enhancing user comfort. A demonstration game was developed to validate the framework, and user tests showed a 18.75% reduction in cybersickness symptoms when the framework was employed. This solution seeks to streamline VR application development and improve user well-being, contributing to broader adoption of VR technology.

Keywords: Virtual Reality; Cybersickness; Head-mounted Display; Unity;

Sumário

1	Introdução	5
2	Situação Atual	7
3	Objetivos	9
4	Atividades Realizadas	10
5	Projeto e Especificação do Sistema	12
5.1	O Framework	12
5.2	O Jogo de Demonstração	13
6	Implementação e Avaliação	14
6.1	Resultados	17
7	Trabalhos Futuros	20
8	Considerações Finais	20
A	Apêndice	21
A.1	Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ)	21
A.2	Termo de Consentimento Livre e esclarecido	22
	Referências	23

1 Introdução

Realidade Virtual (VR) é um ambiente tridimensional imersivo e interativo gerado por meio de computação gráfica (LaViola Jr 2000). Além do entretenimento, a maior interatividade e imersão fazem com que VR seja uma plataforma eficaz para aplicações voltadas para o ensino, saúde e treinamentos científicos e militares (Porcino, Reilly et al. 2022).

A tecnologia usada em VR avançou consideravelmente nos últimos anos quando se trata de performance e acessibilidade, sendo hoje possível criar cenários mais graficamente realistas e imersivos (Kemeny et al. 2017) usando dispositivos mais acessíveis ao público. Um bom exemplo é o Oculus Rift, um head-mounted display (HMD) disponibilizado ao público em 2013 como kit de desenvolvimento, que despertou um novo interesse pela tecnologia, tanto por parte dos usuários quanto pesquisadores e desenvolvedores de aplicações. Como resultado, mais aplicações VR foram feitas em 2014 do que nos 30 anos anteriores (Davis, Nesbitt e Nalivaiko 2014).

Apesar dos avanços de hardware e crescente produção de conteúdo para essa plataforma, muitos usuários sentem desconforto ao usar o HMD (Porcino, Reilly et al. 2022). Game Designers e Desenvolvedores de aplicações de VR possuem um trabalho extra em adaptar as cenas imersivas de forma que minimizem as ocorrências desse desconforto, que é conhecido na indústria como Cybersickness (Howarth e Costello 1997).

Cybersickness (CS) é um termo utilizado para se referir à uma série de sintomas que alguns usuários relatam durante ou após uma experiência em VR (Caserman et al. 2021). São alguns dos sintomas de CS:

1. náusea;
2. vertigem;
3. tontura;
4. suor excessivo;
5. enjôo;
6. vômito;

(Howarth e Costello 1997)

A maioria dos usuários de VR sente algum dos sintomas característicos de CS após fazer uso contínuo por pelo menos 10 minutos, o que revela um grande obstáculo no caminho para ampliar o acesso a VR e alcançar seu potencial, não apenas como plataforma de entretenimento, mas também como ferramenta em tratamentos médicos e treinamentos militares (Porcino, Rodrigues et al. 2020).

As causas de CS são diversas, porém, a mais importante está ligada ao conflito entre os sentidos do corpo humano quando submetido a uma simulação virtual. Isso acontece quando o estímulo visual proveniente da simulação contradiz o aparelho vestibular (responsável pelo equilíbrio) e a propriocepção (autorreferência espacial) (Howarth e Costello 1997). As experiências passadas que acumulamos no mundo real desenvolvem um modelo interno no cérebro, que serve como um armazenamento neurológico para prever informações sensoriais. Usando VR, podem ser criadas várias cenas virtuais que dificilmente podem ser vivenciadas na realidade. Pesquisadores presumem que essa manipulação pode afetar a construção ou a atualização do modelo interno de uma pessoa e pode induzir várias respostas, inclusive o CS (Chang, H. T. Kim e Yoo 2021).

Diminuir a incidência de CS em usuários de VR é tido como objetivo de muitos estudos na área de desenvolvimento deste meio, já que ainda não existe uma solução definitiva que anule o desconforto de todos aqueles que são afetados por CS. Contudo, existem muitas técnicas já desenvolvidas para reduzir o desconforto em situações específicas durante aplicações VR, podendo ser aproveitadas por pesquisadores e desenvolvedores para melhorar cada vez mais a acessibilidade das aplicações que vão sendo lançadas neste meio, incorporando e aprimorando com base no progresso feito anteriormente.

O trabalho do desenvolvedor de jogos e aplicações em VR envolve muito cuidado com o conforto do usuário. Por não existir uma medida absoluta para lidar com CS, requer-se muito estudo e testes por parte dos desenvolvedores para garantir que o máximo de usuários possam aproveitar a experiência sem maiores problemas. Parte deste trabalho é pesquisar e testar várias medidas de redução de CS já propostas, selecionando aquela ou aquelas que melhor atendem às necessidades do projeto em mãos. Esta etapa costuma ser custosa pois envolve adequar estas medidas ao projeto já existente e programar o momento e a forma que serão acionadas pela aplicação. O sistema aqui proposto busca simplificar este trabalho e dar mais

agilidade à etapa de pesquisa e prototipação das técnicas de redução de CS por parte dos desenvolvedores e designers destes aplicativos.

2 Situação Atual

Dado que tantos usuários de VR relatam sentir pelo menos um sintoma de CS, é de se esperar que tenha sido feito um esforço considerável por parte de desenvolvedores e pesquisadores para entender e remediar este desconforto. Por ser um problema tão comum, achar uma solução pode permitir um acesso consideravelmente maior de usuários para essa tecnologia, que abre portas para tratamentos de saúde e treinamentos (Porcino, Rodrigues et al. 2020).

