

Use of tactile guides as haptic proxies in virtual medical simulation environments

Uso de guias táteis como proxies hápticos em ambientes virtuais de simulação médica

Antonio Carlos Vieira Araújo¹, Deivison da Silva Costa¹, Liliane S. Machado¹

¹LabTEVE / Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB - Brasil

Abstract. *Virtual reality has emerged as a powerful tool for medical training, offering safe and repeatable environments for practicing complex procedures. However, the high cost and functional limitations of commercial haptic devices, which simulate the sense of touch, hinder their widespread adoption in educational settings. This paper presents the development of a low-cost virtual reality application aimed at medical training, which uses everyday objects as tactile guides to provide haptic feedback. The system associates different physical objects with a single virtual scalpel, allowing the user to experience realistic tactile sensations such as shape, weight, and grip, without the need for specialized hardware. This approach seeks to increase immersion and the effectiveness of psychomotor skills training, offering an accessible and scalable alternative for medical education.*

Resumo. *A realidade virtual tem-se destacado como uma ferramenta poderosa no treinamento médico, oferecendo ambientes seguros e repetíveis para a prática de procedimentos complexos. Contudo, o alto custo e as limitações funcionais de dispositivos hápticos comerciais, que simulam o sentido do tato, dificultam sua ampla adoção em contextos educacionais. Este artigo apresenta um experimento de realidade virtual para o uso de objetos do dia a dia como guias táteis para prover retorno háptico em um ambiente virtual. O experimento associa diferentes objetos físicos a um único bisturi virtual, permitindo que o usuário experimente sensações táteis realistas de formato, peso e empunhadura de um objeto, sem a necessidade de hardware especializado. A abordagem busca ampliar a imersão e a eficácia no treino de habilidades psicomotoras, oferecendo uma alternativa acessível e escalável para a educação médica.*

1. Introdução

A Realidade Virtual (RV) tem revolucionado o treinamento em diversas áreas, com destaque para a saúde. A capacidade de criar simulações realistas e seguras permite que estudantes e profissionais de medicina pratiquem procedimentos invasivos, como cirurgias e suturas, sem riscos para os pacientes [Gani et al. 2022]. Um dos pilares para a eficácia desses treinamentos, especialmente aqueles que envolvem habilidades psicomotoras, é a interação tátil e a percepção de forças, sensações tradicionalmente providas por dispositivos hápticos.

Contudo, a adoção de sistemas hápticos em larga escala enfrenta barreiras significativas. Dispositivos com retorno de força, como o CyberGrasp, possuem um custo elevado, são volumosos e frequentemente limitam a mobilidade do usuário, exigindo uma infraestrutura complexa [Pacchierotti et al. 2017]. Por outro lado, soluções mais acessíveis, como dispositivos vestíveis, geralmente se restringem a retornos vibratórios, o que é insuficiente para a complexidade de um procedimento cirúrgico [Tong et al. 2023].

Diante desse cenário, abordagens alternativas buscam contornar tais limitações. Os avanços em visão computacional e sensores de baixo custo permitem que objetos do mundo real sejam reconhecidos e integrados a ambientes virtuais. Essa integração, conhecida como “realidade substitucional” [Simeone et al. 2015], propõe o uso de objetos físicos comuns como “guias táteis” ou “proxies hápticos”, que são mapeados para objetos virtuais correspondentes. Assim, o usuário manipula um objeto real, sentindo seu peso, forma e textura, enquanto visualiza e interage com sua contraparte virtual.

Este artigo descreve o desenvolvimento de um experimento de RV para simulação médica que explora essa abordagem. O objetivo foi criar uma aplicação de baixo custo que utiliza objetos cotidianos para simular o uso de um bisturi, investigando como essa técnica pode enriquecer a experiência de treinamento sem a necessidade de hardware especializado.

2. Interação Háptica e o Uso de Guias Táteis em Realidade Virtual

A interação em RV é o que permite ao usuário não apenas observar, mas atuar dentro do ambiente virtual. Para que essa atuação seja intuitiva e eficaz, é crucial que o sistema forneça uma resposta sensorial congruente com as ações do usuário. No contexto de simulações médicas, o feedback tátil é essencial para o desenvolvimento da propriocepção, ou seja, da capacidade de perceber a posição e o movimento do corpo [Weber et al. 2021]. Os dispositivos hápticos são a principal tecnologia para fornecer essa resposta sensorial.

