

# Uso de tecnologias imersivas para avaliação do comportamento e seus desafios de implementação na Indústria

Mateus Nazário Coelho<sup>1</sup>, Saul Delabrida<sup>2</sup>, Flávia Silvas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PROFICAM – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Rua Professor Paulo Magalhães, S/N - Conj. Laboratórios da Escola de Minas, UFOP

<sup>2</sup>Departamento de Computação – Universidade Federal de Ouro Preto  
Campus Universitário Morro do Cruzeiro, UFOP

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico Vale – Mineração  
Rua Professor Paulo Magalhães, S/N - Conj. Laboratórios da Escola de Minas, UFOP

mateusnazarioc@gmail.com, saul.delabrida@ufop.edu.br, Flavia.silvas@gmail.com

**Abstract.** *Recent researches show promising results on immersive technologies, as they provide a safe and effective tool for representing hazardous environments that are often difficult to replicate in the real world. However, there is a gap in research on behavioral changes in users after using these technologies and on what the challenges would be for implementing them in the Industry, in addition to not evaluating the effectiveness of using industrial processes and training. This work seeks to evaluate and answer these questions using a case study in the Mining Industry, by using modern technologies for this evaluation.*

**Resumo.** *Tecnologias imersivas mostram-se promissoras como um mecanismo seguro e ilustrativo para representar ambientes perigosos e que, muitas vezes, são difíceis de replicar no mundo real. Porém, há uma lacuna na pesquisa sobre mudanças comportamentais nos usuários após a utilização destas tecnologias e sobre quais seriam os desafios para implantar na Indústria, além de não avaliarem sobre a efetividade na utilização de processos industriais e treinamentos. Este trabalho busca avaliar e responder estes questionamentos com um caso de estudo da Mineração, utilizando tecnologias modernas para esta reflexão e avaliação.*

## 1. Introdução

O treinamento de segurança do trabalho é essencial para empresas em nível mundial, pois visa prevenir acidentes e desastres, além de promover o bem-estar dos colaboradores que devem desenvolver suas habilidades para analisar riscos e tomar decisões corretas [Villani et al. 2022]. Neste contexto, tecnologias imersivas têm mostrado resultados promissores, pois oferecem um mecanismo seguro para simular ambientes perigosos que são difíceis de replicar no mundo real [Pedram et al. 2017]. [Guo et al. 2020] descreve que tecnologias imersivas são fundamentais para implementar a Indústria 4.0 na prática, especialmente quando combinadas com outras tecnologias emergentes. No entanto, ainda há uma lacuna de estudos de tecnologias imersivas no nível de mudança comportamental [Stefan et al. 2023], ou seja, que avaliem as mudanças de comportamento dos usuários após a utilização de treinamentos imersivos. Destaca-se aqui a necessidade

de pesquisas pioneiras nessa área. Desta forma, este trabalho propõe avaliar os desafios da implementação de sistemas de Realidade Virtual (RV) na indústria, com foco em mudanças comportamentais e efeitos nos usuários.

## **2. Revisão da Literatura**

### **2.1. Realidade Virtual**

O termo Realidade Virtual (RV) surge no final da década de 80, no trabalho de [Lanier and Biocca 1992], através da proposta da fusão entre o real e o imaginário. Dentre os sistemas de RV mais famosos estão o *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE), que utiliza da projeção em um ambiente fechado para inserir o usuário em um ambiente virtual, e o *Head-Mounted Display* (HMD), que funciona como um capacete vestível, sendo este mais popular e com melhor custo-benefício [Havig et al. 2011].

### **2.2. Unity**

Unity é uma plataforma para desenvolvimento de jogos, capaz de oferecer uma experiência completa para o desenvolvedor como simulação de física, detecção de colisão e utilização de ferramentas imersivas como RV e Realidade Aumentada (RA), tendo suporte para diversos dispositivos do mercado [Isar 2018]. Além disso, conforme descrito por [Nguyen and Dang 2017], o Unity é escolhido usualmente por sua comunidade extensa, grande variedade de modelos disponíveis, utilização de linguagens de programação populares (como C#, Javascript e Java) e principalmente como o motor de jogos mais conhecido e flexível para desenvolvimento em RV.

### **2.3. xAPI**

A Experience API (xAPI) é uma arquitetura de aprendizado, que busca capturar dados gerados pelo usuário por meio do registro de suas ações e reações com um *Learning Management System* (LMS) ou uma aplicação em RV, por exemplo. Os dados gerados são salvos dentro da arquitetura de banco de dados chamada *Learning Record Store* (LRS), que poderá ser processada e analisada posteriormente com ferramentas e técnicas de análise [Nouira et al. 2018]. Uma das vantagens da utilização do padrão xAPI vem de sua facilidade de integração e interoperabilidade entre sistemas [Vidal et al. 2015].