Hoje se utilizam diversas técnicas para reduzir cybersickness no usuário em aplicações VR. Alguns exemplos são:

- a) **Dynamic Field of View:** Ao ganhar velocidade dentro do cenário em realidade virtual, é renderizada uma textura preta que cobre a área periférica do campo de visão do usuário. A área coberta de preto varia de acordo com a velocidade dentro do cenário (Ang e Quarles 2020). Esta técnica também é conhecida como Vinheta;



Figura 1: Exemplo de Dynamic Field of View sendo aplicado em uma cena (Ang e Quarles 2020).

- b) **Foveated Rendering:** Utilizando a tecnologia de eye-tracking, o HMD consegue mapear a direção do olhar do usuário, permitindo que a aplicação reduza a qualidade do render localizado na visão periférica do jogador, trazendo um ganho de performance computacional que reduz o CS causado por latency lag (Porcino, Reilly et al. 2022);

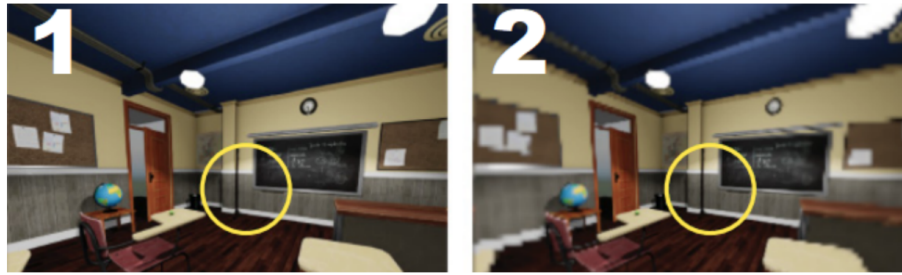


Figura 2: Cena renderizada normalmente (1) e cena com aplicação de Foveated Rendering (2). Em ambas as imagens existe um círculo de borda amarela indicando a direção do olhar do usuário, podendo-se perceber a diferença de resolução dentro e fora do círculo em (2) (Albert et al. 2017).

- c) **Teleportation**: Usuário aponta para o local de destino com o controle e se teleporta para a posição indicada, evitando o desconforto associado à locomoção (Porcino, Reilly et al. 2022);

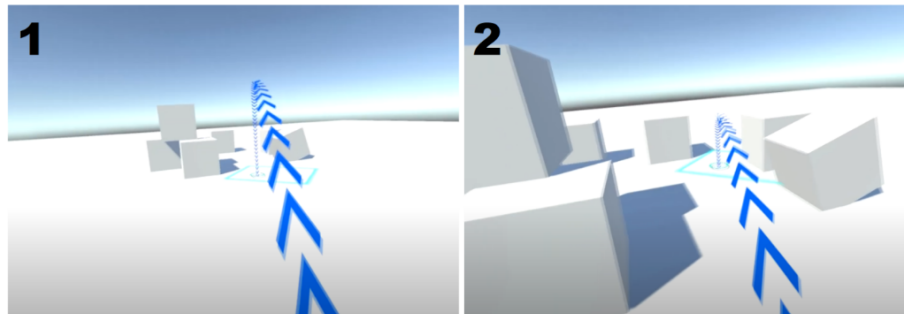


Figura 3: Exemplo de uso de Teleporte para locomoção dentro de uma cena em VR (Porcino, Reilly et al. 2022).

- d) **Static Rest Frame**: Renderiza uma imagem estática que serve de âncora para a visão do usuário (Porcino, Reilly et al. 2022).

É comum que sejam empregados vários desses métodos em um único cenário para evitar ao máximo o desconforto do jogador (Porcino, Reilly et al. 2022, porém, ainda não existe uma

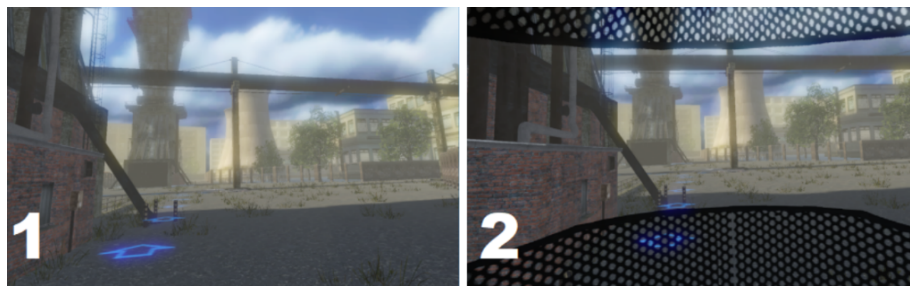


Figura 4: Exemplo de cena VR sem (1) e com (2) aplicação de Static Rest Frame (Porcino, Reilly et al. 2022).

ferramenta que simplifique a aplicação desses métodos e que possa ser reaproveitada por diferentes projetos em VR.

3 Objetivos

A solução aqui proposta é desenvolver um plugin para Unity (*Unity3D* s.d.) que funcione como um framework, contendo implementações de técnicas de redução de CS com interface simplificada para melhor incorporá-las ao projeto.

A ideia deste projeto é possibilitar aos desenvolvedores a incorporação de técnicas para mitigação do cybersickness em experiências de VR, sem a utilização de código adicional. Mais especificamente, um plugin configurável, que através da configuração de eventos pré-determinados que causam o cybersickness, automaticamente aplica efeitos ou técnicas de mitigação do desconforto.

A utilização do plugin deverá ser simples e modular, bastando incluí-lo no ambiente de desenvolvimento Unity (ferramenta de desenvolvimento de jogos e aplicações 3D interativas) e preencher os campos do editor do Unity com eventos previamente identificados como causadores dos sintomas, como aceleração e rotação. Este plugin deverá ser facilmente incluído em projetos Unity sem conflitos ou comprometimento de outros componentes.

