

Tecnologias Educacionais no Ensino de Arquitetura e Organização de Computadores: Um Mapeamento Exploratório

Gabriele Tramontini¹, Julio Domingues Júnior¹, Alice Finger¹

¹Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
Bagé – RS – Brasil

{gabrieletramontini.aluno, juliiodomingues, alicefinger}@unipampa.edu.br

Abstract. *This paper presents an exploratory mapping of educational technologies that support the teaching of Computer Architecture and Organization. A total of 21 studies were analyzed by identifying tool type, platform, covered topics, functionalities, and pedagogical strategies. The results indicate a predominance of simulators and desktop tools, with greater coverage of contents related to processor architecture and instruction sets. Based on gaps identified in content coverage, pedagogical evaluation, and the use of adaptive mechanisms, this study proposes a web-based tool integrated with Moodle, including simulation, automatic assessment, formative feedback, and learning analytics.*

Resumo. *Este artigo apresenta um mapeamento exploratório sobre tecnologias educacionais de apoio ao ensino de Arquitetura e Organização de Computadores. Analisaram-se 21 estudos, identificando tipo de ferramenta, plataforma, tópicos contemplados, funcionalidades e estratégias pedagógicas. Os resultados indicam predominância de simuladores e ferramentas desktop, com maior cobertura de conteúdos relacionados à arquitetura de processadores e ao conjunto de instruções. A partir da identificação de lacunas nos conteúdos, nas avaliações pedagógicas e no uso de mecanismos adaptativos, propõe-se uma ferramenta web integrada ao Moodle, com simulação, correção automática, feedback formativo e learning analytics.*

1. Introdução

A disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) é componente curricular obrigatório nos cursos de Computação e áreas afins, sendo fundamental para a formação dos profissionais da área [Patterson and Hennessy 2014]. No entanto, o ensino dessa disciplina apresenta dificuldades recorrentes que comprometem o processo de ensino-aprendizagem: a abstração elevada dos conceitos envolvidos, a dificuldade de visualizar componentes internos como processadores, registradores e hierarquia de memória, a forte dependência de conhecimentos prévios, e a baixa motivação proporcionada por aulas exclusivamente expositivas.

Diante dessas dificuldades, professores e pesquisadores têm buscado alternativas que vão além dos recursos tradicionais, como quadro negro, livros e slides. Nesse cenário, observa-se um crescimento significativo no uso de ferramentas educacionais voltadas ao ensino de AOC, incluindo simuladores, jogos educacionais, ambientes virtuais, visualizações interativas e, mais recentemente, tecnologias emergentes como realidade

aumentada e virtual [Esmeraldo et al. 2019, Amorim et al. 2024]. Esse movimento reflete uma tendência mais ampla na educação em Computação de incorporar recursos tecnológicos como mediadores do processo de aprendizagem.

Apesar da existência de diversas ferramentas, ainda há pouca sistematização na literatura sobre quais conteúdos elas efetivamente abordam, quais estratégias pedagógicas utilizam e quais limitações permanecem. Essa lacuna dificulta tanto a escolha de ferramentas adequadas por parte dos docentes quanto a identificação de oportunidades de inovação por parte dos pesquisadores.

Nesse contexto, este artigo apresenta um mapeamento exploratório da literatura sobre tecnologias educacionais utilizadas no ensino de Arquitetura e Organização de Computadores. O objetivo é caracterizar as ferramentas identificadas, sistematizar tendências e lacunas, e indicar direções futuras de pesquisa. Além do mapeamento das tecnologias identificadas, o estudo propõe uma organização analítica das ferramentas conforme seus objetivos educacionais, plataformas de desenvolvimento e estratégias pedagógicas associadas.

A análise indica oportunidades para pesquisas futuras envolvendo acessibilidade, integração entre ambientes virtuais e hardware real, uso de inteligência artificial generativa, personalização adaptativa e *learning analytics* no ensino de AOC. Dessa forma, o artigo contribui não apenas para a compreensão do estado atual da área, mas também para a discussão de direções emergentes para tecnologias educacionais em Computação.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Desafios no Ensino de Arquitetura e Organização de Computadores

A disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) ocupa papel fundamental na formação em Computação, pois estabelece a base conceitual necessária para compreender o funcionamento interno dos sistemas computacionais e a relação entre hardware e software. Entretanto, diversos estudos apontam que o ensino de AOC apresenta desafios significativos associados ao elevado nível de abstração dos conteúdos, à complexidade dos componentes computacionais e à dificuldade de visualização de processos internos de execução [Patterson and Hennessy 2014, Stallings 2017].

