

Nether: Um Sistema Educacional Híbrido com Realidade Aumentada e Gamificação para Educação Ambiental

Giovanna Calado Bonilha¹, David Washington Freitas Lima¹,
Fabiann Matthaus D. Barbosa¹,

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)
Campus Manaus Zona Leste – Manaus – AM – Brasil

{2024000350, david.lima, fabiann.dantas}@ifam.edu.br

Abstract. *This article presents the development of Nether, a hybrid educational system that integrates a printed book, a gamified mobile application, and Augmented Reality features to support environmental education in Elementary School (early years). The solution was conceived with a modular architecture, in which the mobile application acts as the computational core responsible for orchestrating interactions, rendering three-dimensional scenarios, and performing structured data collection. The proposal emphasizes technical aspects related to the system architecture and application implementation, highlighting the potential of integrating Augmented Reality and gamification in the design of interactive and measurable educational solutions focused on the issue of wildfires in the Amazon.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento do Nether, um sistema educacional híbrido que integra livro impresso, aplicativo móvel gamificado e recursos de Realidade Aumentada para apoio à educação ambiental no Ensino Fundamental I. A solução foi concebida com arquitetura modular, na qual o aplicativo atua como núcleo computacional responsável pela orquestração das interações, renderização de cenários tridimensionais e coleta estruturada de dados. A proposta enfatiza aspectos técnicos relacionados à arquitetura e à implementação do aplicativo, evidenciando o potencial da integração entre Realidade Aumentada e gamificação na construção de soluções educacionais interativas e mensuráveis aplicadas à temática das queimadas na Amazônia.*

1. Introdução

As queimadas na Amazônia configuram um fenômeno ambiental recorrente, com impactos diretos sobre ecossistemas, comunidades locais e dinâmicas climáticas globais [Silva et al. 2019b]. A redução da cobertura vegetal altera ciclos ecológicos, compromete a biodiversidade e influencia processos socioeconômicos regionais. Nesse contexto, a educação ambiental desempenha papel relevante na formação de estudantes capazes de compreender as causas e as consequências dessas transformações [Guimarães et al. 2014].

A incorporação de tecnologias digitais ao ambiente escolar tem ampliado as possibilidades de abordagem de temáticas ambientais complexas. Aplicativos educacionais gamificados e sistemas baseados em Realidade Aumentada (RA) permitem representar

fenômenos abstratos por meio de recursos interativos e multimodais, favorecendo experiências de aprendizagem mais exploratórias e contextualizadas [da Silva et al. 2010, Silva et al. 2019a].

Apesar dos avanços no uso de tecnologias digitais na educação, observa-se que muitas soluções ainda priorizam aspectos tecnológicos em detrimento de uma articulação consistente com referenciais pedagógicos [Loureiro 2012]. No campo da educação ambiental, abordagens como a perspectiva CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente) defendem a integração entre conhecimento científico, desenvolvimento tecnológico e reflexão crítica sobre impactos sociais e ambientais [De Siqueira et al. 2021]. No contexto amazônico, essa lacuna torna-se particularmente relevante diante da necessidade de recursos pedagógicos que abordem o tema das queimadas de maneira contextualizada e fundamentada [Sato and Carvalho 2023].

Diante desse cenário, este artigo apresenta o desenvolvimento e a implementação de uma solução computacional integrada composta pelo livro interativo “Entre Faíscas e Cinzas” e pelo aplicativo móvel gamificado “Nether”, utilizando RA como mecanismo de mediação pedagógica no ensino sobre queimadas na Amazônia para estudantes do Ensino Fundamental I. A proposta estrutura-se na integração entre material físico e ambiente digital, combinando narrativas visuais, textos explicativos, simulações tridimensionais e desafios interativos relacionados às causas e aos impactos dos incêndios florestais. Sob a perspectiva da educação ambiental crítica, o processo educativo é compreendido como espaço de reflexão e construção de posicionamentos diante de problemáticas socioambientais [Loureiro 2012].

2. Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos têm explorado o uso da RA associada a recursos educacionais interativos no ensino de Ciências e de temáticas ambientais. Lima e Pereira [2025] apresentam um aplicativo educacional que integra gamificação e RA, utilizando desafios e recompensas combinados a visualizações tridimensionais. O estudo evidencia ganhos em engajamento e retenção de conteúdo, porém não aborda especificamente a temática ambiental contextualizada à realidade amazônica.

No campo da simulação de fenômenos ambientais, o simulador SimIA, proposto por Araújo et al. [2021], modela impactos ambientais em ecossistemas por meio de algoritmos genéticos aplicados ao Ensino Fundamental I. Embora contribua para a compreensão sistêmica de processos ecológicos, a solução não incorpora recursos de RA nem integra material físico e ambiente digital. Propostas baseadas em livros aumentados também têm sido investigadas, o ARbook, de Santos et al. [2024], consiste em um livro interativo com suporte a RA destinado ao Ensino Fundamental I, com foco em dispositivos computacionais e acessibilidade. Entretanto, o trabalho não contempla mecanismos estruturados de registro e análise das interações dos estudantes.

A proposta em questão distingue-se pela concepção de uma solução computacional integrada composta por livro físico interativo, aplicativo móvel gamificado, infraestrutura em nuvem e registro sistemático das interações dos usuários. A arquitetura adotada viabiliza a orquestração entre a experiência concreta e a representação digital, permitindo a coleta e a análise quantitativa das interações em contextos educacionais direcionados ao ensino sobre queimadas na Amazônia.

3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do sistema demandou a definição de uma arquitetura computacional capaz de integrar componentes físicos e digitais de forma coordenada. A solução foi estruturada a partir de uma abordagem modular, contemplando o design do aplicativo educacional móvel gamificado, a implementação da camada de Realidade Aumentada, a infraestrutura em nuvem e a interface física baseada no livro impresso.

A implementação priorizou a orquestração entre reconhecimento de imagens, renderização tridimensional, registro estruturado de interações e persistência de dados. Os componentes foram concebidos de modo a permitir monitoramento do uso, rastreabilidade das ações realizadas e suporte à análise quantitativa das interações educacionais.

3.1. Arquitetura e Componentes do Sistema

A arquitetura do Nether foi concebida como uma solução computacional híbrida, integrando artefatos físicos e serviços digitais em um arranjo funcional coeso. Nesse modelo, o aplicativo móvel atua como núcleo de processamento e coordenação das interações, enquanto o livro impresso funciona como interface física ativa, mediando a ativação dos conteúdos digitais.

Estruturalmente, o sistema organiza-se em quatro componentes principais: (i) livro impresso interativo, (ii) aplicativo educacional móvel, (iii) camada de Realidade Aumentada e (iv) *backend* em nuvem. A integração entre esses elementos viabiliza o reconhecimento de marcadores visuais, a sobreposição de objetos tridimensionais, a execução de mecânicas gamificadas e o armazenamento estruturado das interações realizadas pelos usuários. A Figura 1 ilustra a organização arquitetural do sistema e explicita as relações funcionais estabelecidas entre seus componentes.

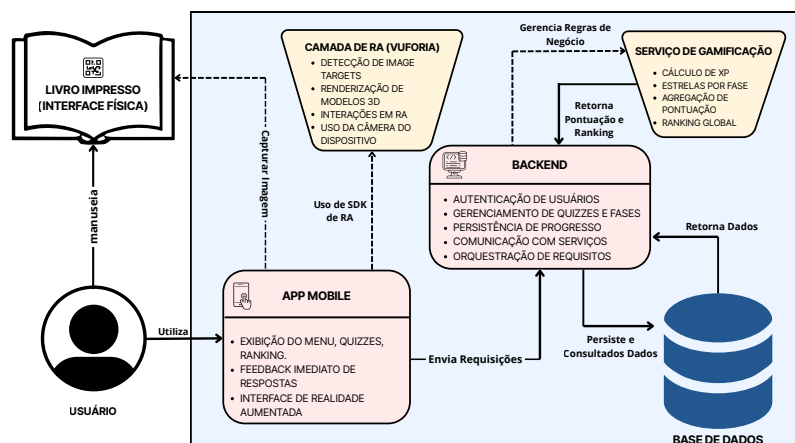


Figura 1. Visão geral da arquitetura do sistema.