Para cada evento detectado pelo plugin, este oferece uma técnica específica de redução do cybersickness, como a redução do campo de visão quando detecta rotação, por exemplo. Uma ou mais técnicas podem mitigar uma ou mais causas.

O diferencial deste projeto está no fato de que, apesar de já existirem implementações

de técnicas de redução de cybersickness disponíveis para uso dos desenvolvedores, ainda não existe um plugin de Unity (e outras ferramentas semelhantes) que automatize a aplicação dessas técnicas e facilite sua incorporação e prototipação.

4 Atividades Realizadas

Antes de começar a trabalhar neste projeto de conclusão de curso, fui estagiário pelo Tecgraf na área de Realidade Virtual e Aumentada, sob a supervisão do professor Alberto Raposo. Nesse período, participei de projetos de aplicações em VR e aprendi a desenvolver para essa tecnologia utilizando a ferramenta Unity, eventualmente vindo a conhecer técnicas para melhorar a experiência e conforto do usuário durante o uso dessas aplicações.

Após decidir que o tema do trabalho seria sobre Cybersickness, foi necessário um estudo sobre técnicas existentes para reduzir os sintomas e quais ferramentas existem e que facilitam a implementação dessas técnicas em projetos em VR. Nesse período de planejamento foi feito um apanhado de técnicas de redução de Cybersickness e uma análise para avaliar quais devem ser incluídas no protótipo do framework.

A partir desse estudo preliminar, foram selecionadas três técnicas para compor o protótipo do framework. Foram escolhidas as seguintes técnicas:

- a) **Rotational Blurring (Budhiraja et al. 2017)**
- b) **Static Rest Frame (Porcino, Reilly et al. 2022)**
- c) **Dynamic Field of View (Vinheta)**

Para cada técnica foi necessário determinar o critério a ser usado para sua ativação. No caso de blurring (embaçamento), a técnica deverá ser acionada quando o jogador realizar uma rotação com velocidade angular maior que um determinado valor, este podendo ser editado usando a interface do plugin no Unity. Já a Vinheta foi vinculada ao uso do controle analógico direito, que é considerado o input padrão para rotacionar a câmera em jogos tridimensionais. O uso do Static Rest Frame é mais simples. Por se tratar de uma imagem estática que está sempre presente para ancorar a visão do jogador, não foi determinada uma condição para sua ativação em tempo de execução, sendo ativado arbitrariamente através do editor.

As escolhas das técnicas de redução de CS foram feitas pensando no tipo de jogo em que poderiam ser melhor exploradas. Optamos por demonstrar as funcionalidades do plugin através de um jogo no estilo *shooter*, onde o jogador fica estacionário em um ponto e tem que atirar em inimigos que avançam de todas as direções. Este estilo de jogo obriga o jogador a fazer rotações rápidas que podem ocasionar em desconforto, sendo adequado para demonstrar as capacidades do plugin.

O desenvolvimento do jogo de demonstração foi feito de forma paralela ao desenvolvimento do framework, mas em projetos separados, para garantir que o sistema possa ser reaproveitado por diversos projetos. Assim, conforme avanços foram alcançados no desenvolvimento do framework, a pasta do plugin era copiada e incorporada no projeto de jogo para demonstração.

Para desenvolver o plugin, foi criado um projeto no Unity contendo um cenário simples, com apenas alguns formatos tridimensionais simples e um piso. O objetivo foi desenvolver os componentes principais do plugin e adicionar as técnicas escolhidas no framework para que possam ser utilizadas no jogo de teste posteriormente.

Para validar o framework proposto, foi planejada uma bateria de testes com usuários medindo o nível de desconforto com e sem o uso das técnicas contidas no plugin. Cada usuário jogaria duas versões do mesmo jogo, uma com e outra sem o plugin ativado, preenchendo um questionário antes e depois de cada sessão, totalizando 4 questionários por participante. O motivo de responder o mesmo questionário antes e depois de jogar é para observar a diferença dos resultados exatamente antes e depois de cada sessão considerando um período de descanso de 5 minutos entre partidas.

Foi feita uma pesquisa de modelos de questionários para serem aplicados e medir o nível de desconforto dos participantes antes e depois das partidas. Optamos por utilizar o modelo VRSQ por ser mais fácil de aplicar em participantes durante o experimento. O Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ) (H. K. Kim et al. 2018) é um instrumento desenvolvido para avaliar os sintomas de CS experimentados por usuários em ambientes de realidade virtual. Ele consiste em um conjunto reduzido de itens, focando nos sintomas mais comuns relacionados a desconfortos visuais e desorientação, como tontura, náusea e dificuldade de foco. Os participantes avaliam a intensidade desses sintomas em uma escala Likert (variando de 0 a 3, onde 0 representa ausência de sintomas e 3 indica sintomas severos). Ao final, é gerado um

escore agregado que reflete o nível geral de cybersickness percebido. O VRSQ se destaca por ser mais enxuto e direto em comparação a questionários tradicionais como o Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) (Kennedy et al. 1993), tornando-o particularmente adequado para contextos onde a coleta rápida e objetiva de dados é necessária.

5 Projeto e Especificação do Sistema

5.1 O Framework

O sistema desenvolvido é uma solução aplicada projetada para auxiliar desenvolvedores de VR a integrarem técnicas de mitigação de CS com esforço mínimo de implementação. Ele consiste em um plugin modular para Unity que automatiza a aplicação de estratégias consolidadas de redução de CS, acionando-as dinamicamente em resposta a eventos específicos de usuário e de gameplay.