Conceitos como pipeline, hierarquia de memória, paralelismo, barramentos e execução de instruções frequentemente exigem que os estudantes construam modelos mentais sobre processos invisíveis e dinâmicos, dificultando a compreensão em abordagens exclusivamente expositivas. Nesse contexto, estudantes tendem a apresentar dificuldades em relacionar componentes arquiteturais aos efeitos observados durante a execução de programas [Falcão et al. 2011].

Além disso, disciplinas relacionadas à arquitetura de computadores frequentemente demandam integração entre conhecimentos de eletrônica digital, lógica, sistemas operacionais e programação, ampliando a complexidade cognitiva envolvida no processo de aprendizagem. Segundo Sweller [Sweller 1988], conteúdos com alta complexidade elementar podem gerar sobrecarga cognitiva quando apresentados sem mecanismos adequados de mediação e organização da informação.

Diante desse cenário, tecnologias educacionais têm sido utilizadas como estratégia para tornar conceitos abstratos mais concretos e observáveis, favorecendo visualização,

experimentação e aprendizagem ativa no ensino de Computação.

2.2. Tecnologias Educacionais no Ensino de Computação

O uso de tecnologias educacionais no ensino de Computação tem crescido significativamente nas últimas décadas, especialmente por meio de simuladores, jogos digitais, ambientes interativos e ferramentas de visualização computacional. Essas tecnologias buscam reduzir dificuldades relacionadas à abstração dos conteúdos e ampliar o engajamento dos estudantes durante o processo de aprendizagem [Falcão and de França 2021].

No contexto de AOC, simuladores computacionais possuem destaque por permitirem a representação visual da execução de instruções, manipulação de registradores, organização de memória e funcionamento interno de processadores. Ferramentas como simuladores Assembly e ambientes de circuitos digitais possibilitam que estudantes experimentem diferentes configurações arquiteturais sem necessidade de infraestrutura física especializada [Hessel and Carmo 2013, Ullmann et al. 2014].

Sob a perspectiva pedagógica, o uso dessas tecnologias pode ser relacionado à Teoria da Aprendizagem Multimídia de Mayer [Mayer 2009], segundo a qual a combinação entre representações visuais e verbais favorece a construção de conhecimento ao reduzir dificuldades de processamento cognitivo. Recursos de animação, visualização interativa e representação gráfica podem auxiliar estudantes na compreensão de fluxos de dados e execução de operações computacionais.

Outro aspecto relevante refere-se ao potencial das tecnologias educacionais para fornecer feedback imediato durante as atividades práticas. Segundo Nicol e Macfarlane-Dick [Nicol and Macfarlane-Dick 2006], o feedback formativo possui papel central no desenvolvimento da autorregulação e no acompanhamento da aprendizagem. Em ferramentas computacionais, mecanismos automáticos de validação e correção podem auxiliar estudantes na identificação de erros e no refinamento progressivo de soluções.

Apesar das contribuições dessas tecnologias, estudos da área indicam que a simples presença de recursos tecnológicos não garante melhoria efetiva na aprendizagem [Kirschner et al. 2006]. Ferramentas centradas apenas na execução técnica ou na manipulação mecânica de componentes podem apresentar impacto limitado quando não associadas a estratégias pedagógicas adequadas, acompanhamento docente e mediação educacional.

3. Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como um mapeamento exploratório da literatura, orientado à identificação de estudos sobre tecnologias educacionais de apoio ao ensino e à aprendizagem de Arquitetura e Organização de Computadores. A investigação foi inspirada nas diretrizes de [Kitchenham and Charters 2007] e [Petersen et al. 2008], com adaptações ao escopo do estudo, uma vez que a busca foi delimitada à base SOL (SBC Open-Lib), que reúne publicações de eventos e periódicos vinculados à Sociedade Brasileira de Computação. Essa delimitação captura a produção nacional vinculada à SBC, mas não abrange publicações brasileiras fora desse ecossistema nem a produção internacional, o que é retomado como limitação na Seção 5.