No núcleo da arquitetura proposta, o aplicativo educacional móvel atua como componente central de processamento e orquestração, sendo responsável pela coordenação da comunicação entre o livro impresso, a camada de Realidade Aumentada e os serviços de *backend* em nuvem. Essa centralização arquitetural estabelece um ponto único de controle para o gerenciamento do ciclo de eventos, incluindo reconhecimento de

marcadores, ativação de objetos tridimensionais, execução das mecânicas gamificadas e registro das interações do usuário.

O livro impresso incorpora marcadores visuais previamente mapeados a cenários tridimensionais específicos, configurando-se como um dispositivo físico ativo no ecossistema computacional. Esses marcadores funcionam como gatilhos de interação, permitindo que a camada de Realidade Aumentada realize o reconhecimento de padrões visuais e acione a renderização dos objetos virtuais correspondentes. Esse mecanismo estabelece uma integração síncrona entre ambiente físico e representação digital, caracterizando uma arquitetura híbrida baseada em eventos.

A camada de Realidade Aumentada é responsável pelo processamento de visão computacional, detecção e rastreamento de marcadores, bem como pela renderização em tempo real dos modelos tridimensionais sobrepostos ao ambiente físico. Tal componente opera de forma integrada ao aplicativo móvel, garantindo baixa latência na resposta às interações e consistência na experiência do usuário.

O *backend* em nuvem assume as responsabilidades relacionadas à persistência, organização e gerenciamento das informações geradas durante o uso do sistema. A infraestrutura implementa mecanismos de armazenamento estruturado, controle de sessões e sincronização de dados, garantindo a rastreabilidade das interações e fornecendo suporte à análise quantitativa posterior. Complementando a descrição estrutural da arquitetura, a Figura 2 apresenta o fluxo de interação do usuário, evidenciando o encadeamento entre ativação dos marcadores, processamento no aplicativo, renderização em RA e persistência das informações nos serviços em nuvem.

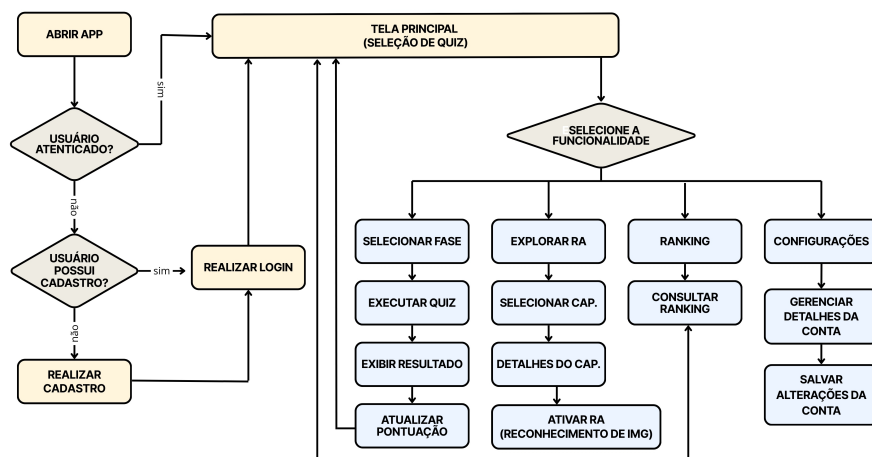


Figura 2. Fluxo de interação do usuário no aplicativo.

3.2. Implementação do Aplicativo Educacional

O desenvolvimento do aplicativo educacional concentrou-se na materialização da solução proposta por meio de um software modular, concebido para integrar os recursos de Realidade Aumentada acionados pelo livro físico e suportar a coleta estruturada de dados associada a mecanismos de gamificação. O processo adotou princípios de engenharia de software voltados à separação de responsabilidades e à extensibilidade do código.

A organização interna do aplicativo foi estruturada em módulos especializados responsáveis por navegação, Realidade Aumentada, atividades interativas, progressão gamificada e comunicação com o *backend*. Essa estrutura modular orienta a implementação das funcionalidades e possibilita a captura automática de eventos associados às interações do usuário, os quais são posteriormente persistidos em nuvem.

