

Avaliação da Usabilidade de Ecossistema de Metaverso Educacional

Luan da Silva, Matheus Gomes, Pedro Andrade, Filipe Fernandes

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais
IF Sudeste MG - Campus Manhuaçu
Manhuaçu – MG – Brasil

{luanfelicio1122, matheusoligoms, pborela2014}@gmail.com,
filipe.fernandes@ifsudestemg.edu.br

Abstract. *This work presents the development and usability evaluation of the Educational Metaverse Ecosystem (EME), which was designed to be collaborative and scalable, allowing the community to actively contribute virtual worlds. The evaluation, conducted with an expert, yielded scores of 57.5 for the Web Platform (good) and 37.5 for the Virtual Museum (poor). Despite these scores, the assessment helped identify critical issues and clear opportunities for improvement, reinforcing the pedagogical potential of the proposal. Furthermore, the results highlight that developing virtual worlds involves non-trivial technical and design challenges, requiring iterative and multidisciplinary approaches to ensure effective immersive experiences in educational contexts.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação de usabilidade do Ecossistema de Metaverso Educacional (EME), o qual foi projetado para ser colaborativo e escalável, possibilitando a contribuição ativa de mundos virtuais pela comunidade. A avaliação, realizada com um especialista, obteve pontuações de 57,5 para a Plataforma Web (bom) e 37,5 para o Museu Virtual (ruim). Apesar das pontuações, a avaliação permitiu identificar pontos críticos e oportunidades claras de melhoria, reforçando o potencial pedagógico da proposta. Além disso, os resultados evidenciam que o desenvolvimento de mundos virtuais envolve desafios técnicos e de design não triviais, que demandam abordagens iterativas e multidisciplinares para garantir experiências imersivas eficazes no contexto educacional.*

1. Introdução

O avanço das tecnologias imersivas e o crescimento do interesse pelo metaverso têm impulsionado novas possibilidades para a educação, especialmente no que diz respeito à criação de experiências de aprendizagem mais engajadoras e significativas [Fernandes et al. 2023]. Nesse contexto, torna-se relevante o desenvolvimento de ecossistemas educacionais capazes de integrar diferentes recursos digitais de forma interativa e acessível. O Ecossistema de Metaverso Educacional (EME) surge com esse propósito: oferecer uma infraestrutura tecnológica flexível e escalável para apoiar o ensino de diferentes tópicos da educação básica por meio de experiências imersivas.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do EME, composto por uma Plataforma Web e um Aplicativo de Realidade Estendida (XR App) denominado Museu Virtual, com aplicação inicial no ensino da história da cidade de Manhuaçu. A proposta busca

explorar o potencial de tecnologias web (React, Node.js, MongoDB, Docker) e imersivas com o framework A-Frame para criar um ambiente digital interativo e acessível à educação básica. O objetivo principal é apresentar o processo de concepção e avaliação do EME, com base no paradigma Design Science Research (DSR), que orienta a construção e avaliação de artefatos tecnológicos voltados à solução de problemas reais. O desenvolvimento seguiu as etapas propostas por Hevner et al. 2004, desde a identificação do problema até a comunicação dos resultados. A avaliação foi conduzida com um especialista em Metaverso e aprendizagem imersiva, por meio da aplicação de um questionário de tarefas e da System Usability Scale (SUS).

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o Ecossistema de Metaverso Educacional e seus principais componentes; a Seção 3 descreve o planejamento da avaliação, incluindo os instrumentos utilizados e o perfil do avaliador; a Seção 4 expõe os resultados obtidos e promove uma discussão crítica com base nos dados coletados; por fim, a Seção 5 traz as conclusões do estudo e propõe trabalhos futuros.

2. Ecossistema de Metaverso Educacional

Este trabalho apresenta o EME, uma plataforma baseada em metaverso voltada à educação básica, inspirada na arquitetura do MetaSEE [Fernandes 2023]. Adaptando sua estrutura original, o EME integra mundos virtuais com conteúdos instrucionais, promovendo experiências imersivas fundamentadas na Aprendizagem Imersiva [Mystakidis and Lympouridis 2023]. Os estudantes interagem com objetos educacionais e realizam missões pedagógicas em ambientes digitais interativos. A arquitetura do EME é representada por meio do diagrama de *containers* do C4 Model [Brown 2024], permitindo uma visualização clara dos principais componentes e suas interações, conforme apresentado na Figura 1.