O processo metodológico envolveu planejamento, condução e análise dos resultados. Foram definidas quatro questões de pesquisa: Q1) quais são as principais carac-

terísticas das ferramentas utilizadas no apoio ao ensino de AOC; Q2) quais plataformas de desenvolvimento predominam nessas ferramentas; Q3) quais tópicos de AOC são contemplados; e Q4) quais estratégias pedagógicas são mobilizadas ou favorecidas. A busca foi realizada sem restrição temporal, considerando publicações em português e inglês, por meio da *string*: (*ensino OR aprendi* OR educ**) AND (“Arquitetura de Computadores” OR “Organização de Computadores” OR AOC OR “Computer Architecture”) AND (*ferramenta OR gam* OR jogo OR plataforma OR site OR software OR simul* OR aplicati**).

Foram incluídos estudos que apresentassem, propusessem, avaliassem ou comparassem ferramentas, sistemas, ambientes ou frameworks voltados ao ensino e à aprendizagem de conceitos de AOC. Foram excluídos artigos com menos de quatro páginas, trabalhos duplicados, estudos não relacionados ao contexto educacional e estudos secundários, como revisões sistemáticas, mapeamentos e *surveys*. A aplicação da busca retornou 78 resultados; após remoção de duplicatas, triagem por título e resumo, leitura completa e aplicação dos critérios de elegibilidade, 21 estudos foram selecionados. A triagem por título/resumo e a leitura completa foram conduzidas por um dos autores.

Na análise, os estudos selecionados foram categorizados quanto ao tipo de ferramenta, conteúdo de AOC abordado, plataforma de desenvolvimento, funcionalidades educacionais, estratégias pedagógicas e lacunas identificadas. Para facilitar a referência ao longo dos resultados, a Tabela 1 apresenta os estudos selecionados com seus identificadores (A1 a A21), utilizados nas seções seguintes para relacionar ferramentas e atributos de forma concisa.

Tabela 1. Trabalhos selecionados

ID	Título do artigo	Referência
A1	Ambiente de Simulação Gráfica 3D para Ensino da Arquitetura de Processadores	[Falcão et al. 2011]
A2	Analysis and Evaluation of Full System Simulators for Teaching Computer Architecture	[Penna and Freitas 2013]
A3	Beto, o simulador de memória cache	[Gabriel et al. 2022]
A4	cMIPS – a Pedagogical Tool for Studying Architecture	[Hexsel and Carmo 2013]
A5	Teaching Vector Architectures Using a MIPS Instruction Simulator	[Alves et al. 2015]
A6	Manna-X: Projeto, Desenvolvimento e Avaliação de um Jogo Multidisciplinar para Ensino na Ciência da Computação	[Assumpção et al. 2022]
A7	Methodology for Applying Augmented Reality in the Teaching of Computer Architecture	[Brum et al. 2015]
A8	N-Craft: Ferramenta Virtual e Imersiva Baseada em Minecraft para suporte no Ensino de AOC	[Amorim et al. 2024]
A9	NeanderSIM: Simulador Gráfico de Apoio ao Ensino de Arquitetura de Computadores	[Ullmann et al. 2014]
A10	MIPS Processor Implemented in a Visual Simulator for Educational Use	[Rodrigues et al. 2024]
A11	Proposal for Teaching Computer Architecture with Gamification and Augmented Reality	[Silva et al. 2018]
A12	Simulação de sistemas multicore para fins didáticos	[Nunes and Duenha 2020]
A13	Simulador Web para o Ensino de Arquitetura de Computadores com Suporte a Vetores e Cache	[Linares et al. 2025]
A14	SimuS: A Simulator for Teaching Computer Architecture	[Silva and Borges 2016]
A15	Teaching Computer Architecture through an Integrated Top-Down RISC-V Processor Design Approach	[Esmeraldo et al. 2025]
A16	Um Ambiente Virtual Aplicado ao Ensino e Pesquisa em Arquitetura e Organização de Computadores	[Esmeraldo and Lisboa 2017]
A17	Um Simulador para Apoiar no Processo de Ensino e Aprendizagem de Organização e Arquitetura de Computadores	[Sousa et al. 2012]
A18	Uso de Realidade Aumentada para Ensino de Arquitetura de Computadores com MIPS	[da Silva et al. 2018]
A19	Using MPSoCBench simulators for teaching and learning Computer Architecture	[Duenha and Azevedo 2016]
A20	Uma Abordagem Integrada de Hardware e Software para o Ensino de Organização e Arquitetura de Computadores	[Mendes et al. 2018]
A21	A Didactic Simulator for Teaching Computer Architecture and the Internet of Things	[Costa and Silva 2018]