### **2.4. Rastreamento Ocular**

O rastreamento ocular dentro dos *hardwares* de RV é feito por uma estimação da direção de onde os olhos estão apontando (utilizando de sensores infravermelhos), sendo útil para desenvolvimento de personificações mais reais ou até como forma de entrada de dados e movimentação do usuário dentro de um cenário em RV [Adhanom et al. 2023].

### **2.5. Brain-Computer Interface**

Com a evolução da medicina e das tecnologias, aliada à necessidade de compreender e utilizar do complexo sistema que é o cérebro, surgiram as primeiras pesquisas na década de 70 com um dispositivo capaz de extrair sinais cerebrais e enviá-los para um dispositivo externo, como um braço robótico [Kober and Neuper 2012]. De acordo com [Yadav et al. 2020], estes sinais podem ser medidos direta ou indiretamente do cérebro, sendo o Eletroencefalograma (EEG) uma forma de coleta tradicional das atividades cerebrais por meio do uso de eletrodos. Desta forma, surge o *Brain-Computer Interface* (BCI) como uma interface tecnológica entre as atividades cerebrais e um dispositivo externo.

## 2.6. Trabalhos relacionados

[Grabowski and Jankowski 2015] destacam a importância de técnicas de treinamento em RV na mineração, em especial, no treinamento de detonação de explosivos subterrâneos. Eles comparam métodos altamente imersivos (luvas com feedback háptico) com métodos tradicionais (joysticks). Apesar do feedback positivo, não houve uma análise profunda sobre as mudanças comportamentais dos participantes. [Howard and Zandt 2021] em sua meta-análise abordam os efeitos de cinetose (*motion sickness*) durante experiências de RV, enfatizando os desafios e benefícios dessa tecnologia em cenários de treinamento de difícil replicação. Por fim, [Bailey et al. 2022] relacionam a cinetose à incapacidade do usuário de se estabilizar durante a experiência em RV, apontando a falta de pesquisas experimentais para analisar empiricamente esses efeitos negativos.

## 3. Metodologia

Um diagrama do sistema proposto pode ser visualizado na Figura 1.

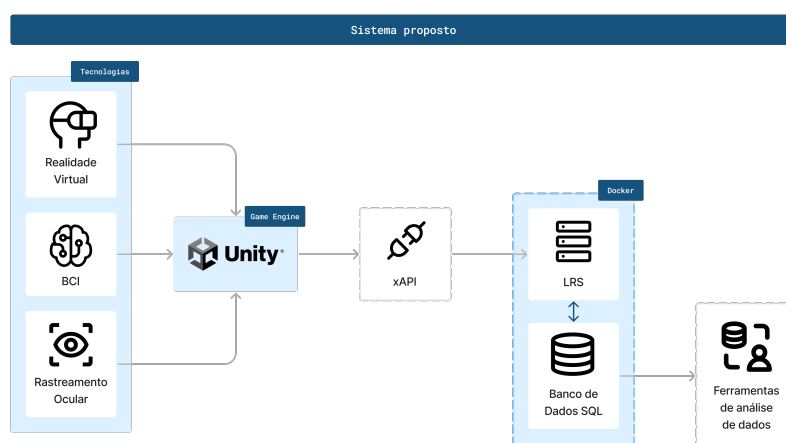


Figura 1. Sistema proposto para coleta dos dados, registro e análise.

Quanto às tecnologias utilizadas no sistema, o motor de jogos escolhido é o Unity, por sua diversa gama de ferramentas para desenvolvimento em RV, além de uma comunidade ativa e a possibilidade de integração com diversos dispositivos imersivos do mercado. Já o *hardware* RV escolhido é o Meta Quest Pro, pois possui funcionalidade de rastreamento ocular, permitindo coleta de dados de atenção através do SDK nativo da Meta para o Unity. O BCI utilizado para coleta de dados cerebrais será o da Unicorn, por ser um BCI não invasivo com oito eletrodos que contém *Application Programming Interface* (API) e *Software Development Kit* (SDK) em diversas linguagens e integração com o Unity, oferecendo um conjunto de ambientes de *software* e ferramentas customizáveis. Por fim, a tecnologia de rastreio das ações e tempo de resposta dos participantes será a xAPI. Suas principais vantagens incluem a capacidade de capturar dados detalhados em atividades de aprendizagem, além de plataformas tradicionais de *e-learning*. Com o sistema desenvolvido, será formado um grupo de participantes voluntários para a execução dos experimentos. Os testes e análises dos resultados serão realizados após a definição e redação dos planos de testes e aceitação pelo Comitê de Ética da Universidade.