O framework é construído sobre o XR Interaction Toolkit (*XR Interaction Toolkit* s.d.), aproveitando suas abstrações para gerenciamento de entrada, paradigmas de interação e integração de dispositivos. O plugin inclui vários scripts em C#, modelos 3D e objetos pré-fabricados (*prefabs*) que podem ser importados diretamente em qualquer projeto de VR na Unity.

Os componentes centrais do framework incluem:

- **Manager.cs:** Este script atua como controlador central, gerenciando a inicialização e a coordenação das técnicas de mitigação de CS. Ele monitora eventos de gameplay e de entrada do usuário, acionando a estratégia de mitigação apropriada com base em limiares e configurações predefinidos.
- **CSTriggers.cs:** Este módulo implementa a lógica de detecção para eventos comuns que induzem CS, como rotações rápidas ou acelerações bruscas. Ele se integra aos sistemas de entrada e física da Unity para detectar esses eventos em tempo real e comunica-se com o Manager para iniciar as respostas de mitigação.
- **MitigationEffectHandler.cs:** Este componente é responsável por implementar efeitos visuais dinâmicos destinados a reduzir sintomas de CS. Por exemplo, ele aplica um efeito de desfoque configurável quando é detectada uma rotação de alta velocidade, reduzindo

assim o desconforto associado ao movimento rápido. A intensidade e os limiares de ativação desses efeitos podem ser facilmente ajustados por meio do editor da Unity, permitindo que os desenvolvedores adaptem as estratégias de mitigação às exigências específicas de diferentes cenários de VR.

A arquitetura do framework enfatiza modularidade e facilidade de integração. Os desenvolvedores podem ativar ou desativar técnicas específicas de mitigação por meio de uma configuração simples no editor da Unity, sem necessidade de modificações adicionais no código. Ao utilizar *prefabs* e práticas de script padrão, o framework garante compatibilidade com uma ampla gama de aplicações de VR.

De modo geral, este framework operacionaliza técnicas consolidadas de redução de CS em uma ferramenta unificada e automatizada, reduzindo significativamente a carga técnica para desenvolvedores de VR e promovendo experiências mais confortáveis aos usuários.

A versão atual do framework emprega três técnicas de redução de CS: Rotational Blurring, Dynamic Field of View e Static Rest Frame. Com exceção da última, todas as técnicas foram reaproveitadas do pacote de pós-processamento do Unity. Já o Static Rest Frame, também conhecido como Virtual Nose, foi implementado usando um simples modelo tridimensional no campo de visão, representando um nariz.

5.2 O Jogo de Demonstração

Para avaliar a eficácia prática do framework proposto, foi desenvolvido um jogo de tiro em VR como ambiente de demonstração. Nesse jogo, o jogador permanece parado no centro de uma arena virtual e deve girar rapidamente para mirar e atirar em inimigos (zumbis) que se aproximam de todas as direções (Figura 5).

Esse estilo de jogo foi escolhido propositalmente devido à sua tendência inerente de induzir CS por meio de movimentos rotacionais rápidos, precisamente o tipo de cenário em que as técnicas automatizadas de mitigação do framework são mais benéficas. O design cria um ambiente controlado para avaliar como a aplicação de técnicas de mitigação, como Desfoque Rotacional, Quadro de Referência Estático e Campo de Visão Dinâmico (vinheta), pode aliviar o desconforto do usuário (Figura 6).

O desenvolvimento do jogo ocorreu em paralelo ao framework, mas como um projeto

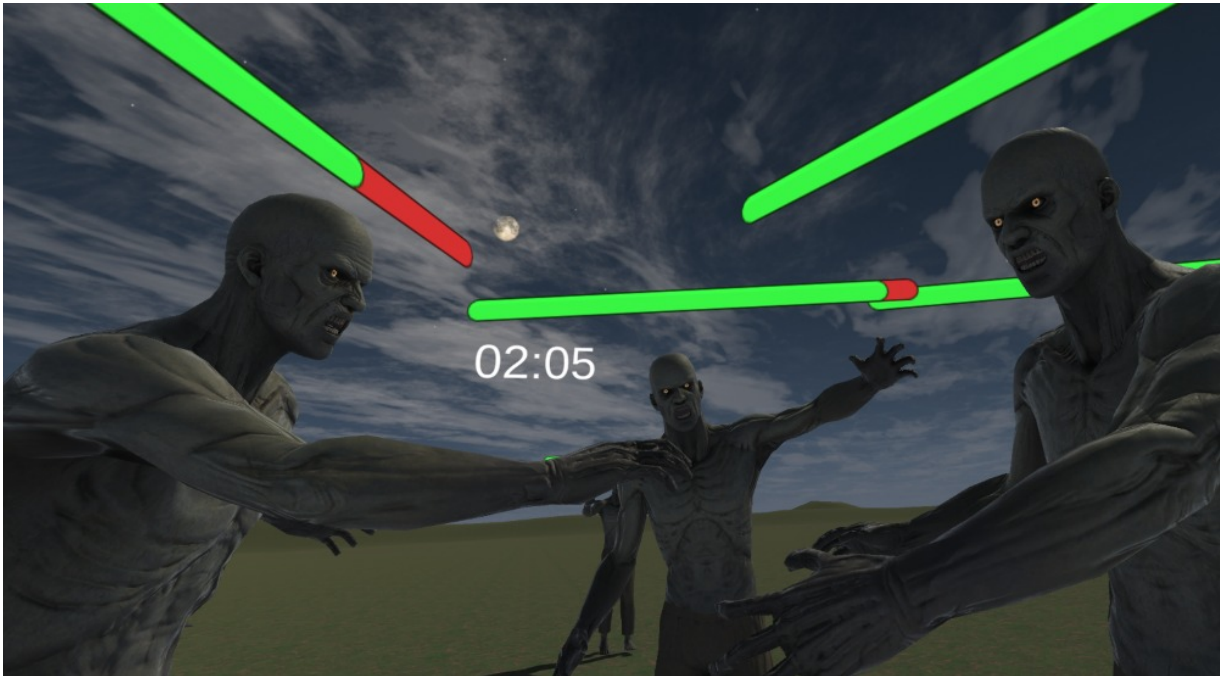


Figura 5: Demonstração do jogo de tiro em VR utilizado para avaliação. Neste cenário, o jogador permanece parado no centro de uma arena virtual e deve girar rapidamente para mirar e atirar em inimigos (zumbis) que se aproximam de todas as direções.