4. Resultados e Discussões

A partir da leitura e análise dos 21 estudos selecionados na etapa anterior, esta seção apresenta os achados organizados de acordo com as quatro questões de pesquisa definidas na Seção 3. Essa organização permite relacionar diretamente cada resultado ao objetivo do mapeamento, contemplando as características das ferramentas, as plataformas de desenvolvimento, os tópicos de AOC abordados e as estratégias pedagógicas identificadas.

4.1. Q1: Características das Ferramentas de Apoio ao Ensino de AOC

O primeiro eixo de análise busca responder à questão Q1, identificando os tipos e funcionalidades das ferramentas existentes. A análise dos estudos permitiu classificar as ferramentas em quatro categorias principais: simuladores, jogos educacionais, ambientes web e realidade aumentada/virtual. Para reduzir redundância e concentrar os resultados, a Tabela 2 reúne tanto a caracterização das ferramentas quanto os estudos em que cada uma aparece.

Tabela 2. Caracterização das ferramentas identificadas e relação com os estudos mapeados

Ferramenta	Estudos	Categoria	Plataforma	Acesso	Avaliação
Simulação 3D Processadores	A1	Simulador	Desktop	Não	Não
gem5	A2	Simulador	Desktop	Link	Sim
Simics	A2	Simulador	Desktop	Link	Sim
Bochs	A2	Simulador	Desktop	Link	Sim
SESC	A2	Simulador	Desktop	Link	Sim
Beto (Cache)	A3	Simulador	Web	Link	Não
cMIPS	A4	Simulador	Desktop	Link	Não
VMARS (Vector MARS)	A5	Simulador	Desktop	Não	Não
MARS	A5	Simulador	Desktop	Link	Não
Manna-X	A6	Jogo	Desktop	Não	Sim
Metodologia RA Neander	A7	RA/RV	Mobile	Não	Não
N-Craft (Minecraft)	A8	Jogo	Desktop	Não	Parcial
NeanderSIM	A9	Simulador	Desktop	Não	Sim
Aperture Project (MIPS Visual)	A10	Simulador	Desktop	Link	Não
Logisim	A10, A15	Simulador	Desktop	Link	Não
RA com Gamificação (MIPS)	A11, A18	RA/RV	Mobile	Não	Não
MPSoCBench	A12, A19	Simulador	Desktop	Link	Sim
Simulador Web Vetores/Cache	A13	Simulador	Web	Não	Não
SimuS	A14	Simulador	Desktop	Link	Não
Neanderwin	A14	Simulador	Desktop	Link	Não
RISC-V Top-Down	A15	Simulador	Desktop	Não	Sim
CompSim (Amb. Virtual)	A16, A20	Simulador	Desktop	Link	Não
SOAC	A17	Simulador	Desktop	Não	Não
FLARAS	A18	RA/RV	Mobile	Não	Não
Simul. Didático IoT	A21	Simulador	Embarcado	Não	Não

Nota: Acesso = link disponível; Avaliação = análise de resultados pedagógicos reportada; RA/RV = realidade aumentada/virtual

A Tabela 2 permite observar que a maior parte das ferramentas aparece associada a apenas um estudo, indicando uma produção bastante distribuída e com pouca recorrência de avaliação ou reutilização das mesmas soluções em diferentes publicações. Algumas exceções são observadas em ferramentas ou ambientes discutidos em mais de um trabalho, como Logisim, MPSoCBench, CompSim e abordagens de realidade aumentada com MIPS. Esse padrão sugere que, embora exista diversidade de propostas, ainda há limitada continuidade na investigação das ferramentas ao longo do tempo.