A interface do aplicativo é composta por um conjunto de telas principais que operacionalizam o acesso às funcionalidades do sistema. Essas interfaces organizam a navegação entre a exploração em Realidade Aumentada, a execução das atividades educacionais e a visualização do progresso do usuário. A Figura 3 apresenta uma visão geral dessas telas.

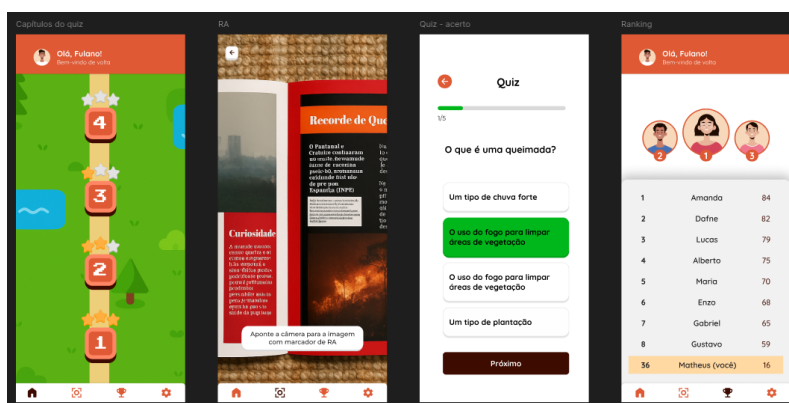


Figura 3. Visão geral das principais telas do aplicativo

- **Tela Inicial (Home):** interface de entrada e controle de navegação do sistema. Atua como ponto central de acesso às funcionalidades, permitindo a inicialização de sessões, o direcionamento para o módulo de Realidade Aumentada, a consulta às métricas de progresso armazenadas no *backend* e o acesso à aba de configurações da conta.
- **Tela de Exploração em Realidade Aumentada:** módulo responsável pela ativação da câmera do dispositivo, detecção e rastreamento dos *image targets* presentes no livro físico e renderização em tempo real dos modelos tridimensionais associados. Durante a interação, são gerados eventos estruturados relacionados à ativação de cenários, tempo de exposição e ações realizadas pelo usuário.
- **Tela de Atividades e Desafios:** componente dedicado à execução das mecânicas gamificadas vinculadas aos cenários explorados. Permite o registro das respostas fornecidas, a validação automática com base em regras previamente definidas e a geração de métricas de desempenho associadas a acertos, tentativas e progressão por fase.
- **Tela de Progresso e Ranking de Desempenho:** interface de consolidação analítica das interações registradas. Apresenta indicadores de evolução, fases concluídas, pontuação acumulada e posicionamento relativo no sistema de gamificação, com dados recuperados e sincronizados a partir da infraestrutura em nuvem.

A Figura 4 ilustra a integração operacional entre o livro físico e o aplicativo móvel, evidenciando o encadeamento entre reconhecimento dos marcadores impressos, ativação dos conteúdos tridimensionais e processamento das interações em Realidade Aumentada.

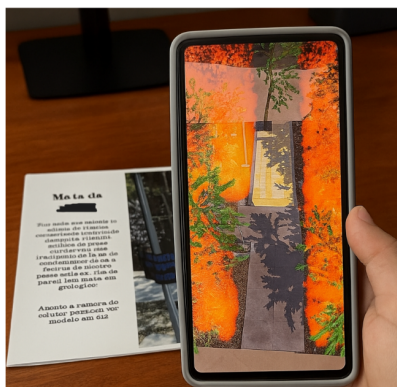


Figura 4. Integração entre o livro impresso e o aplicativo móvel.

3.3. Tecnologias e Ferramentas de Desenvolvimento

A solução foi implementada a partir de uma arquitetura integrada composta por motor gráfico, mecanismo de Realidade Aumentada e infraestrutura de persistência em nuvem, selecionados com base em critérios de compatibilidade multiplataforma, renderização em tempo real e suporte à instrumentação de eventos.