independente para garantir a reutilização do plugin em diferentes aplicações de VR. À medida que novas funcionalidades eram integradas ao framework, elas eram posteriormente testadas no jogo de demonstração, confirmando tanto a funcionalidade quanto a compatibilidade.

Esse jogo de demonstração serviu como campo de testes para um estudo com usuários, permitindo a avaliação empírica da eficácia do framework na redução de CS durante cenários típicos de gameplay em VR.

6 Implementação e Avaliação

Para garantir a eficácia das técnicas propostas para redução de CS, foi essencial realizar testes com usuários e medir o nível de desconforto obtido durante a experiência. Esta etapa teve como objetivo avaliar tanto a experiência dos usuários quanto o impacto das técnicas aplicadas no framework desenvolvido.

Para conduzir os testes, foi usado o jogo de demonstração em estilo shooter, desenvolvido juntamente com o framework. Esse jogo foi ajustado para ter exatamente 5 minutos de duração,

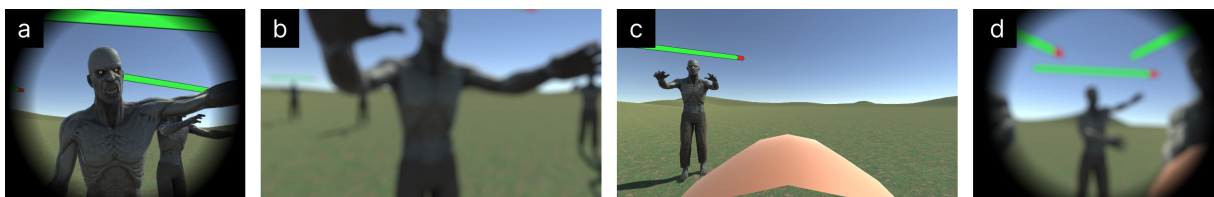


Figura 6: Técnicas de mitigação de CS aplicadas dentro do jogo de tiro em primeira pessoa utilizando nosso framework: (a) Campo de Visão Dinâmico (vinheta), (b) Desfoque Rotacional, (c) Nariz Virtual e (d) Aplicação combinada das três técnicas.

encerrando-se apenas quando o cronômetro chega a zero, independentemente do número de acertos que o jogador sofra dos inimigos.

Neste jogo, o jogador fica parado no centro do cenário e deve atirar em inimigos (zumbis) que caminham em direção à sua posição. Quando um zumbi encosta no jogador, o display emite uma leve vinheta vermelha que sinaliza ao jogador que está sendo atacado, motivando-o a girar com rapidez caso o zumbi não esteja diretamente no campo de visão.

Foram realizados ao todo 16 testes com participantes, que passaram por duas rodadas do jogo teste com um intervalo de 10 minutos entre cada uma. Uma das rodadas possui o plugin aqui proposto com todas as técnicas de mitigação de CS ativadas, já a outra é feita sem o uso do plugin (versão base). Antes e depois de cada rodada, o participante responde um questionário (VRSQ) para aferir seu nível de desconforto. Assim podemos subtrair o valor obtido no questionário posterior pelo anterior (Delta) ao jogo e quantificar os sintomas de CS sofridos pelo participante após jogar a demonstração.

Os participantes foram separados em 2 grupos: A e B. O grupo A jogou primeiro a versão controle e depois a versão com o plugin, enquanto o grupo B realizou o teste na ordem inversa. Essa separação foi feita pois é esperado que os participantes carreguem um pouco do desconforto da primeira sessão para a segunda, apesar do intervalo no meio.

Com base nas respostas do VRSQ, calculamos três valores distintos para cada parte do experimento e para cada participante: o Escore Oculomotor (avaliando sintomas como *desconforto geral*, *fadiga*, *esforço ocular* e *difículdade de foco*), o Escore de Desorientação (capturando sintomas como *dor de cabeça*, *sensação de cabeça cheia*, *visão turva*, *tontura*, *vertigem* e *percepção do estômago*) e a Pontuação Total do VRSQ.

Esses escores foram derivados usando as fórmulas padrão de cálculo do VRSQ H. K.

Kim et al. 2018.

- **Escore Oculomotor (OS):**

$$OS = \frac{\sum_{i=1}^4 Q_i}{12} \times 100 \quad (1)$$

onde Q_i são as respostas aos quatro itens relacionados ao sistema oculomotor H. K. Kim et al. 2018.

- **Escore de Desorientação (DS):**

$$DS = \frac{\sum_{j=1}^6 Q_j}{15} \times 100 \quad (2)$$

onde Q_j são as respostas aos seis itens relacionados à desorientação H. K. Kim et al. 2018.

- **Pontuação Total do VRSQ (TS):**

$$TS = \frac{OS + DS}{2} \quad (3)$$

representa a gravidade geral de CS como a média dos dois escores componentes H. K. Kim et al. 2018.

