

Integração de Periféricos no MiritiBoard VR: Análise de Usabilidade e Preferências

Walter dos Santos Oliveira Júnior¹, João Francisco Moreira de Carvalho¹, Leonardo da Conceição Estevam¹, Marcos César da Rocha Seruffo¹, André Vinicius Neves Alves¹, Lyanh Vinicius Lopes Pinto¹, Diego Lisboa Cardoso¹, Paulo André Ignácio Pontes¹

¹ Universidade Federal do Pará - UFPA.
Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

walter@inteceleri.com.br, joaofran.m.c@gmail.com,
leonardoestevam0605@gmail.com, seruffo@ufpa.br,
alvesandrevinicius@gmail.com, lyanhlp320@gmail.com,
dlistboacardoso@gmail.com, paulo.pontes@ifpa.edu.br

Resumo. Diante do crescimento da Realidade Virtual (VR) em dispositivos móveis, surge a necessidade de aprimorar a experiência do usuário, tornando-a mais atraente. Este artigo estuda a implementação de periféricos no MiritiBoard VR, um headset de baixo custo feito de material vegetal, utilizado no aplicativo educacional GeoMeta para o ensino de geometria com realidade virtual. Dois protótipos foram desenvolvidos: um com controle integrado ao visor e outro com um gamepad externo, ambos conectados ao celular via Bluetooth. Avaliados pelo público por meio do System Usability Scale (SUS). Embora o MiritiBoard VR convencional tenha recebido a melhor pontuação geral, o MiritiBoard com controle integrado foi o mais preferido pelos usuários.

Palavras-chave: Joystick; Óculos VR; Customização; Usabilidade

Abstract. With the growth of Virtual Reality (VR) on mobile devices, there is a need to enhance the user experience, making it more engaging. This article studies the implementation of peripherals in the MiritiBoard VR, a low-cost headset made from vegetal material, used in the educational application GeoMeta for teaching geometry with virtual reality. Two prototypes were developed: one with an integrated control into the visor and another with an external gamepad, both connected to the mobile device via Bluetooth. They were evaluated by the public through the System Usability Scale (SUS). Although the conventional MiritiBoard VR received the highest overall score, the MiritiBoard with integrated control was the most preferred by users.

Keywords: Joystick; Headset VR; Customization; Usability

1. Introdução

Atualmente, os jogos de Realidade Virtual (VR) têm se consolidado como uma das formas mais imersivas de entretenimento, proporcionando experiências únicas ao criar mundos virtuais tridimensionais [Vieira & Medeiros 2023]. Estes jogos tradicionalmente exigem equipamentos robustos, como dispositivos HMD (do inglês, *Head Mounted Display*), onde a imersão se dá por telas próximas aos olhos que exibem imagens ligeiramente diferentes, criando a percepção de profundidade [Kodama et al. 2017]. Exemplos incluem o Oculus

Rift¹, HTC Vive², e PlayStation VR³, que oferecem alta qualidade gráfica e imersão, mas com um custo elevado.

Historicamente, as plataformas tradicionais de jogos, como consoles e PCs, ofereceram melhor *hardware* para a navegação no jogo, utilizando periféricos como *mouse*, teclado, *joysticks*, *gamepads* e controladores específicos para determinados jogos, como volantes para games de corrida ou guitarras para jogos de música. Porém, devido à popularização dos smartphones e ao crescimento dos jogos mobile, as plataformas tradicionais estão perdendo espaço, e muitos destes controladores estão se integrando aos dispositivos móveis [Silva et al. 2016]. No contexto estrito, o *joystick* refere-se a uma alavanca que pode ser movida em várias direções para controlar movimentos e o *GamePad* é um controle compacto e versátil integrando botões direcionais e analógicos, manuseado com ambas as mãos. Apesar dessas diferenças, os termos frequentemente são usados como sinônimos, especialmente em anúncios e materiais de marketing [Rupp et al. 2013].

No contexto de jogos mobile, o controle do avatar e a navegação no jogo tradicionalmente se davam pelo controle virtual, uma interface de controle que simula as funções de um controle físico em uma tela sensível ao toque [Marchal et al. 2011]. No entanto, este sistema é inviável para jogos VRs onde o dispositivo é acoplado ao headset. Com o avanço dos dispositivos móveis, surgiram controladores e outros periféricos dedicados para celulares [Hoberman et al. 2012], enriquecendo a experiência de jogo.

Neste cenário, o MiritiBoard VR⁴, um visor de realidade virtual ecológico feito de miriti, fibra de uma palmeira natural da Amazônia, se destaca como uma inovação no campo educacional. Desenvolvido pela empresa de desenvolvimento de tecnologias para a educação Inteceleri⁵, o MiritiBoard é utilizado no aplicativo educacional GeoMeta, que incorpora tecnologia de VR para o ensino de geometria [Oliveira Júnior et al. 2023].