O aplicativo foi desenvolvido em *Unity*, utilizando *C#*, o que possibilitou organização modular das funcionalidades e integração com a camada de RA por meio do *Vuforia Engine*, responsável pelo reconhecimento dos *image targets* presentes no livro físico. Os modelos tridimensionais foram produzidos no *Blender*, com otimizações voltadas ao desempenho em dispositivos móveis. A persistência e o gerenciamento dos dados foram realizados via *Firebase*, utilizado como *backend* em nuvem para armazenamento estruturado das interações. A comunicação e o tratamento dos registros foram implementados por meio de scripts em *JavaScript*, permitindo a captura e organização dos eventos gerados durante o uso do sistema.

4. Resultados e Discussão

Para obter evidências iniciais sobre a qualidade técnica e o potencial pedagógico do *Nether*, foi realizado um estudo qualitativo preliminar com $n = 9$ especialistas, professores de Ciências do Ensino Fundamental I, com média de 11,3 anos de experiência docente. A avaliação incluiu apresentação da proposta e da arquitetura, demonstração integrada do livro e do aplicativo, interação prática com os recursos de Realidade Aumentada e atividades gamificadas, além da aplicação de questionário semiestruturado seguido de entrevistas breves.

A análise qualitativa foi conduzida por meio de Análise de Conteúdo, contemplando leitura das transcrições, codificação aberta, agrupamento temático e codificação axial para identificação de relações entre categorias. Como eixo central emergiu o *potencial pedagógico da integração entre Realidade Aumentada e livro físico*, articulando percepções sobre engajamento, visualização de fenômenos ambientais e contextualização amazônica. A Figura 5 apresenta a rede axial resultante dessa estrutura analítica.

As categorias identificadas indicam que os especialistas associaram o sistema ao aumento do engajamento e da curiosidade dos estudantes, destacando que a interação com o livro e a Realidade Aumentada torna o conteúdo mais atrativo (E3). A visualização

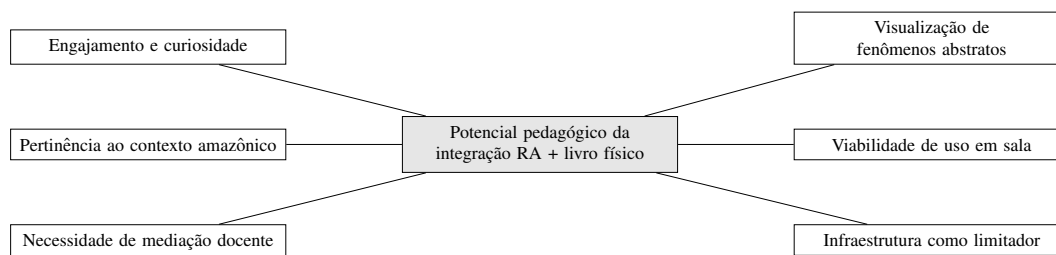


Figura 5. Rede axial das categorias emergentes na avaliação qualitativa.

tridimensional foi apontada como facilitadora da compreensão dos impactos das queimadas, ao permitir a observação de diferentes estados da floresta (E7). A contextualização amazônica foi considerada um diferencial por aproximar o conteúdo da realidade dos alunos (E1). Por outro lado, os participantes ressaltaram que a aplicação em sala requer planejamento prévio (E5), reforçaram a necessidade de mediação ativa do professor (E8) e mencionaram limitações relacionadas à infraestrutura tecnológica disponível nas escolas (E2).

Os resultados indicam que os especialistas reconhecem a integração entre livro físico e Realidade Aumentada como um recurso capaz de ampliar o engajamento e favorecer a compreensão de fenômenos ambientais complexos. A visualização tridimensional foi frequentemente associada à facilitação da aprendizagem conceitual, especialmente no que se refere às transformações ambientais decorrentes das queimadas.