Para análise comparativa, calculamos o *Delta* VRSQ para quantificar o impacto diferencial das duas condições experimentais. O *Delta* representa a variação na severidade dos sintomas atribuível à presença ou ausência do framework de mitigação, calculada utilizando apenas a Pontuação Total do VRSQ das avaliações pré e pós-sessão para cada parte do experimento. O *Delta* foi definido como:

$$\Delta(x) = \max(0, \text{TotalScore}(x)_{\text{post}} - \text{TotalScore}(x)_{\text{pre}}) \quad (4)$$

onde $\text{TotalScore}(x)_{\text{pre}}$ e $\text{TotalScore}(x)_{\text{post}}$ correspondem às Pontuações Totais do VRSQ pré e pós-sessão para a parte experimental x , com $x \in \{1, 2\}$ indicando a Parte 1 ou Parte 2, respectivamente. O uso da função max garante que valores de *Delta* negativos sejam interpretados como zero, refletindo ausência de aumento nos sintomas de CS.

6.1 Resultados

Na Tabela 1 é possível observar os valores e variação das pontuações VRSQ em cada uma das versões do jogo demonstração (P1 - Controle, P2 - Experimento). Os valores Delta indicam que a maioria dos participantes apresentou um aumento nas pontuações do VRSQ do pré- para o pós-sessão em ambas as condições P1 e P2, como refletido pelos valores Delta positivos. Notavelmente, para o Grupo A, todos os participantes, exceto o 2A, mostraram maior desconforto quando o plugin estava desligado, com aumentos reduzidos ou semelhantes quando o plugin estava ativado.

Tabela 1: A coleta de dados concentrou-se exclusivamente na Pontuação Total do VRSQ em dois grupos. No grupo A, P1 representa a condição em que o plugin foi inicialmente desativado e depois ativado. Em contraste, no grupo B, P1 representa o cenário em que o plugin foi inicialmente ativado e depois desativado.

Resultados VRSQ						
Grupo A						
Usuário	P1 (Plugin off)			P2 (Plugin on)		
	Pre	Post	Delta	Pre	Post	Delta
1A	4.17	8.33	4.17	4.17	19.17	15.00
2A	8.33	8.33	0.00	8.33	8.33	0.00
3A	20.83	24.17	3.33	24.17	28.33	4.17
4A	11.67	20.00	8.33	20.00	23.33	3.33
5A	0.00	22.50	22.50	4.17	19.17	15.00
6A	4.17	4.17	0.00	4.17	7.50	3.33
7A	8.33	12.50	4.17	11.67	11.67	0.00
8A	4.17	7.50	3.33	4.17	10.83	6.67
Grupo B						
Usuário	P1 (Plugin on)			P2 (Plugin off)		
	Pre	Post	Delta	Pre	Post	Delta
1B	7.50	7.50	0.00	7.50	10.83	3.33
2B	4.17	8.33	4.17	8.33	12.50	4.17
3B	4.17	4.17	0.00	0.00	4.17	4.17
4B	11.67	15.00	3.33	11.67	19.17	7.50
5B	0.00	7.50	7.50	0.00	11.67	11.67
6B	4.17	8.33	4.17	4.17	19.17	15.00
7B	0.00	8.33	8.33	0.00	15.00	15.00
8B	0.00	11.67	11.67	4.17	4.17	0.00

Ao calcularmos a média aritmética dos Deltas para as versões controle e experimento (Tabela 2), obtivemos o valor de 6.67 para as sessões controle e 5.42 para as sessões expe-

rimento, apontando para uma diminuição de 18,75% nos sintomas de cybersickness quando o plugin esteve ativo.

Tabela 2: Médias dos grupos no controle e no experimento

Grupo	Média (Controle)	Média (Experimento)
Grupo A	5,73	5,94
Grupo B	7,60	4,90
Total	6,67	5,42

Na Figura 7 podemos observar o efeito da separação dos grupos A e B nos valores Delta obtidos. Para essa análise é preciso levar em consideração o forte viés de ordem presente em um experimento dessa natureza. Participantes do grupo A, por jogarem primeiro a versão baseline do jogo, experimentam bastante desconforto de imediato. Este forte desconforto da primeira rodada pode ter influenciado o desconforto sentido na rodada seguinte, provocando um aumento nos valores Delta observados em comparação com os obtidos no grupo B jogando a versão com plugin. Os participantes do grupo B, por terem começado com o jogo que emprega as técnicas de redução de CS, relataram em média uma intensidade de sintomas consideravelmente menor em comparação com o grupo A. Outra observação importante a se fazer é o salto no valor médio de Delta que os participantes do grupo B tiveram na rodada seguinte, que usa o jogo na versão baseline.

Os resultados indicam que a maioria dos participantes apresentou um aumento nas pontuações do VRSQ do pré- para o pós-sessão em ambas as condições P1 e P2, como refletido pelos valores Delta positivos. Notavelmente, para o Grupo A, todos os participantes, exceto o 2A, mostraram maior desconforto quando o plugin estava desligado, com aumentos reduzidos ou semelhantes quando o plugin estava ativado.

No Grupo B, os participantes geralmente relataram Deltas mais altos ao passar da condição com o plugin ativado (P1) para a condição com o plugin desativado (P2), o que sugere um possível efeito protetor do framework de mitigação.