O estudo atual foca em identificar a preferência e a usabilidade percebida pelos usuários ao testar diferentes modelos do MiritiBoard. Isso inclui o modelo convencional, e extensões deste, sendo modelos com controles integrados ao próprio visor e de dispositivos externos. Aliado à técnicas de experiência do usuário, abreviado UX (do inglês, *User Experience*), é utilizado o método avaliativo questionário SUS (do inglês, *System Usability Scale*) por este ser considerado efetivo na avaliação da satisfação e efetividade do produto e de resultados fáceis de ser compreendidos. Os dados foram coletados por meio de um formulário online que incluía perguntas preliminares sobre as preferências em relação aos modelos utilizados, além do questionário SUS. Os resultados indicaram inconsistências entre as respostas das perguntas preliminares e a avaliação SUS dos dispositivos.

O trabalho está estruturado em 6 seções distintas: a seção 2 apresenta trabalhos correlatos à proposta do artigo, onde são estudadas aplicações de *gamepad* em jogos mobile. A seção 3 é o percurso metodológico do artigo com as ferramentas utilizadas e coleta de dados. Na seção 4 são discutidos os resultados, após o tratamento de dados. Na seção 5 os cuidados éticos acerca de coleta de dados com seres humanos, e a seção 6 a conclusão do artigo.

2. Trabalhos Relacionados

No campo da realidade virtual em dispositivos móveis, o uso de controladores é fundamental

¹ [oculus.com/rift-s/?locale=pt_BR](https://www.oculus.com/rift-s/?locale=pt_BR)

² [vive.com/us/](https://www.vive.com/us/)

³ [playstation.com/pt-br/ps-vr/](https://www.playstation.com/pt-br/ps-vr/)

⁴ [inteceleri.com.br/culos-vr-da-amaznia-miritiboard](https://www.inteceleri.com.br/culos-vr-da-amaznia-miritiboard)

⁵ <https://www.inteceleri.com.br/>

para melhorar a experiência do usuário, oferecendo uma interação mais intuitiva e precisa nos ambientes virtuais. Ao contrário de sistemas de controle por toque, que podem comprometer a imersão ocupando parte da tela, os controladores dedicados permitem uma exploração mais fluida e envolvente. Pesquisas recentes destacam que esses dispositivos aumentam significativamente a jogabilidade e a profundidade da imersão, aprimorando a interação e a experiência em ambientes de realidade virtual, especialmente quando aliados a técnicas de UX.

O trabalho de [Puritat et al. 2022] compara três métodos de locomoção em realidade virtual usados em museus virtuais de patrimônio cultural: Controle remoto, Apontar e Teleportar, e Movimento de Braço. O autor avalia a eficácia desses métodos em termos de enjoo, sensação de presença e prazer do usuário, utilizando um museu virtual dos animais de Himmapan como estudo de caso. Os resultados indicam que a técnica de Apontar e Teleportar é a mais eficiente, causando menos náusea e proporcionando maior prazer, embora não tenha havido diferença significativa na sensação de presença entre as técnicas.

O artigo de [Carmichael et al. 2022] apresenta o *Spring Stepper*, um protótipo de locomoção em realidade virtual sentado, que simula a caminhada no lugar usando um dispositivo vestível nos pés. Ele foi comparado com o *3D Rudder* e o teletransporte em um estudo de usabilidade, onde o teletransporte apresentou a maior pontuação de usabilidade, seguido pelo *Spring Stepper*, que foi melhor percebido que o *3D Rudder*. Embora o *Spring Stepper* tenha tido uma usabilidade inferior ao teletransporte, os participantes relataram que ele foi mais imersivo e divertido, sugerindo que a usabilidade não é o único fator na preferência por dispositivos VR.

O trabalho de [Zhang et al. 2021] apresenta uma interface híbrida que combina um smartphone e um controlador de realidade virtual para melhorar a experiência de navegação em ambientes virtuais. A interface permite a caminhada real enquanto o usuário visualiza o mundo físico através da câmera do smartphone, virtualizado em VR. O sistema oferece uma entrada assimétrica 2D-3D, onde a tela sensível ao toque do telefone e o controlador são usados simultaneamente para manipular objetos virtuais. Um estudo piloto foi realizado para avaliar a usabilidade e a experiência do usuário, mostrando que a interface é eficaz, especialmente quando o controlador é segurado na mão dominante para entrada espacial 3D.