A categoria relacionada à pertinência contextual evidencia que a abordagem temática situada na realidade amazônica foi percebida como elemento diferencial da proposta, fortalecendo a conexão entre conteúdo escolar e vivência local. Tal aspecto dialoga com perspectivas pedagógicas que defendem a contextualização sociocultural como componente estruturante da educação ambiental. Por outro lado, emergiram elementos que apontam limites operacionais, especialmente relacionados à infraestrutura tecnológica disponível nas escolas e à necessidade de mediação ativa do docente. Esses resultados sugerem que a adoção do sistema depende não apenas de sua qualidade técnica, mas também de condições institucionais e planejamento pedagógico adequado.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a avaliação preliminar do *Nether*, um sistema educacional híbrido que integra livro físico, aplicativo gamificado, Realidade Aumentada e infraestrutura em nuvem. Os resultados indicaram viabilidade técnica e potencial pedagógico da integração entre experiências físicas e digitais. Como contribuição, o estudo propõe um modelo arquitetural replicável para sistemas educacionais híbridos.

Apesar dos resultados iniciais, o estudo apresenta limitações, incluindo o número reduzido de especialistas e a ausência de aplicação longitudinal com estudantes. Questões relacionadas à infraestrutura escolar e ao desempenho em dispositivos menos robustos também podem influenciar sua adoção em larga escala. Como trabalhos futuros, propõe-se a realização de estudos empíricos com o público discente, a ampliação da instrumentação para análise de dados educacionais e otimizações na camada de Realidade Aumentada, visando aprimorar escalabilidade e impacto pedagógico.

Agradecimentos

Agradecemos ao grupo de pesquisa TechThinkers pelo apoio, colaboração e incentivo ao desenvolvimento desta pesquisa. Também expressamos nossa gratidão ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM), em especial ao Campus Manaus Zona Leste, pelo apoio institucional e pelos incentivos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Declaração Sobre Uso De Inteligência Artificial

Os autores utilizaram o ChatGPT (GPT-5.5) como apoio na revisão textual e aprimoramento da clareza e organização do artigo. Todo o conteúdo foi revisado e validado pelos autores, que se responsabilizam integralmente pelo trabalho.

Referências

- da Silva, W., Ribeiro, M., Júnior, E. L., and Cardoso, A. (2010). Ambientes interativos e colaborativos baseados em realidade aumentada aplicados à educação. In *Anais do XVI Workshop de Informática na Escola*, pages 1187–1196, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- de Araújo, J. V. R. and Braz, P. (2021). Simia: um simulador educacional de impactos ambientais. In *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, pages 724–727. SBC.
- De Siqueira, G. C., Ribeiro, S. A. F., Freitas, C. C. G., Sovierzoski, H. H., and Lucas, L. B. (2021). Cts e ctsa: em busca de uma diferenciação. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 17(48):16–34.
- Guimarães, P., Souza, S., Fiedler, N. C., and Silva, A. (2014). Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, 1(01).
- Lima, J. P. d. C. and Pereira, F. C. d. L. (2025). Gamificação no ensino com realidade aumentada: como a ra pode tornar o aprendizado mais interativo e envolvente. *Brazilian Journal of Development*, 11(6):1–17.
- Loureiro, C. F. B. (2012). Educação ambiental crítica: contribuições e desafios. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 7(1):43–58.
- Santos, B., Leite, M., and Varela, P. (2024). Educação inclusiva em realidade aumentada: Recurso instrucional digital para apoiar a formação de alunos no ensino de computação. In *Anais do XXX Workshop de Informática na Escola*, pages 549–560, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Sato, M. and Carvalho, I. C. d. M. (2023). Pedagogia emancipadora e educação ambiental crítica: diálogos e perspectivas. *Revista Docência e Cibercultura*, 7(3):e66070.
- Silva, F. d., D’Arienzo, M. A., Parizotto, D., and Teixeira, A. (2019a). Criação de aplicativo gamificado para o engajamento nas aulas de educação física. In *Anais do XXV Workshop de Informática na Escola (WIE 2019)*, pages 434–441, Porto Alegre, RS, Brasil. Sociedade Brasileira de Computação.
- Silva, S., Araújo, F., Costa, S., Pires, Y., Seruffo, M., and Araujo, J. (2019b). Desenvolvimento de jogos como mecanismo pedagógico: Um relato de experiência na escola pública visando à sustentabilidade e preservação do meio ambiente. In *Anais do XXV Workshop de Informática na Escola*, pages 637–646, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.