Uma das abordagens mais promissoras como alternativa ao uso de sistemas hápticos é a de guias táteis passivos, onde objetos físicos reais são associados a objetos virtuais. Simeone et al. [Simeone et al. 2015] introduziram o conceito de “realidade substitucional”, demonstrando que um objeto real pode ser mapeado para um objeto virtual diferente, desde que haja uma correspondência funcional. Isso permite que um simples objeto físico enriqueça a interação háptica, sem a necessidade de uso de dispositivos hápticos. A Figura 1 ilustra esse conceito, onde um objeto real é capturado pelo sistema e substituído por um modelo virtual, permitindo que o usuário veja o objeto virtual enquanto o percebe fisicamente.

Estudos subsequentes exploraram como otimizar essa correspondência. Hettiarachchi e Wigdor [Hettiarachchi and Wigdor 2016] desenvolveram um sistema que escaneia dinamicamente o ambiente para encontrar objetos físicos que correspondam geometricamente aos objetos virtuais necessários. Já Kobeisse e Holmquist [Kobeisse and Holmquist 2022] compararam diferentes interfaces e concluíram que, mesmo um objeto genérico (como um cilindro de madeira) oferece uma experiência mais imersiva do que interfaces puramente visuais ou marcadores planos, reforçando a validade dos guias táteis como uma alternativa prática e econômica.

Esses trabalhos fundamentam a proposta deste projeto: utilizar a simplicidade

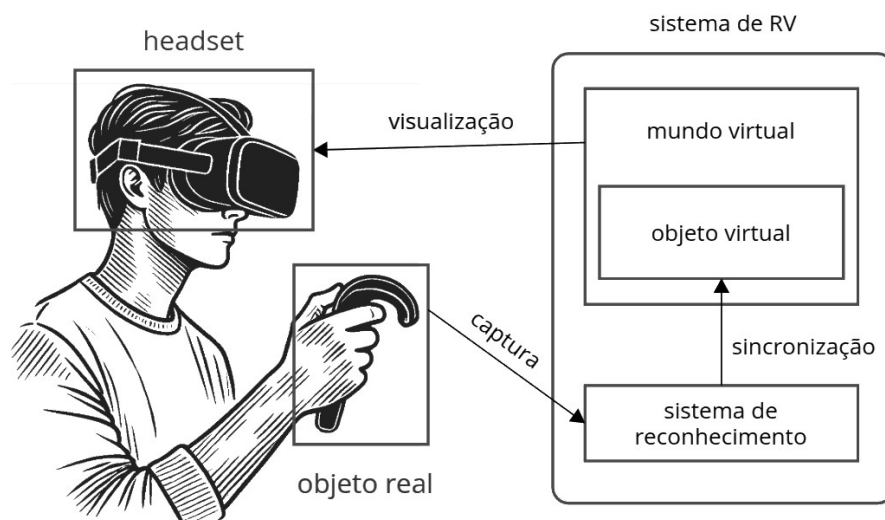


Figura 1. Esquema de uso de guia tátil em um sistema de realidade virtual.

dos guias táteis para criar um experimento de simulação médica acessível, focando na correspondência entre as propriedades físicas do objeto real (peso, forma, empunhadura) e a funcionalidade do instrumento virtual.

3. Desenvolvimento

3.1. Materiais e Métodos

Para validar a abordagem de guias táteis em um contexto de treinamento médico, foi desenvolvida uma aplicação de RV que simula um procedimento de incisão. O sistema foi projetado para ser executado em dispositivos de baixo custo, visando máxima acessibilidade.

A aplicação foi desenvolvida utilizando o motor de jogo Unity (versão 2021.3.16f1) e o SDK da Meta para a plataforma Quest. O *hardware* utilizado foi o Meta Quest 2, um Head-Mounted Display (HMD) autônomo (*standalone*), que elimina a necessidade de um computador externo e oferece rastreamento de 6 graus de liberdade (6-DoF) para a cabeça. A escolha por este dispositivo se deu por seu baixo custo, popularidade e por possuir sensores integrados que, em trabalhos futuros, podem ser utilizadas para o rastreamento dos objetos físicos.

3.2. O Ambiente Virtual e a Tarefa

O cenário virtual consiste em uma sala de procedimentos simples, onde o usuário se encontra sentado em frente a uma mesa. Sobre a mesa, são apresentados quatro bisturis virtuais idênticos, identificados pelas letras A, B, C e D. Ao lado dos bisturis, há uma “zona cirúrgica”, representada por um círculo laranja, onde o usuário deve realizar a tarefa de incisão (Figura 2, esquerda).