Os trabalhos discutidos nesta seção focam em como o sistema híbrido de *smartphone* e controlador para VR propõe melhorar a navegação e a interação em ambientes virtuais. O MiritiBoard, por outro lado, busca não apenas aprimorar as áreas de navegação e interação, mas também se destaca como uma solução inovadora por ser um visor de realidade virtual ecológico, se diferenciando por seu compromisso ambiental e sua aplicação no campo educacional. Além de ser acessível e fácil de usar, especialmente em contextos educacionais, este artigo inova ao introduzir novos periféricos para o MiritiBoard, tornando a realidade virtual uma ferramenta ainda mais dinâmica e acessível para o aprendizado, particularmente em regiões com menor acesso a tecnologias de ponta.

3. Metodologia

A metodologia do estudo envolveu o desenvolvimento de complementações ao software GeoMeta [Oliveira Júnior et al. 2023], com a criação de um mundo aberto para aumentar a imersão no ambiente virtual, e a adaptação do MiritiBoard, com diferentes soluções de fixação e de controladores para maior conforto. Foram testados três modelos: o MiritiBoard VR convencional (MBC) o MiritiBoard com controle integrado (MBCI) e com controle externo (MBCE), os dois últimos equipados com tecnologias de navegação e conexão sem

fio via Bluetooth. O grupo de teste foi composto por visitantes de um evento interno à instituição dos pesquisadores, que experimentaram os protótipos e responderam a um questionário de usabilidade baseado no SUS, cujos dados foram tratados e analisados para avaliar a usabilidade dos dispositivos.

3.1. Ambiente Virtual

Originalmente, o GeoMeta limitava a interação ao uso de um único avatar com movimentos controlados pelo giroscópio do celular, que detecta a movimentação do torso ou pescoço do jogador, movimentando a câmera dentro do ambiente 3D. No entanto, com a necessidade de ampliar a jogabilidade e testar os novos modelos headset, foi desenvolvido um ambiente com livre movimentação, onde o jogador pode explorar livremente uma cidade virtual (Figura 1-a) com elementos do GeoMeta (Figura 1-b) que inclui tráfego de veículos, praças, edifícios e outras características paisagísticas que enriquecem a experiência de imersão, sendo estas criadas dentro do ambiente de desenvolvimento Unity⁶, uma plataforma amplamente utilizada para a criação de experiências 3D interativas.



(a)



(b)

Figura 1. Telas do mundo aberto no ambiente de desenvolvimento Unity. (a) Panorama do mapa em perspectiva. (b) Local de início do gameplay.

3.2. Instrumentação das adaptações

Nesta subseção, serão detalhadas as diferentes adaptações e protótipos desenvolvidos para o MiritiBoard VR, incluindo suas customizações e funcionalidades. Serão abordadas as modificações realizadas no MBC para melhorar o conforto e a usabilidade, com a introdução de soluções de fixação alternativas, além do desenvolvimento de dois protótipos, MBCI e MBCE, com cada protótipo oferecendo uma abordagem distinta para a navegação e interação no ambiente virtual.

3.2.1. MiritiBoard VR Convencional (MBC)

O headset MiritiBoard VR (Figura 2-a) foi criado como um óculos de realidade virtual ecológico, feito de miriti, a fibra da palmeira *Mauritia flexuosa*, popularmente nomeada como buritizeiro devido ao fruto buriti, espécie endêmica da Amazônia e comumente usada no artesanato local [Santos & Coelho-Ferreira 2011]. Desenvolvido pela Inteceleri, este headset ecológico foi projetado como uma alternativa sustentável aos modelos tradicionais. Embora seja otimizado para uso com produtos da empresa, como o GeoMeta, este também pode ser utilizado em diversas outras aplicações de realidade virtual, incluindo visualização de imagens 360°.

Trata-se de peças de miriti cortadas à laser e coladas com uso de cola quente. Um par lentes de vidro são utilizadas, de forma que foque no display do celular, alojado no

⁶ unity.com

compartimento frontal e fixado com velcro, conforme Figura 2-a. Para aumentar o conforto, foi adicionada uma borda de borracha EVA (Etileno-Vinil- Acetato), um material polimérico, ao redor das áreas de contato com o rosto. Duas soluções alternativas de fixação foram então propostas: a primeira consiste em uma alça ajustável que envolve uma das mãos (Figura 2-b), fixando os óculos de forma segura e permitindo ao jogador movimentar com maior estabilidade. A segunda solução envolve uma alça que circunda a cabeça do jogador, (Figura 2-c) eliminando a necessidade de segurar o conjunto de óculos e celular, permitindo sessões de jogo mais longas sem causar fadiga e liberando as mãos para o uso de um GamePad ou outros dispositivos de interação com o ambiente virtual. O MiritiBoard busca melhorar a navegação e interação através do seu uso simples e intuitivo.