O EME visa oferecer suporte ao ensino de diferentes componentes curriculares da educação básica por meio de experiências interativas e significativas. A plataforma web oferece uma interface intuitiva para professores, alunos e gestores, permitindo o gerenciamento de usuários, o acesso a mundos virtuais e a criação de atividades pedagógicas. Com o componente *Builder*, docentes podem personalizar experiências no Metaverso sem necessidade de programação. Os *XR Apps*, por sua vez, proporcionam ambientes 3D interativos, enriquecidos com extensões educacionais baseadas em A-Frame, como *quizzes*, mapas e simulações. A arquitetura também permite integração com *XR Apps* externos via *API*, e incorpora um módulo de *Learning Analytics* responsável por coletar e analisar dados multimodais, apoiando o acompanhamento do progresso dos estudantes e a tomada de decisões pedagógicas mais fundamentadas.

3. Planejamento da Avaliação

A avaliação do EME teve como foco analisar usabilidade, navegabilidade e potencial pedagógico da Plataforma Web e do Museu Virtual. Foi adotada uma abordagem exploratória, condizente com o caráter iterativo do paradigma DSR, envolvendo um especialista com experiência em Metaverso e aprendizagem imersiva. Em Interação Humano-Computador (IHC), é amplamente aceito realizar avaliações com especialistas — mesmo que seja apenas um — especialmente nas fases iniciais de validação, pois sua experiência fornece *insights* valiosos para o aprimoramento do sistema [Nielsen and Molich 1990].