A tarefa consiste em pegar cada um dos bisturis virtuais e realizar um corte no círculo laranja. A interação de pegar o objeto virtual é feita através dos controladores padrão do Meta Quest 2.

3.3. Mapeamento dos Guias Táteis

O núcleo do experimento reside na sua contraparte física. Para cada bisturi virtual, foi designado um objeto real correspondente (guia tátil) posicionado na mesa real exatamente no mesmo local de sua versão virtual. Essa correspondência 1:1 é crucial para que o usuário, ao alcançar o bisturi virtual, pegue simultaneamente seu análogo físico. A Figura 2 mostra a sobreposição do ambiente virtual (esquerda) com o ambiente real (direita).

Os seguintes objetos foram utilizados como guias táteis:

- **Lápis Grafite:** Utilizado como guia para o Bisturi A, foi escolhido por sua empunhadura familiar e forma cilíndrica.
- **Régua de Plástico:** Representando o Bisturi B, este é um objeto comprido e chato, pouco ergonômico para a tarefa.
- **Seringa de Plástico:** Associada ao Bisturi C, possui uma empunhadura específica, mas diferente da de um bisturi.
- **Bisturi Real (sem lâmina):** Usado como guia para o Bisturi D, escolhido pela alta fidelidade tátil.

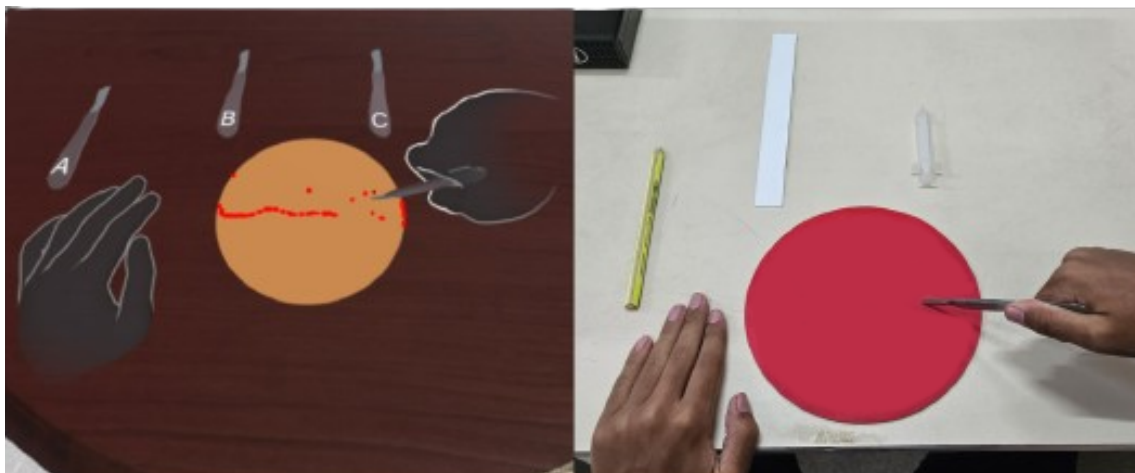


Figura 2. À esquerda, o cenário virtual com os quatro bisturis. À direita, o cenário real com os objetos físicos (guias táteis) correspondentes.

Quando o usuário executa a ação de pegar um dos bisturis virtuais com o controlador, ele pega também o objeto físico correspondente. Dessa forma, o sistema combina o *feedback* visual da RV com o *feedback* tátil do objeto real.

4. Discussão

O desenvolvimento desta aplicação objetivou verificar a viabilidade de combinar objetos virtuais e objetos reais, bem como investigar como o peso, a empunhadura e o tamanho podem influenciar na percepção do usuário, ou seja, como esta percepção afeta a imersão do usuário na experiência virtual. Como desdobramento pode ser citada a viabilidade de se criar experiências de treinamento médico mais imersivas com recursos de baixo custo. A principal vantagem da abordagem de guias táteis é a capacidade de fornecer um *feedback* háptico rico e passivo, que os controladores de RV por si só não conseguem replicar. Características como o peso distribuído de um objeto, sua sensação térmica

(metal vs. plástico) e a ergonomia de sua empunhadura são transmitidas de forma natural ao usuário.