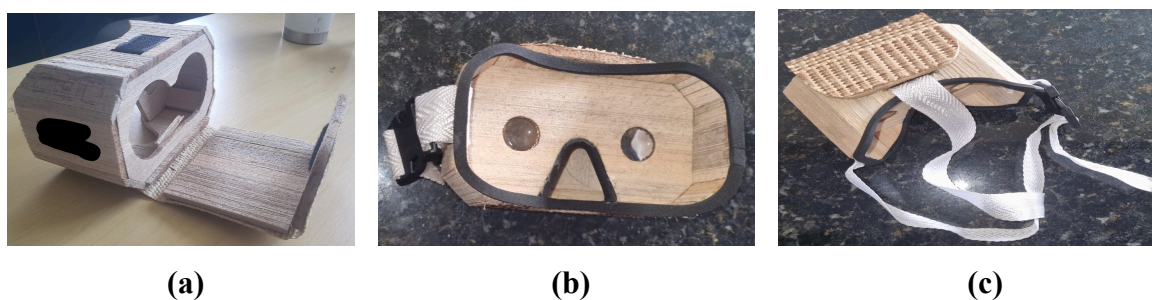


Figura 2. MiritiBoard e customizações de fixação. (a) Versão tradicional. (b) Versão com alça de mão. (c) Versão com fixação que envolve a cabeça.

3.2.2. MiritiBoard com controle integrado (MBCI)

O controle integrado ao MiritiBoard VR permite ao usuário explorar o ambiente virtual por meio de botões e de um joystick incorporados ao próprio headset, proporcionando maior controle sobre o avatar e mais liberdade na navegação, superando limitações relacionadas ao GamePad virtual na tela sensível ao toque do celular. A posição dos controladores nas laterais do visor exige o uso das duas mãos, e devido ao peso adicional, é conveniente utilizar o headset com a fixação ao redor da cabeça para maior conforto, embora também possa ser usado sem alças de fixação.

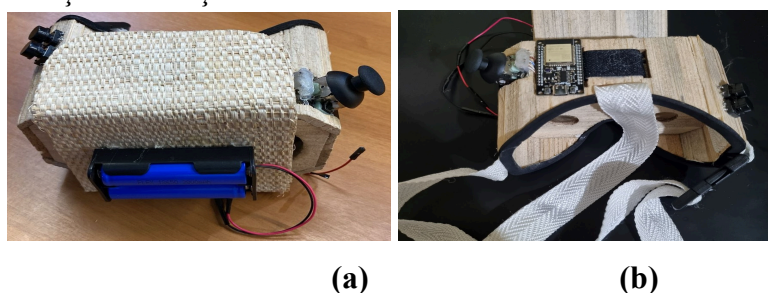


Figura 3. Protótipos e periféricos. (a) Visão frontal do MBCI. (b) Visão traseira do MBCI.

Para o protótipo MBCI, foram implementados dois botões táteis, que funcionam como botões de controle, e um módulo joystick analógico, visualizados na (Figura 3-a), responsável pela movimentação do usuário dentro do ambiente virtual. A lógica do controle é gerenciada por uma placa microcontrolada *ESP32 WROOM-32* (Figura 3-b) programada na linguagem C++⁷, que também cuida da comunicação bluetooth com o celular e se conecta aos periféricos através de cabos jumpers, que foi escolhida pelo seu baixo custo, baixo consumo energético e versatilidade. Para garantir a autonomia do dispositivo, o sistema é alimentado por duas baterias de lítio de 3,7 V, proporcionando energia suficiente para sessões

⁷ <https://github.com/joaofmcarvalho/C-digo-Placa-ESP32/blob/main/esp32.cpp>

prolongadas de uso.

3.2.3. MiritiBoard com controle externo (MBCE)

O MBCE faz uso do gamepad *Joystick* 8BitDo Ultimate 2.4GHz na cor preta (Figura 4), conectado via Bluetooth ao celular, que está acoplado ao headset durante o gameplay. Esse controle foi escolhido por oferecer uma autonomia de 15 horas e por sua capacidade de conexão Bluetooth com o celular. Ademais, pode-se usar outro tipo de controle bluetooth da preferência do usuário.



Figura 4. Controle externo utilizado.

Essas características fazem deste controlador uma excelente opção para longas sessões de imersão em ambientes virtuais, proporcionando praticidade e desempenho de alta qualidade. Nessa configuração, o jogador utiliza ambas as mãos, sendo fundamental a fixação adequada dos óculos de realidade virtual, com uso do Miritiboard com alça de cabeça (Figura 2-c) para a manipulação eficiente do controlador.