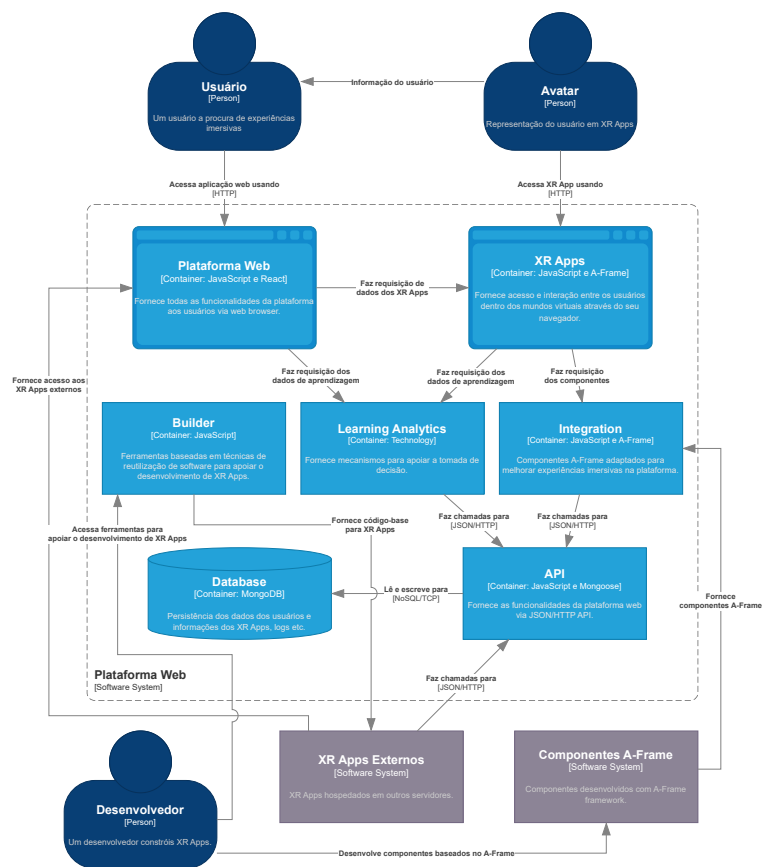


Figura 1. Visão de container do EME

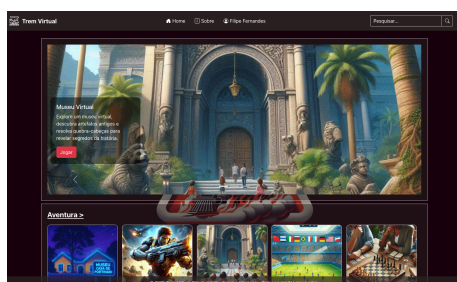
Ambos os artefatos foram avaliados separadamente, com a aplicação de três instrumentos: um questionário demográfico, um questionário de tarefas e a escala SUS. As tarefas e os conteúdos foram adaptados para refletir as particularidades da Plataforma Web e da experiência imersiva oferecida pelo Museu Virtual.

3.1. Prova de Conceito

Apresenta-se dois dos principais artefatos do ecossistema: a Plataforma Web e o Museu Virtual. A plataforma, conforme Figura 2(a), funciona como ambiente de entrada para os XR Apps, oferecendo uma navegação intuitiva por conteúdos educacionais e foi desenvolvida com React, Node.js, MongoDB e Docker. Já o Museu Virtual é um XR App voltado ao ensino de história local, com réplicas 3D de artefatos e ambientes imersivos, construído com A-Frame e integrado a uma aplicação React, conforme demonstra a Figura 2(b).

4. Resultados

A avaliação do EME contemplou dois de seus principais artefatos (a Plataforma Web e o Museu Virtual) por meio da aplicação de três instrumentos: questionário demográfico, questionário de tarefas e escala SUS. A análise foi realizada por um especialista em Metaverso e aprendizagem imersiva, com formulários adaptados às particularidades de cada artefato. Os resultados são discutidos em três partes: Plataforma Web, Museu Virtual e discussões.



(a) Plataforma web



(b) Sala principal da Casa de Cultura

Figura 2. Plataforma e Museu Virtual do Ecossistema de Metaverso Educacional

4.1. Plataforma Web

A avaliação foi conduzida por um especialista com ampla experiência em metaverso e aprendizagem imersiva, cuja familiaridade com tecnologias educacionais contribuiu para uma análise crítica e fundamentada dos artefatos. Trata-se de um homem de 40 anos, com acesso regular à internet e uso frequente de computadores e dispositivos móveis em contextos educacionais. Para mensurar a usabilidade percebida, foi aplicada a escala SUS, instrumento amplamente reconhecido na literatura. A Plataforma Web obteve um escore de 57,5, o que corresponde à faixa “bom”, segundo a classificação adotada baseada em [Bangor et al. 2009]. Esse resultado indica que o artefato foi considerado funcional e usável, embora tenha revelado oportunidades de melhoria, especialmente quanto à fluidez da navegação e à clareza das instruções em algumas etapas da interação.

4.1.1. Museu Virtual

No caso do Museu Virtual, foi aplicada a mesma metodologia de avaliação de usabilidade, por meio do SUS. O especialista respondeu às dez afirmações do instrumento com base em sua experiência de navegação no ambiente imersivo, resultando em um escore de 37,5 pontos. De acordo com a faixa interpretativa adotada neste estudo, esse valor é classificado como “ruim”, indicando que a experiência de uso apresentou barreiras à usabilidade percebida. Embora o especialista tenha reconhecido o potencial educativo e o valor da ambientação histórica do museu, foram apontadas dificuldades relacionadas à navegação no espaço tridimensional, à ausência de instruções claras no início da experiência e a limitações na responsividade dos elementos interativos. Esses fatores impactaram negativamente a fluidez da interação, sugerindo a necessidade de aprimoramentos técnicos e pedagógicos para garantir uma experiência mais acessível e eficiente aos usuários finais.

4.2. Discussões

A Figura 3 apresenta os escores SUS da Plataforma Web e do Museu Virtual, oferecendo uma visão quantitativa da usabilidade percebida. No entanto, os registros qualitativos do especialista revelaram limitações específicas e forneceram *insights* valiosos para identificar pontos críticos e oportunidades de melhoria, conforme detalhado na análise por artefato.