Os dados confirmam que simuladores representam 76% das ferramentas identificadas, com destaque para arquiteturas MIPS e RISC-V. As funcionalidades mais comuns incluem: execução passo a passo de instruções, visualização do fluxo de dados entre componentes, edição e montagem de programas em Assembly, visualização de registradores e memória, e animação do pipeline de execução. Essa predominância de simuladores pode ser explicada pela natureza da disciplina, que demanda que o estudante observe o compor-

tamento dinâmico de componentes de hardware, algo que ferramentas de simulação conseguem oferecer de forma direta e controlada [Nikolic et al. 2009, Esmeraldo et al. 2019].

Contudo, um dado preocupante emerge da Tabela 2: aproximadamente 28,5% dos estudos (6 de 21) apresentam alguma forma de análise dos resultados pedagógicos obtidos com o uso das ferramentas. Isso sugere que, embora haja utilização de ferramentas digitais educacionais, a avaliação de sua eficácia no processo de ensino-aprendizagem ainda é pouco documentada [Nikolic et al. 2009, Esmeraldo et al. 2019].

Além da frequência de simuladores e da baixa taxa de avaliação pedagógica, vale examinar a maturidade e a reutilização dessas ferramentas. Entre os 6 estudos que reportam alguma avaliação pedagógica (A2, A6, A9, A12, A15, A19), apenas o Manna-X [Assumpção et al. 2022] e o NeanderSIM [Ullmann et al. 2014] envolveram avaliação direta com estudantes, enquanto os demais concentram-se na avaliação técnica dos simuladores (correção, desempenho computacional) sem mensurar o impacto na aprendizagem. Quanto à disponibilidade dos artefatos, embora a Tabela 2 indique links de acesso para a maioria das ferramentas desktop, não foi possível confirmar se todos os repositórios seguem ativos e mantidos, o que compromete a reutilização por docentes interessados nessas soluções. Esse padrão sugere que a área carece não apenas de mais ferramentas, mas de soluções mantidas, documentadas e efetivamente avaliadas em contexto real de ensino, aspecto raramente discutido nos estudos primários analisados.

4.2. Q2: Plataformas de Desenvolvimento Predominantes

Além do tipo de ferramenta, a plataforma de desenvolvimento influencia diretamente sua acessibilidade, portabilidade e facilidade de uso em sala de aula. Para responder à Q2, as ferramentas foram agrupadas conforme a plataforma principal indicada nos estudos analisados. Os resultados mostram predominância de aplicações desktop (76,0%), seguidas por ferramentas mobile/RA (12,0%), web (8,0%) e embarcadas/IoT (4,0%). A Figura 1 detalha essa distribuição.

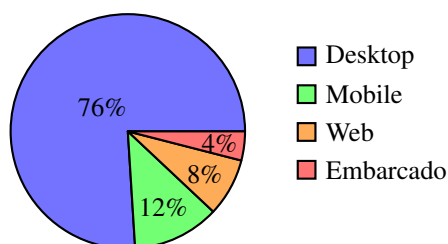


Figura 1. Distribuição por plataforma

Conforme a Figura 1, as ferramentas desktop ainda predominam entre os estudos analisados, refletindo a tradição de simuladores instaláveis na área de AOC. Apesar disso, estudos mais recentes indicam uma ampliação do uso de soluções web, como o simulador com suporte a vetores e cache [Linares et al. 2025] e ferramentas baseadas em navegador [Esmeraldo et al. 2025], que reduzem barreiras de instalação e favorecem o acesso em diferentes sistemas operacionais. As ferramentas de realidade aumentada concentram-se em plataformas mobile [da Silva et al. 2018, Brum et al. 2015].

4.3. Q3: Tópicos de AOC Contemplados pelas Ferramentas

Para responder à Q3, analisou-se quais conteúdos de AOC são contemplados pelas tecnologias educacionais identificadas. Os tópicos foram categorizados com base nos capítulos

da obra de referência de [Patterson and Hennessy 2014], permitindo verificar a frequência com que cada conteúdo aparece no conjunto de ferramentas. A Figura 2 apresenta os resultados dessa categorização.