3.3. Seleção do Grupo de Teste

O grupo de teste foi composto por visitantes ao estande da Inteceleri⁸ no evento da 76ª reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC)⁹, que ocorreu no campus da Universidade Federal do Pará (UFPA) entre os dias 8 e 12 de julho de 2024. Primeiro, os visitantes jogaram a versão original do Geometa com uso do MBC. Em seguida, foram convidados a jogar a versão de mundo aberto com o uso dos protótipos com alças de fixação e controles, MBCI e MBCE. Todos os protótipos estavam à disposição dos visitantes em cima de uma mesa, os quais foram orientados e auxiliados pelos pesquisadores no gameplay. Os visitantes constituíram-se de pessoas de diferentes idades, gêneros e níveis de escolaridade. Salienta-se que houve visita maciça de escolas de ensino fundamental da rede pública de ensino que ali faziam excursões.

Ao final da exposição, os jogadores maiores de idade e que demonstraram capacidade cognitiva suficiente e intimidade com uso de smartphones, foram convidados a responder um formulário online disponibilizado por um QR code¹⁰, que perguntava quantos protótipos foram utilizados pelo jogador, qual protótipo iria ser avaliado, qual foi o preferido, e em seguida avaliar o protótipo escolhido e suas experiências através de um questionário de usabilidade SUS. No total, 63 pessoas responderam ao formulário.

3.4. Coleta e tratamento dos dados

O formulário é composto por quatro seções. A primeira página apresenta informações sobre

⁸<https://agenciapara.com.br/noticia/57844/espaco-do-pct-guama-na-reuniao-da-sbpc-recebe-centenas-de-visitantes-em-belem>

⁹ <https://ra.sbpcnet.org.br/76RA/>

¹⁰ forms.gle/7Yi7nrZPgnJ44Zpe8

o objetivo do questionário, que é coletar dados relacionados ao uso dos protótipos do MiritiBoard, que são modelos customizados para uso com auxílio de controladores. Na segunda seção, os participantes foram convidados a consentir ou não com a participação na pesquisa após a leitura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que será detalhado na Seção 5, que trata dos cuidados éticos, e informações sobre o número de perguntas, o tempo médio necessário para completar o formulário, e esclarecimento de que a participação era voluntária e não remunerada.

A terceira seção do formulário, intitulada “Informações sobre sua avaliação”, contém três perguntas. Nela, os usuários indicaram qual protótipo foi utilizado, qual será avaliado, e, caso tenham utilizado mais de um protótipo, qual foi o preferido. Na quarta seção, os participantes responderam ao questionário de usabilidade contendo 10 perguntas. O processo foi realizado de forma anônima, sem a coleta de informações de identificação com um tempo médio de preenchimento do formulário estimado em cinco minutos. O questionário de usabilidade da quarta seção do formulário foi baseado no SUS, uma ferramenta de avaliação de usabilidade amplamente utilizada para medir a facilidade de uso de produtos, sistemas e interfaces [Brooke 1996]. O SUS é considerado um método rápido, eficaz e econômico para obter feedback sobre a usabilidade, sendo amplamente utilizado em diversos campos, incluindo desenvolvimento de software, design de produtos e pesquisa em interface humano-computador [Grier 2013], [Boucinha & Tarouco 2013].

Os dados do formulário Google Docs foram agrupados e exportados em uma planilha Google Sheets. Em seguida, foram calculados os resultados de usabilidade SUS no Google Colab, onde um código Python¹¹ é rodado em um compilador online, gerando os resultados como output. O código do cálculo do resultado SUS foi autoral baseado nas equações do artigo [Brooke 1996].

4. Resultados e Discussão

No resultado da avaliação SUS dos protótipos, o melhor avaliado foi MiritiBoard VR convencional. Vale destacar que esta versão teve baixo número de respostas, onde apenas 10 (16,4%) optaram avaliá-lo, tratando-se de um dado desproporcional aos demais. Entre os protótipos customizados, o preferido foi o MiritiBoard com controle integrado, sendo preferido por 50% dos respondentes. O resultado das três perguntas na Seção 3 do formulário, que tratam das informações prévias à avaliação de usabilidade, serão detalhadas a seguir.

A primeira pergunta desta seção do formulário sendo: “Qual(is) óculos você utilizou?”. No qual 35 (56,5%) utilizaram o MiritiBoard VR convencional, 33 (53,2%) experimentaram o MBCI (Figura 3-a) e 30 (48,4%) testaram o MBCE (Figura 4). O diagrama de Venn na (Figura 5) ilustra as interseções entre esses três grupos, mostrando quantas pessoas usaram um, dois ou os três protótipos, no qual apenas 8 respondentes testaram os três modelos.

A segunda pergunta foi respondida por 61 dos 62 participantes sendo esta: “Qual óculos você irá avaliar?”. Assim, 28 (45,8%) avaliaram o MBCI, o que indica uma preferência majoritária por este modelo. Em comparação, 23 (37,7%) analisaram o MBCE, mostrando que também houve um interesse significativo por este modelo. Por outro lado, apenas 10 (16,4%) avaliaram o MBC, conforme ilustrado na Figura 6. Esses dados ajudam a entender quais modelos foram mais populares ou preferidos durante o estudo e fornecem insights sobre a aceitação e o interesse dos participantes em relação aos diferentes tipos de

¹¹ colab.research.google.com/drive/1_zmlfazzWPWzVnfg-8kXsx9_3nbxpwda?usp=sharing

modelos de óculos VR.