| Atividade                        | Data Prevista     | Concluído    |
|----------------------------------|-------------------|--------------|
| Realização das Disciplinas       | 03/2023 a 12/2023 | Sim          |
| Exame de Qualificação            | 03/2024           | Sim          |
| Integração das tecnologias       | 04/2024 a 09/2024 | Em andamento |
| Escrita e submissão de artigo    | 04/2024 a 07/2024 | Em andamento |
| Submissão de projeto para Comitê | 08/2024           | Em andamento |
| Execução de testes com usuários  | 10/2024 a 01/2025 | Não          |
| Avaliação dos resultados         | 02/2025           | Não          |
| Escrita da Dissertação           | 01/2025 a 03/2025 | Não          |
| Defesa da Dissertação            | 03/2025           | Não          |

**Tabela 1. Cronograma de atividades realizadas e etapas futuras**

#### 4. Resultados Preliminares e Cronograma

Até o momento foram concluídos os créditos previstos para o término do curso e o sistema virtual do caso de estudo da Mineração encontra-se desenvolvido, conforme descrito também no trabalho de [Fernandes et al. 2023]. Nos próximos meses, busca-se finalizar a escrita do projeto para submissão ao Comitê de Ética, além de integrar as funcionalidades de rastreamento ocular e BCI ao projeto existente (Tabela 1).

#### 5. Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) código financiamento 306101/2021-1, FAPESP código de financiamento APQ-00890-23, Instituto Tecnológico Vale (ITV) e Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

#### Referências

- Adhanom, I. B., MacNeilage, P., and Folmer, E. (2023). Correction to: Eye tracking in virtual reality: a broad review of applications and challenges. *Virtual Reality*, 27(2):1569–1570.
- Bailey, G. S., Arruda, D. G., and Stoffregen, T. A. (2022). Using quantitative data on postural activity to develop methods to predict and prevent cybersickness. *Frontiers in Virtual Reality*, 3:1001080.
- Fernandes, P., Delabrida, S., Coelho, B., and Silvas, F. (2023). Avaliação da inclusão de operadores na indústria 4.0 por meio de instalações interativas virtuais: Caso de estudo de carregamento de vagões na mineração. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*, pages 204–208, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Grabowski, A. and Jankowski, J. (2015). Virtual reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*, 72:310–314.
- Guo, Z., Zhou, D., Zhou, Q., Zhang, X., Geng, J., Zeng, S., Lv, C., and Hao, A. (2020). Applications of virtual reality in maintenance during the industrial product lifecycle: A systematic review. *Journal of Manufacturing Systems*, 56:525–538.

- Havig, P., McIntire, J., and Geiselman, E. (2011). Virtual reality in a cave: Limitations and the need for hmds? *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 8041:58–63.
- Howard, M. C. and Zandt, E. C. V. (2021). A meta-analysis of the virtual reality problem: Unequal effects of virtual reality sickness across individual differences. *Virtual Reality*, 25(4):1221–1246.
- Isar, C. (2018). A glance into virtual reality development using unity. *Informatica Economica*, 22(3):14–22.
- Kober, S. E. and Neuper, C. (2012). Using auditory event-related eeg potentials to assess presence in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(9):577–587.
- Lanier, J. and Biocca, F. (1992). An insider's view of the future of virtual reality. *Journal of Communication*, 42(4):150–172.
- Nguyen, V. T. and Dang, T. (2017). Setting up virtual reality and augmented reality learning environment in unity. In *Adjunct Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2017*, pages 315–320. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Nouira, A., Cheniti-Belcadhi, L., and Braham, R. (2018). An enhanced xapi data model supporting assessment analytics. *Procedia Computer Science*, 126:566–575. Knowledge-Based and Intelligent Information And Engineering Systems: Proceedings of the 22nd International Conference, KES-2018, Belgrade, Serbia.
- Pedram, S., Perez, P., Palmisano, S., and Farrelly, M. (2017). Evaluating 360-virtual reality for mining industry's safety training. In *HCI International 2017-Posters' Extended Abstracts: 19th International Conference, HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017, Proceedings, Part I 19*, volume 713, pages 555–561. Springer Verlag.
- Stefan, H., Mortimer, M., and Horan, B. (2023). Evaluating the effectiveness of virtual reality for safety-relevant training: a systematic review. *Virtual Reality*, 27(4):2839 – 2869.
- Vidal, J. C., Rabelo, T., and Lama, M. (2015). Semantic description of the experience api specification. In *Proceedings - IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies: Advanced Technologies for Supporting Open Access to Formal and Informal Learning, ICALT 2015*, page 268 – 269.
- Villani, V., Gabbi, M., and Sabattini, L. (2022). Promoting operator's wellbeing in industry 5.0: detecting mental and physical fatigue. In *2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pages 2030–2036.
- Yadav, D., Yadav, S., and Veer, K. (2020). A comprehensive assessment of brain computer interfaces: Recent trends and challenges. *Journal of Neuroscience Methods*, 346:108918.