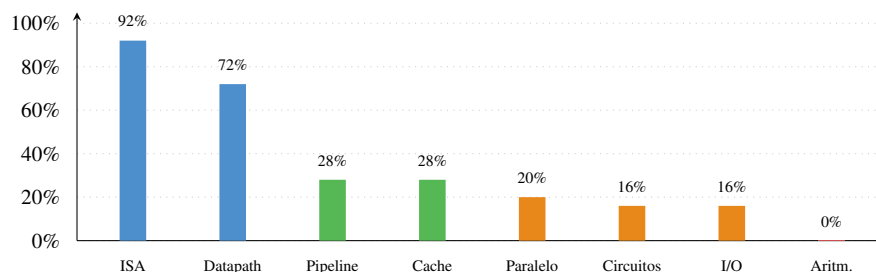


Figura 2. Percentual de ferramentas ($n = 25$) por tópico de AOC, conforme taxonomia de [Patterson and Hennessy 2014].

Identificou-se que os tópicos mais frequentemente abordados são conjunto de instruções (92%) e caminho de dados (72%), refletindo o foco das ferramentas na execução e visualização de instruções. Pipeline e hierarquia de memória são cobertos por 28% das ferramentas cada. Em contrapartida, conteúdos como processamento paralelo (20%), circuitos lógicos e E/S (16% cada) permanecem pouco explorados. Notavelmente, nenhuma ferramenta aborda especificamente aritmética computacional (Cap. 3 de Patterson), como operações de ponto flutuante e algoritmos de multiplicação/divisão.

4.4. Q4: Estratégias Pedagógicas Mobilizadas pelas Ferramentas

Os três eixos anteriores caracterizaram as ferramentas em termos de tipo, conteúdo e plataforma. No entanto, para compreender como essas ferramentas efetivamente contribuem para o processo de ensino-aprendizagem, é necessário analisar as estratégias pedagógicas que as fundamentam. A partir da análise dos estudos, identificamos cinco estratégias predominantes: **Aprendizagem exploratória**: presente na maioria dos simuladores, permite que o estudante interaja com o sistema e observe os resultados de diferentes configurações [Silva and Borges 2016, Hexsel and Carmo 2013]; **Gamificação**: utilizada em jogos educacionais como N-Craft [Amorim et al. 2024] e Manna-X [Assumpção et al. 2022], e em abordagens de RA com elementos de jogo [Silva et al. 2018]; **Visualização interativa**: fundamental em simuladores visuais que representam o fluxo de dados e a execução de instruções de forma animada [Falcão et al. 2011, Ullmann et al. 2014, Rodrigues et al. 2024]; **Aprendizagem ativa**: presente em abordagens que envolvem o estudante no projeto e construção de arquiteturas [Esmeraldo et al. 2025]; **Feedback imediato**: ferramentas que fornecem retorno instantâneo sobre erros e acertos na programação Assembly e configuração de componentes [Costa and Silva 2018].

Essas estratégias não são mutuamente exclusivas. O N-Craft [Amorim et al. 2024], por exemplo, combina gamificação e aprendizagem exploratória. Simuladores visuais como o NeanderSIM [Ullmann et al. 2014] integram visualização interativa e feedback imediato. Esses exemplos indicam a diversificação das abordagens pedagógicas adotadas; ainda assim, a aprendizagem exploratória, associada principalmente aos simuladores tradicionais, permanece predominante nos estudos analisados.

4.5. Discussão das Lacunas e Proposta

Os resultados evidenciam avanços no uso de tecnologias educacionais para o ensino de AOC, sobretudo pela predominância de simuladores voltados à visualização de processos internos do computador. Contudo, também revelam lacunas relevantes: baixa diversidade de abordagens, menor cobertura de temas como hierarquia de memória, paralelismo, entrada/saída e aritmética computacional, predominância de ferramentas desktop e escassez de avaliações pedagógicas sistemáticas.

Grande parte das ferramentas concentra-se na simulação funcional, oferecendo suporte limitado ao acompanhamento da aprendizagem. Nesse cenário, propõe-se como direção promissora o desenvolvimento de uma versão web de simuladores amplamente utilizados, como o Logisim, integrada a ambientes virtuais de aprendizagem, como o Moodle. Essa integração poderia ampliar o acesso às atividades práticas, reduzir barreiras de instalação e permitir o registro automatizado das interações dos estudantes.