Por fim, 54 participantes responderam à terceira pergunta: “Caso tenha utilizado mais de um óculos, qual você gostou mais de utilizar?” (Figura 7), com 27 (50%) preferindo o MBCI. Esse modelo se destacou provavelmente por oferecer uma experiência mais direta e intuitiva no ambiente virtual. E 19 (35,2%) optando pelo MBCE, destacando-se por permitir uma navegação mais confortável e livre, embora não tenha alcançado a mesma preferência que o modelo com controle integrado. E 8 (14,8%) mostrando preferência pelo MBC. Esse modelo, sendo o mais simples e com menos recursos em comparação com os outros, foi menos atrativo para aqueles que tiveram a oportunidade de experimentar os modelos mais sofisticados.

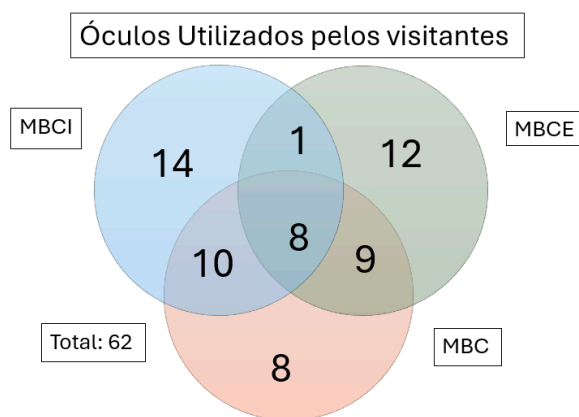


Figura 5. Diagrama de Venn ilustrando as interseções entre os conjuntos de protótipos utilizados.

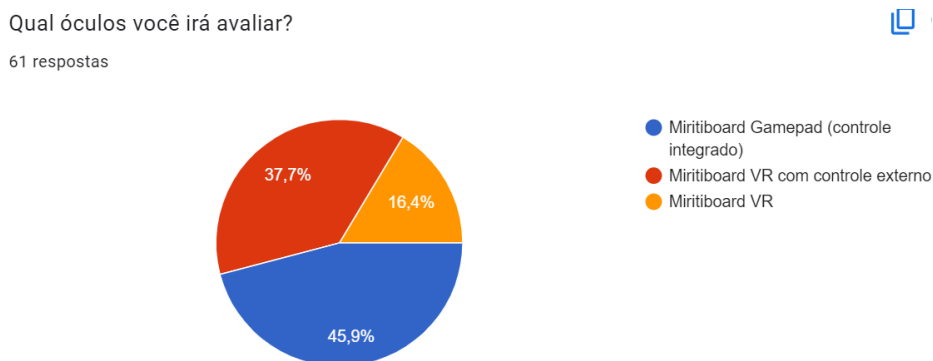


Figura 6. Percentual de avaliações dos protótipos.

Além disso, a percepção de inovação e melhorias tecnológicas associadas aos modelos com controle integrado e externo pode ter influenciado a decisão dos participantes. O MBC, por ser o modelo original e menos equipado, pode ter sido percebido como menos avançado ou menos interessante em comparação com os modelos mais novos, o que pode ter contribuído para sua menor popularidade. Outro fator pode ser a experiência direta dos participantes. Aqueles que escolheram o MiritiBoard com controle integrado ou externo podem ter sido mais atraídos pela possibilidade de experimentar novas tecnologias e inovações, o que pode ter sido mais alinhado com seus interesses ou expectativas.

A Tabela 1 apresenta as pontuações das avaliações SUS para os três protótipos, juntamente com a média aritmética ponderada e o desvio padrão. O MBC recebeu a melhor

nota geral de 86,5 em 100, indicando que os usuários o consideraram o mais eficaz ou confortável em termos de usabilidade, apesar de não ter sido o modelo mais popular. Em segundo lugar, o MBCI obteve uma nota de 82,05. Embora tenha sido o protótipo mais preferido pelos usuários, com 50% de preferência, sua pontuação SUS inferior à do modelo convencional sugere que, apesar da alta popularidade, a usabilidade pode ter apresentando algumas deficiências. Por último, o MiritiBoard com controle externo (MBCE) recebeu a menor nota, 79,24, Isso pode refletir uma menor aceitação geral ou alguns problemas específicos na usabilidade.