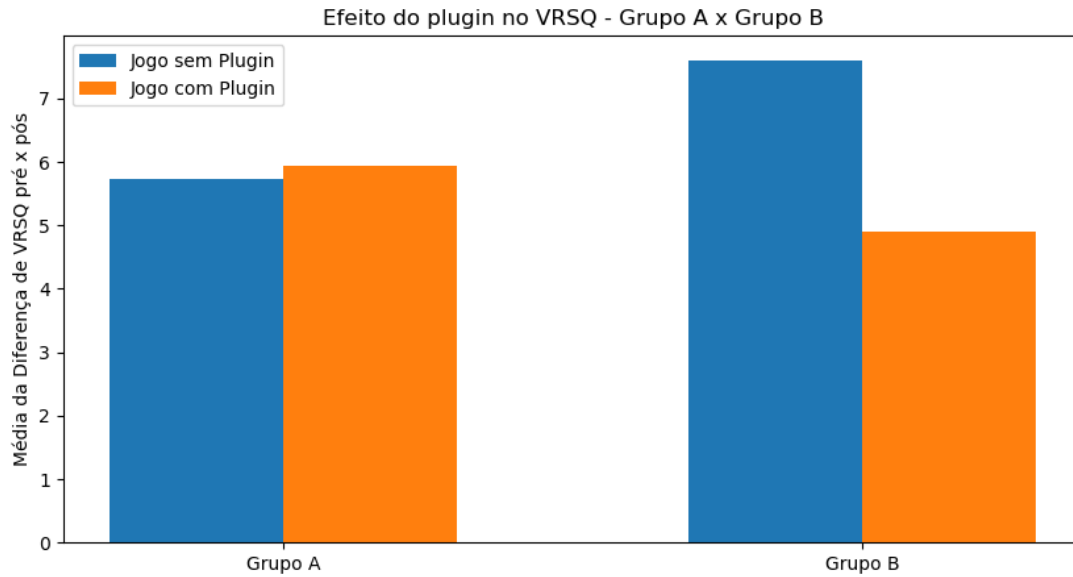


Figura 7: Gráfico ilustrando os valores médios de Delta das versões Controle e Experimento , separando por grupo.

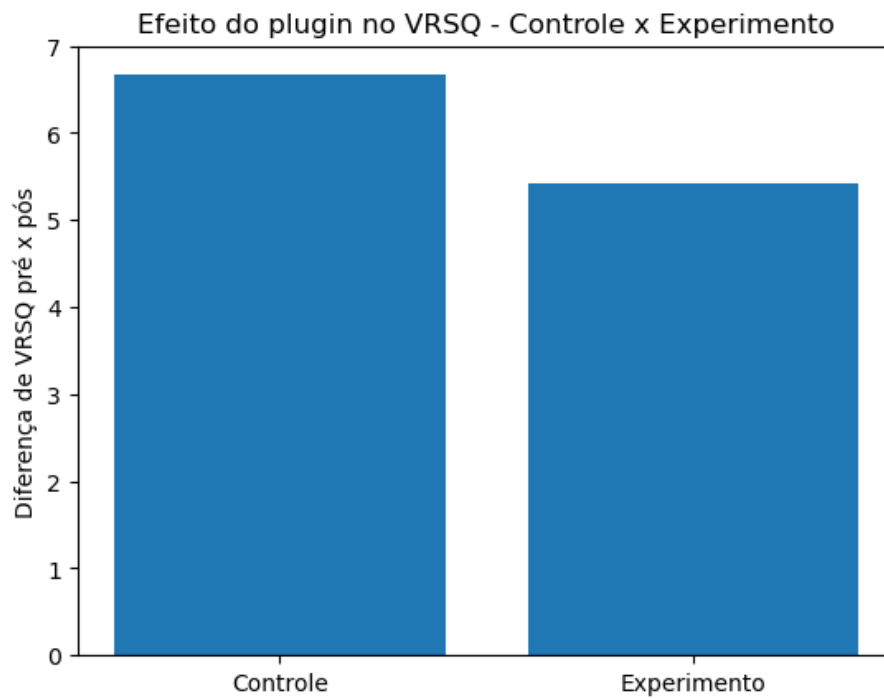


Figura 8: Gráfico ilustrando os valores médios de Delta observados nas rodadas Controle e Experimento do teste.

7 Trabalhos Futuros

Os próximos passos deste projeto envolvem ampliar as capacidades do plugin, permitindo que seu uso alcance mais desenvolvedores e possa auxiliar em uma quantidade maior de cenários e configurações. Para alcançar este objetivo, serão adicionadas mais técnicas de redução de CS ao plugin, como Foveated Rendering e Teleporte, que ainda não estão presentes no projeto. Também será feito mais um teste com usuários, dessa vez com uma amostra de pelo menos 50 participantes e mais de um tipo de jogo, para validar a versatilidade do framework e melhor avaliar o seu impacto na experiência dos jogadores.

Outra abordagem a ser explorada é o uso de algoritmos de aprendizagem de máquina para melhor avaliar a ativação de técnicas de redução de CS, também usando eventos de gameplay como entrada.

8 Considerações Finais

Desenvolvemos um framework que permite aos desenvolvedores aplicar de forma eficiente diversas técnicas de redução de CS através de uma interface amigável e intuitiva, tendo como principal contribuição a conveniência de ter os gatilhos de CS já mapeados e não precisar escrever código extra para acionar as técnicas de redução quando são necessárias, assim reduzindo o tempo gasto com codificação e prototipagem. Ao diminuir a carga de trabalho de implementação e economizar tempo de desenvolvimento para criadores de VR, nosso protótipo visa incentivar uma adoção mais ampla da VR como uma plataforma de mídia, mitigando barreiras que afetam o bem-estar dos usuários.

Desenvolver este sistema me proporcionou aprender e vivenciar a complexidade envolvida na construção de jogos e aplicações em VR com o olhar voltado para o bem-estar e limitações da anatomia humana.