Um ambiente dessa natureza poderia reunir recursos como correção automática (*autojudge*), registro de tentativas, acompanhamento da evolução individual, identificação de dificuldades recorrentes, métricas de desempenho, feedback automático e avaliação contínua. Com apoio de *learning analytics*, docentes poderiam acompanhar indicadores de engajamento e desempenho, transformando simuladores técnicos em ambientes pedagógicos mais integrados e centrados no estudante.

Essa proposta também abre possibilidades para pesquisas futuras envolvendo personalização adaptativa, recomendação automática de exercícios, análise de erros frequentes e uso de inteligência artificial generativa como apoio à aprendizagem de circuitos digitais e arquitetura de computadores.

5. Considerações Finais

Este artigo apresentou um mapeamento exploratório de 21 estudos primários sobre ferramentas de apoio ao ensino de Arquitetura e Organização de Computadores. Os resultados indicam predominância de simuladores e plataformas desktop, com maior cobertura de arquitetura de processadores e conjunto de instruções. Também foram identificadas lacunas relacionadas à fragmentação dos conteúdos, à acessibilidade limitada, à baixa presença de avaliações pedagógicas sistemáticas e à ausência de mecanismos adaptativos ou analíticos para acompanhamento da aprendizagem.

Como contribuição, o estudo sistematiza tendências e limitações da área e aponta como direção promissora o desenvolvimento de uma ferramenta web integrada a ambientes virtuais de aprendizagem, como o Moodle, com recursos de simulação, correção automática, feedback formativo e *learning analytics*. Essa abordagem pode ampliar o acesso às atividades práticas, reduzir barreiras de instalação e apoiar docentes no acompanhamento contínuo dos estudantes.

Como limitação, destaca-se que a revisão se restringiu à base SOL (SBC Open-Lib). Trabalhos futuros poderão ampliar a busca para bases internacionais, como IEEE Xplore, ACM Digital Library e Scopus, além de avançar na especificação, implementação e avaliação empírica da ferramenta proposta.

Uso de Inteligência Artificial

Durante a elaboração deste artigo, foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial Generativa para apoio à revisão linguística e organização textual. Essas ferramentas não foram empregadas para gerar resultados, analisar dados ou definir conclusões. Todas as decisões metodológicas e a responsabilidade pelo conteúdo e análise permanecem integralmente com os autores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pampa pela concessão de bolsa de iniciação científica.

Referências

- Alves, F. A. M., Almeida, D., Bragança, L., Gomes, A. B. M., Ferreira, R. S., and Nacif, J. A. M. (2015). Teaching vector architectures using a MIPS instruction simulator. *International Journal of Computer Architecture Education*, 4(1):9–12.
- Amorim, E., Mendes, M. E., Molinos, D., Santos, F. M., and Araújo, R. (2024). N-Craft: Ferramenta virtual e imersiva baseada em Minecraft para suporte no ensino de arquitetura e organização de computadores. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 2703–2712, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Assumpção, M., Junior, M. C., Felinto, A., and Aylon, L. (2022). Manna-X: Projeto, desenvolvimento e avaliação de um jogo multidisciplinar para ensino na ciência da computação. In *Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 918–928, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Brum, L. M. d. L., Pinho, L. B. d., and Camargo, S. d. S. (2015). Methodology for applying augmented reality in the teaching of computer architecture. *International Journal of Computer Architecture Education*, 4(1):17–20.
- Costa, E. and Silva, G. P. (2018). A didactic simulator for teaching computer architecture and the Internet of Things. *International Journal of Computer Architecture Education*, 7(1):29–38.
- da Silva, G., Oliveira, L. C., and Fernandes, S. R. (2018). Uso de realidade aumentada para ensino de arquitetura de computadores com MIPS. In *Anais do XXVI Workshop sobre Educação em Computação*, pages 522–531, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Duenha, L. and Azevedo, R. (2016). Using MPSoCBench simulators for teaching and learning computer architecture. *International Journal of Computer Architecture Education*, 5(1):26–31.
- Esmeraldo, G. and Lisboa, E. (2017). Um ambiente virtual aplicado ao ensino e pesquisa em arquitetura e organização de computadores. In *Anais do IV Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais*, pages 267–270, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Esmeraldo, G., Lisboa, E., Medeiros, V., and Barros, E. (2025). Teaching computer architecture through an integrated top-down RISC-V processor design approach. *International Journal of Computer Architecture Education*, 14(1):41–48.