Caso tenha utilizado mais de um óculos, qual óculos você gostou mais de utilizar?
54 respostas

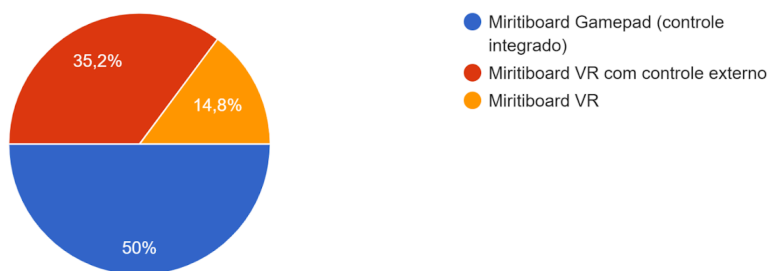


Figura 7. Percentual de preferência dos protótipos.

A média geral das avaliações foi de 81,9 em 100, calculada por uma média aritmética ponderada, considerando a quantidade de avaliadores para cada modelo. O desvio padrão de 3,07 demonstra que houve uma baixa variação nas notas entre os protótipos, sugerindo que todos foram bem avaliados, mas com diferenças sutis. A diferença de 7,26 pontos entre a nota mais alta e a mais baixa também reforça que, embora as notas variem, todos os protótipos receberam avaliações relativamente altas.

Tabela 1. Notas da avaliação do questionário SUS.

Nota SUS dos protótipos				
MBC	MBCI	MBCE	Todos	Desvio Padrão
86,50	82,05	79,24	81,90	3,07

Uma contradição notável é que, apesar de o MBCI ter sido o mais preferido pelos usuários nas perguntas iniciais, recebeu a pior pontuação na avaliação SUS. Em contraste, o MBC, o menos preferido, obteve a melhor pontuação SUS. Essa discrepância pode ser explicada pelo número reduzido de avaliações do modelo convencional, onde o tamanho das amostras afetou o resultado das notas SUS dos protótipos. O fato de os protótipos MBCE e MBCI serem novidades pode ter atraído mais participantes interessados nas novas funcionalidades, o que pode ter influenciado a preferência de forma maior pelas customizações do que pelo MBC. No entanto, a avaliação técnica da usabilidade revelou que o modelo convencional foi o melhor classificado, onde os 10 avaliadores, 16,4% do total, preferiram a simplicidade à sofisticação e customização.

A discrepância entre as notas de avaliação e as preferências dos usuários sugere que a inovação e os novos recursos dos protótipos, como controles integrados e externos, desempenharam um papel significativo na atração dos usuários, mesmo que esses recursos não tenham sido avaliados tão positivamente em termos de usabilidade técnica. Isso destaca a

importância de equilibrar inovação com usabilidade prática e considerar a percepção do usuário ao desenvolver e avaliar novos protótipos.

5. Cuidados Éticos

A coleta de dados, realizada por meio de um formulário criado na plataforma Google Forms, contém na primeira página o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), no qual os participantes foram convidados a ler e aceitar ou recusar antes do preenchimento do formulário. Nesse termo, foram plenamente informados de que estavam participando de uma pesquisa, recebendo detalhes sobre os objetivos do estudo, projeto ao qual a pesquisa estava vinculada, garantindo a transparência e o respeito à privacidade, e que suas respostas seriam tratadas conforme a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Devido à anonimização, por todos os respondentes serem maiores de idade, por não conter dados pessoais ou de natureza sensível, e a coleta ser realizado em ambiente interno da instituição de origem dos pesquisadores, não foi submetido ao CEP (Comitê de Ética em Pesquisa) valendo-se da resolução Nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde¹².

6. Considerações Finais

Neste trabalho, foram realizadas adaptações de hardware do MiritiBoard VR, com a adição de periféricos voltados a aprimorar a jogabilidade no jogo educacional Geometa. Os protótipos desenvolvidos exploram como esses periféricos adicionais podem enriquecer a experiência do usuário. Foi realizado testes de campo e coleta de avaliações dos usuários por meio do questionário SUS . Foram feitas modificações no software com a implementação de um mundo aberto para o uso conveniente dos protótipos. Nos testes experimentais, os participantes jogaram inicialmente a versão clássica do Geometa com o MiritiBoard VR convencional e, em seguida, versões complementares do MiritiBoard com controle integrado e controle externo no mundo aberto com elementos do Geometa. Após a experiência, cada usuário foi convidado a responder voluntariamente e de forma anônima o questionário de usabilidade.