Embora a Plataforma Web tenha obtido um escore SUS considerado bom, a avaliação qualitativa revelou falhas funcionais que prejudicam a experiência do usuário,

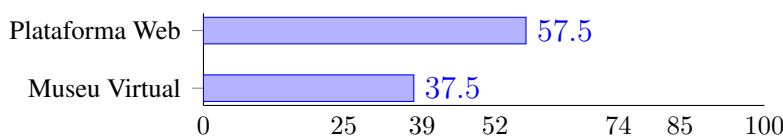


Figura 3. Pontuações SUS obtidas na avaliação da Plataforma Web e do Museu Virtual.

como links pouco responsivos, erros de navegação e funcionalidades inativas. Elementos interativos também apresentaram problemas de clareza e resposta, indicando a necessidade de uma revisão técnica completa para corrigir rotas, ativar recursos previstos e melhorar a consistência das interações. Já a avaliação do Museu Virtual evidenciou limitações que comprometeram a qualidade da experiência imersiva, especialmente em termos de navegação e usabilidade. Entre os principais problemas observados estão a ausência de instruções claras, falta de mapa ou sistema de localização, dificuldades nas transições entre ambientes virtuais, mensagens técnicas recorrentes, baixo desempenho do mecanismo de *gaze point*, ausência de zoom e barreiras físicas, além da apresentação pouco atrativa das informações históricas. Esses aspectos apontam para a necessidade de aprimorar a arquitetura de navegação e o design dos elementos interativos, com o objetivo de proporcionar uma experiência mais fluida, envolvente e alinhada aos objetivos pedagógicos.

A identificação das limitações dos artefatos avaliados é essencial para o aprimoramento contínuo do ecossistema, permitindo ajustes técnicos e pedagógicos baseados em evidências. No caso do Museu Virtual, os resultados destacam os desafios da criação de ambientes imersivos tridimensionais, que exigem habilidades multidisciplinares e atenção a aspectos técnicos, cognitivos e narrativos. Desenvolver mundos virtuais 3D é uma tarefa complexa, que envolve desde modelagem e interações espaciais até a otimização para diferentes dispositivos e acessibilidade. Esses fatores tornam o processo não trivial, justificando as dificuldades encontradas e evidenciando a necessidade de abordagens iterativas, avaliações constantes e colaboração entre especialistas para garantir experiências educacionais imersivas e de qualidade.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a avaliação de um Ecossistema de Metaverso Educacional (EME), composto por uma Plataforma Web e um Museu Virtual voltado ao ensino de história local. A proposta demonstrou viabilidade técnica e potencial pedagógico, ainda que os resultados da avaliação com um especialista tenham revelado limitações importantes em termos de usabilidade e consistência funcional. Como trabalhos futuros, propõe-se a correção das inconsistências identificadas, com foco na melhoria da navegação, na ativação de funcionalidades previstas e na clareza das interações. Também se recomenda a realização de novas avaliações com usuários finais em contextos educacionais reais, além da implementação de recursos como mapas de localização, instruções interativas e mecanismos de restrição espacial nos ambientes 3D.

Referências

[Bangor et al. 2009] Bangor, A., Kortum, P., and Miller, J. (2009). Determining what individual sus scores mean: adding an adjective rating scale. *J. Usability Studies*,

4(3):114–123.

- [Brown 2024] Brown, S. (2024). C4 model for visualising software architecture. <https://c4model.com/>. Acessado em: 23 jul. 2025.
- [Fernandes 2023] Fernandes, F. A. (2023). *MetaSEE: An Approach to Enable the Metaverse-based Software Engineering Education*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ. Linha de Pesquisa: Engenharia de Software. Defesa em 31/05/2023.
- [Fernandes et al. 2023] Fernandes, F. A., Rodrigues, C. S. C., Teixeira, E. N., and Werner, C. M. L. (2023). Immersive learning frameworks: A systematic literature review. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(5):736–747.
- [Hevner et al. 2004] Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., and Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1):75–105.
- [Mystakidis and Lympouridis 2023] Mystakidis, S. and Lympouridis, V. (2023). Immersive learning. *Encyclopedia*, 3(2):396–405.
- [Nielsen and Molich 1990] Nielsen, J. and Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 249–256.