- Esmeraldo, G., Mendes, C. S., Fontes, L., and Lisboa, E. (2019). Um estudo comparativo entre simuladores computacionais para apoio à disciplina de arquitetura e organização de computadores. In *Anais do IV Congresso sobre Tecnologias na Educação*, pages 434–443, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Falcão, T. P. and de França, R. S. (2021). Computational thinking goes to school: Implications for teacher education in brazil. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 29:1158–1177.
- Falcão, E., Borges, E., Andrezza, I., Silva, G., Wanderley, K., Cavalcante, B., and Silva, H. (2011). Ambiente de simulação gráfica 3D para ensino da arquitetura de processadores. In *Anais do XIX Workshop sobre Educação em Computação*, pages 1639–1646, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Gabriel, L., Vieira, V., and Martins, S. (2022). Beto, o simulador de memória cache. In *Anais Estendidos do XI Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, pages 121–123, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Hexsel, R. A. and Carmo, R. (2013). cMIPS – a pedagogical tool for studying architecture. *International Journal of Computer Architecture Education*, 2(1):29–32.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., and Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2):75–86.
- Kitchenham, B. and Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report.
- Linares, J., Bois, A. D., and Cavaleiro, G. (2025). Simulador web para o ensino de arquitetura de computadores com suporte a vetores e cache. In *Anais do XXVI Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pages 121–132, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press, 2 edition.
- Mendes, C. S., Fontes, L., Lisboa, E., and Esmeraldo, G. (2018). Uma abordagem integrada de hardware e software para o ensino de organização e arquitetura de computadores. In *Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 1711–1715, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Nicol, D. J. and Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. *Studies in Higher Education*, 31(2):199–218.
- Nikolic, B., Radivojevic, Z., Djordjevic, J., and Milutinovic, V. (2009). A survey and evaluation of simulators suitable for teaching courses in computer architecture and organization. *IEEE Transactions on Education*, 52(4):449–458.
- Nunes, I. and Duenha, L. (2020). Simulação de sistemas multicore para fins didáticos. In *Anais Estendidos do XXI Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pages 102–109, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.

- Patterson, D. A. and Hennessy, J. L. (2014). *Organização e Projeto de Computadores: A Interface Hardware/Software*. Elsevier, 5 edition.
- Penna, P. H. M. M. and Freitas, H. C. (2013). Analysis and evaluation of full system simulators for teaching computer architecture. *International Journal of Computer Architecture Education*, 2(1):13–16.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., and Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. In *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, pages 68–77.
- Rodrigues, C., Gonçalves, R. A., and Fabrício Filho, J. (2024). MIPS processor implemented in a visual simulator for educational use. *International Journal of Computer Architecture Education*, 13(1):33–42.
- Silva, G. C. d., Oliveira, L. C., and Fernandes, S. R. (2018). Proposal for teaching computer architecture with gamification and augmented reality. *International Journal of Computer Architecture Education*, 7(1):39–47.
- Silva, G. P. and Borges, J. A. d. S. (2016). SimuS: A simulator for teaching computer architecture. *International Journal of Computer Architecture Education*, 5(1):7–12.
- Sousa, T., Souza, C., Silva, E., and Azevedo, R. (2012). Um simulador para apoiar no processo de ensino e aprendizagem de organização e arquitetura de computadores. In *Anais do XX Workshop sobre Educação em Computação*, pages 315–318, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Stallings, W. (2017). *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*. Pearson, 10 edition.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2):257–285.
- Ullmann, M., Inocêncio, A. C., Neto, E. M., Freitas, M., and Júnior, P. A. P. (2014). NeanderSIM: Simulador gráfico de apoio ao ensino de arquitetura de computadores. In *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, pages 361–370, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.