Os resultados indicam que a adição de novos periféricos ao MiritiBoard VR tem o potencial de transformar a forma como os alunos interagem com o conteúdo educacional, tornando o aprendizado de geometria mais dinâmico e acessível. O uso de controladores adicionais ao headset enriquece a experiência de realidade virtual, tornando-a mais imersiva e confortável. Espera-se aprofundar as pesquisas sobre acessibilidade, com o objetivo de tornar o Geometa ainda mais inclusivo para estudantes com diferentes deficiências. Isso inclui o desenvolvimento de recursos específicos para alunos com deficiências visuais, auditivas ou cognitivas, através da inserção de novos periféricos, garantindo que todos possam se beneficiar do aplicativo.

Entre os trabalhos futuros do grupo de pesquisadores, destaca-se o desenvolvimento de avatares baseados em Inteligência Artificial Generativa (IAG), que personalizam o ensino, especialmente para alunos neurodivergentes. Além disso, também pretende-se utilizar instrumentos específicos de experiência de usuário que avaliem o ecossistema inteiro, incluindo o ambiente virtual do jogo, como avaliação da imersão e engajamento, utilizando ferramentas específicas de experiência do usuário em produtos interativos como o User Experience Questionnaire (UEQ)¹³ e demais outras.

¹² <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2016/Reso510.pdf>

¹³ <https://www.ueq-online.org/>

Referências

- Boucinha, R. M., & Tarouco, L. M. R. (2013). Avaliação de Ambiente Virtual de Aprendizagem com o uso do SUS - System Usability Scale. *Revista Novas Tecnologias Na Educação*, 11(3). <https://doi.org/10.22456/1679-1916.44479>.
- Brooke, J. (1996). "SUS: a 'quick and dirty' usability scale". In P. W. Jordan; B. Thomas; B. A. Weerdmeester; A. L. McClelland (eds.). *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis.
- Carmichael, C., Balderas, M. V., Ko, B., Nova, A., Tabafunda, A., & Uribe-Quevedo, A. (2020, November). Spring stepper: A seated VR locomotion controller. In *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)* (pp. 346-350). IEEE, doi: 10.1109/SVR51698.2020.00058.
- Grier, R. A., Bangor, A., Kortum, P., & Peres, S. C. (2013). The System Usability Scale: Beyond Standard Usability Testing. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 187-191. <https://doi.org/10.1177/1541931213571042>.
- Hoberman, P., Krum, D. M., Suma, E. A., & Bolas, M. (2012, March). Immersive training games for smartphone-based head mounted displays. In *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)* (pp. 151-152). IEEE, doi: 10.1109/VR.2012.6180926.
- Kodama, R., Koge, M., Taguchi, S., & Kajimoto, H. (2017, March). COMS-VR: Mobile virtual reality entertainment system using electric car and head-mounted display. In *2017 IEEE symposium on 3D user interfaces (3DUI)* (pp. 130-133). IEEE, doi: 10.1109/3DUI.2017.7893329.
- Marchal, M., Pettré, J., & Lécuyer, A. (2011, March). Joyman: A human-scale joystick for navigating in virtual worlds. In *2011 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (pp. 19-26). IEEE, doi: 10.1109/3DUI.2011.5759212.
- Oliveira Júnior, W., Estevam, L., Silva, B., Silva, J., Reis, M., & Seruffo, M. (2023). GeoMeta: Realidade Virtual e Aumentada no Ensino De Geometria. In *Anais do II Workshop sobre Interação e Pesquisa de Usuários no Desenvolvimento de Jogos*, (pp. 43-53). Porto Alegre: SBC. doi:10.5753/wiplay.2023.236289.
- Puritat, K., Thongthip, P., Nadee, W., Sirasakamol, O., & Sangamuang, S. (2022). Virtual reality locomotion in place for virtual museum exhibitions of culture heritage: comparing joystick Controller, Point & teleport and Arm Swinging. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(8), 91-99.
- Rupp, M. A., Oppold, P., & McConnell, D. S. (2013, September). Comparing the performance, workload, and usability of a gamepad and joystick in a complex task. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 57, No. 1, pp. 1775-1779). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Santos, R. D. S., & Coelho-Ferreira, M. (2011). Artefatos de miriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) em Abaetetuba, Pará: da produção à comercialização. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 6, 559-571.
- Silva, L. F., Pinheiro, M. D., Santos, R. R. D., & Schimiguel, J. (2016). O crescimento dos

jogos no mercado mobile e suas acessibilidades. *Revista Caribena de Ciencias Sociales*,(2016 02).

Vieira, E. E., & Medeiros, F. P. A. de. (2023). Estado da Arte sobre a Educação em Ambientes Imersivos do Metaverso. *Revista Brasileira De Informática Na Educação*, 31, 1248–1269. <https://doi.org/10.5753/rbie.2023.3522>.

Zhang, L., He, W., Cao, Z., Wang, S., Bai, H., & Billinghamurst, M. (2021, October). Simultaneous real walking and asymmetric input in virtual reality with a smartphone-based hybrid interface. In *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)* (pp. 321-323). IEEE, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00072.