A escolha de mapear múltiplos objetos reais para um único objeto virtual foi intencional. Permitiu, em um contexto de avaliação posterior [Costa et al. 2025], com 12 universitários de diferentes áreas, analisar como diferentes graus de fidelidade tátil impactam a experiência. O bisturi real (Guia D) oferece a sensação mais autêntica, enquanto a régua (Guia B) representa o extremo oposto, criando uma dissonância cognitivo-tátil. O lápis (Guia A) e a seringa (Guia C) exploram um meio-termo, onde a forma é plausível, mas não idêntica. Essa classificação reflete na resposta dos participantes quando solicitado para avaliarem numa escala de 1 a 6 o quão confortável ou desconfortável foi o uso de cada guia tátil, os quais respectivamente pontuaram 5,5 (guia D), 3,5 (guia B), 5 (guia A) e 4 (guia C).

Limitações da abordagem proposta podem ser observadas com o experimento. A principal delas é a ausência de rastreamento do objeto físico. Assim, alterações no posicionamento dos objetos físicos não são sincronizadas com o ambiente virtual. Portanto, se o usuário soltar ou rotacionar o objeto físico de forma independente da sua contraparte virtual, a correspondência visual-tátil é quebrada, o que prejudica a imersão. Outra limitação refere-se à escolha do objeto utilizado como guia tátil que, ao apresentar características muito distintas do objeto representado no ambiente virtual, pode comprometer a sensação de presença do usuário [Kwon et al. 2009] [Weber et al. 2021].

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou o desenvolvimento de um experimento em um ambiente de realidade virtual para treinamento médico que utiliza objetos do dia a dia como guias táteis. A abordagem apresentada representa um avanço significativo em relação às simulações que dependem exclusivamente de controles. O experimento busca ampliar a discussão sobre a possibilidade de prover *feedback* háptico em ambientes virtuais sem recorrer a dispositivos hápticos caros e complexos. Ao associar objetos físicos a um instrumento cirúrgico virtual, a aplicação cria uma ponte acessível para simulações mais realistas e imersivas, com potencial para ambientes educacionais.

As limitações da abordagem, especialmente a falta de rastreamento do objeto físico, abrem caminhos claros para trabalhos futuros. O próximo passo consiste em explorar as capacidades de visão computacional para desenvolver um algoritmo de reconhecimento e rastreamento de objetos. Isso eliminaria a dependência do alinhamento manual com o controlador, permitindo uma manipulação mais natural e robusta do guia tátil.

6. Agradecimentos

Este trabalho recebeu suporte do CNPq (processo 315298/2018-9) e do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal da Paraíba.

Referências

Costa, D., Araújo, A., and Machado, L. (2025). Explorando objetos do dia a dia como guias táteis para simulação médica em realidade virtual. In *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*, pages 533–544, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.

- Gani, A., Pickering, O., Ellis, C., Sabri, O., and Pucher, P. (2022). Impact of haptic feedback on surgical training outcomes: A randomised controlled trial of haptic versus non-haptic immersive virtual reality training. *Annals of Medicine and Surgery*, 83:104734.
- Hettiarachchi, A. and Wigdor, D. (2016). Annexing reality: Enabling opportunistic use of everyday objects as tangible proxies in augmented reality. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pages 1957–1967, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Kobeisse, S. and Holmquist, L. (2022). “i can feel it in my hand”: Exploring design opportunities for tangible interfaces to manipulate artefacts in ar. pages 28–36.
- Kwon, E., Kim, G. J., and Lee, S. (2009). Effects of sizes and shapes of props in tangible augmented reality. In *2009 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 201–202, Orlando, FL, USA.
- Pacchierotti, C., Sinclair, S., Solazzi, M., Frisoli, A., Hayward, V., and Prattichizzo, D. (2017). Wearable haptic systems for the fingertip and the hand: Taxonomy, review, and perspectives. *IEEE Transactions on Haptics*, 10(4):580–600.
- Simeone, A. L., Velloso, E., and Gellersen, H. (2015). Substitutional reality: Using the physical environment to design virtual reality experiences. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pages 3307–3316.
- Tong, Q., Wei, W., Zhang, Y., Xiao, J., and Wang, D. (2023). Survey on hand-based haptic interaction for virtual reality. *IEEE Transactions on Haptics*, 16(2):154–170.
- Weber, S., Weibel, D., and Mast, F. W. (2021). How to get there when you are there already? defining presence in virtual reality and the importance of perceived realism. *Frontiers in Psychology*, 12.