A Apêndice

A.1 Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ)

Instruções

Por favor, avalie a intensidade dos sintomas descritos abaixo após sua experiência em realidade virtual. Use a seguinte escala para pontuar cada item:

0	Nenhum sintoma
1	Sintoma leve
2	Sintoma moderado
3	Sintoma severo

Questionário

Sintoma	Pontuação (0-3)
A - Desconforto geral	
B - Fadiga (cansaço)	
C - Fadiga (ocular)	
D - Dificuldade de concentração	
E - Dor de cabeça	
F - "Cabeça Pesada"	
G - Visão embaçada	
H - Tontura	
I - Vertigem	

Pontuação Total

Como calcular: $(A+B+C+D)/12 + (E+F+G+H+I)/15$

Resultado :

A.2 Termo de Consentimento Livre e esclarecido

O(A) Sr.(ª) está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa Framework de Técnicas para Redução de Cybersickness com base em Eventos de Usuário e de Gameplay, de responsabilidade do pesquisador Leonardo Giuri Santiago. A sua participação é voluntária e que este consentimento poderá ser retirado a qualquer tempo, sem prejuízos à continuidade do tratamento (se for o caso) ou qualquer outra penalização.

A sessão consistirá na interação com duas versões diferentes do mesmo jogo: uma versão com determinadas técnicas para redução de desconforto e outra sem essas técnicas. Antes e depois de cada experiência, o participante preencherá dois questionários relacionados ao bem-estar, totalizando quatro questionários ao longo da participação. Segundo estudos, algumas pessoas podem sentir desconforto durante experiências com realidade virtual, como enjoo, dor nos olhos e tontura. Ao realizar este experimento você declara que é maior de 18 anos e de estar ciente que poderá sentir um ou mais sintomas de desconforto causados pelo uso de equipamentos de realidade virtual. Este estudo visa entender as causas destes sintomas de desconforto em ambientes de realidade virtual. Este procedimento não apresenta riscos à vida uma vez que nenhum tipo de intervenção será necessário. Sempre haverá um pesquisador próximo a você para qualquer manifestação de desconforto que deseje relatar. Não será realizada nenhum tipo de entrevista, e você poderá se retirar da sessão a qualquer momento. A equipe envolvida no estudo é composta por um estudante de graduação (Leonardo Santiago), e os professores responsáveis (Dr. Alberto Raposo e Dr. Thiago Porcino). Agradecemos vossa participação e colaboração.

Os Comitês de Ética em Pesquisa (CEPs) são compostos por pessoas que trabalham para que todos os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos sejam aprovados de acordo com as normas éticas elaboradas pelo Ministério da Saúde. A avaliação dos CEPs leva em consideração os benefícios e riscos, procurando minimizá-los e busca garantir que os participantes tenham acesso a todos os direitos assegurados pelas agências regulatórias. Assim, os CEPs procuram defender a dignidade e os interesses dos participantes, incentivando sua autonomia e participação voluntária. Procure saber se este projeto foi aprovado pelo CEP desta instituição. Em caso de dúvidas, ou querendo outras informações, entre em contato com o Câmara de Ética em Pesquisa da PUC-Rio: Telefone: (21) 3527-1618.

Referências

- Albert, Rachel et al. (2017). “Latency requirements for foveated rendering in virtual reality”. Em: *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)* 14.4, pp. 1–13.
- Ang, Samuel e John Quarles (2020). “Gingervr: An open source repository of cybersickness reduction techniques for unity”. Em: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. IEEE, pp. 460–463.
- Budhiraja, Pulkit et al. (2017). “Rotation blurring: use of artificial blurring to reduce cybersickness in virtual reality first person shooters”. Em: *arXiv preprint arXiv:1710.02599*.
- Caserman, Polona et al. (2021). “Cybersickness in current-generation virtual reality head-mounted displays: systematic review and outlook”. Em: *Virtual Reality* 25.4, pp. 1153–1170.
- Chang, Eunhee, Hyun Taek Kim e Byounghyun Yoo (2021). “Predicting cybersickness based on user’s gaze behaviors in HMD-based virtual reality”. Em: *Journal of Computational Design and Engineering* 8.2, pp. 728–739.
- Davis, Simon, Keith Nesbitt e Eugene Nalivaiko (2014). “A systematic review of cybersickness”. Em: *Proceedings of the 2014 conference on interactive entertainment*, pp. 1–9.
- Howarth, Peter Alan e PJ Costello (1997). “The occurrence of virtual simulation sickness symptoms when an HMD was used as a personal viewing system”. Em: *Displays* 18.2, pp. 107–116.
- Kemeny, Andras et al. (2017). “New vr navigation techniques to reduce cybersickness”. Em.
- Kennedy, Robert S et al. (1993). “Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness”. Em: *The international journal of aviation psychology* 3.3, pp. 203–220.
- Kim, Hyun K et al. (2018). “Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment”. Em: *Applied ergonomics* 69, pp. 66–73.
- LaViola Jr, Joseph J (2000). “A discussion of cybersickness in virtual environments”. Em: *ACM Sigchi Bulletin* 32.1, pp. 47–56.
- Porcino, Thiago, Derek Reilly et al. (2022). “A guideline proposal for minimizing cybersickness in VR-based serious games and applications”. Em: *2022 IEEE 10th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. IEEE, pp. 1–8.

Porcino, Thiago, Erick O Rodrigues et al. (2020). "Using the gameplay and user data to predict and identify causes of cybersickness manifestation in virtual reality games". Em: *2020 IEEE 8th international conference on serious games and applications for health (SeGAH)*. IEEE, pp. 1–8.

Unity3D (s.d.). URL: <https://unity.com/>.

XR Interaction Toolkit (s.d.). <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@3.0/manual/index.html>. Accessed: 2024-12-16.