

Uso de *Softwares* Educacionais no Ensino de Estruturas de Dados: Uma Revisão Sistemática

Rone Clay O. Andrade¹, José Marco M. Nascimento¹, Mikael dos S. Gois¹,
Matheus C. Dos Santos¹, Rafael Jesus¹, Marco Aurélio F. de Souza¹,
Marlos Tacio Silva¹, Levi Costa Mota¹

¹Curso de Ciência da Computação – Instituto Federal de Sergipe (IFS)
Av. Padre Airton Gonçalves de Lima, 1140 – 49.500-543 – Itabaiana – SE – Brasil

roneclr550@gmail.com

{jose.nascimento089, mikael.gois077}@academico.ifs.edu.br

{mathxsant17, rafadejesus125, wise93br}@gmail.com

marlos.silva@ifs.edu.br

levi.mota@gmail.com

Abstract. Background: Algorithms and data structures are essential in Computer Science (CS2023), yet their abstraction and traditional teaching methods cause high failure rates. **Objective:** This paper presents a systematic review of educational software used in teaching data structures, focusing on non-linear structures like trees. **Methodology or Steps:** Guided by the PICO strategy and the CASP quality assessment protocol, seven empirical articles were selected and analyzed. **Expected Results:** Results indicate that tools combined with active strategies, such as gamification and interactive visualization, significantly improve student engagement and academic performance.

Keywords Systematic review, data structures, binary search trees, educational software.

Resumo. Introdução: Algoritmos e estruturas de dados são essenciais na Ciência da Computação (CS2023), mas sua abstração e o ensino tradicional geram altas taxas de reprovação. **Objetivo:** Este artigo apresenta uma revisão sistemática sobre o uso de softwares educacionais no ensino de estruturas de dados, com foco em estruturas não lineares (árvores). **Metodologia ou Etapas:** Utilizando a estratégia PICO e o protocolo CASP, sete artigos empíricos foram selecionados e analisados. **Resultados Esperados:** Os resultados indicam que ferramentas atreladas a estratégias ativas, como gamificação e visualização interativa, melhoram significativamente o engajamento e o desempenho discente.

Palavras-Chave Revisão sistemática, estruturas de dados, árvores binárias de busca, software educacional.

1. Introdução

A formação acadêmica em Ciência da Computação possui como componentes basilares as disciplinas de algoritmos e estruturas de dados. O escopo dessas matérias abrange

a construção e a análise de listas, pilhas, filas, árvores e grafos. A importância desses tópicos é validada pelas diretrizes curriculares internacionais CS2023 da *Association for Computing Machinery* (ACM). Esses conteúdos são classificados nos documentos oficiais como fundamentais e mandatórios para os estudantes, integrando o eixo denominado “CS Core” [Kumar et al. 2024].

Altos índices de reprovação marcam o ensino de estruturas de dados, não obstante sua reconhecida exigência técnica na formação de desenvolvedores de *software*. As dificuldades significativas de aprendizagem são refletidas em métricas institucionais consistentes. A disciplina de “Algoritmos e Estruturas de Dados I” registrou os maiores índices de reprovação na Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes) entre 2014 e 2019 [Gomes et al. 2022]. Um levantamento na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) corroborou esse cenário de retenção ao verificar a aprovação de apenas 68,8% dos discentes. Esse percentual posicionou o componente curricular como o quinto com menor taxa de êxito na instituição [Nunes et al. 2015].

O modelo de ensino tradicional, fundamentado prioritariamente em aulas expositivas e resolução de exercícios, constitui uma das principais barreiras ao aprendizado. A natureza inerentemente abstrata dos conceitos impede a visualização clara de suas aplicações práticas, gerando desmotivação estudantil e dificultando a associação da teoria com o mundo real [Freitas et al. 2014]. As falhas na assimilação tornam-se ainda mais agudas no ensino de árvores. Essa estrutura de dados específica demanda um nível de abstração superior e carece de paralelos intuitivos no cotidiano dos alunos [Souza et al. 2022].

Abordagens educacionais e inovações tecnológicas têm sido propostas para mitigar as limitações desse modelo tradicional. O desenvolvimento de ferramentas computacionais engloba desde jogos educacionais como o SORTIA [Battistella et al. 2012] e *softwares* como o PORTEC [Freitas et al. 2014], até aplicativos móveis como o ASCAA [Oliveira et al. 2016]. Iniciativas complementares exploraram o potencial de tecnologias emergentes, a exemplo da Realidade Aumentada no SEDRA [Hara e Siscoutto 2018] e de extensões para ambientes de programação como o DSAScratch [Jagadeesha et al. 2023]. A literatura também investigou a aplicação integrada de estratégias pedagógicas ativas, destacando-se a adoção da sala de aula invertida [Souza et al. 2022] e métodos de aprendizagem baseados em jogos e projetos [Agner et al. 2021].

Apesar da diversidade de ferramentas, a literatura carece de sínteses sobre como essas tecnologias afetam os mecanismos cognitivos e a retenção de conhecimento. O diferencial desta revisão é ultrapassar a mera catalogação, oferecendo uma síntese analítica das estratégias pedagógicas que efetivamente melhoram a aprendizagem.

O presente estudo conduz uma revisão sistemática da literatura voltada às estratégias e ferramentas aplicadas ao ensino de algoritmos e estruturas de dados. A análise prioriza o mapeamento das dificuldades associadas aos conceitos abstratos, conferindo especial atenção às estruturas não lineares de árvores. O levantamento e a avaliação das abordagens documentadas permitem compreender o panorama educacional vigente. Busca-se, em última instância, evidenciar quais metodologias demonstram eficácia comprovada na superação dos complexos desafios formativos impostos por esse

componente curricular.

2. Referencial Teórico

As estruturas de dados podem ser classificadas como *lineares* (vetores, listas, pilhas e filas), que organizam os dados em sequência, e *não lineares* (árvores e grafos), que representam relações hierárquicas ou de rede [Cormen et al. 2012]. Estruturas como pilhas e filas possuem analogias diretas com o mundo real (uma pilha de pratos, uma fila de banco), o que facilita o entendimento intuitivo. Em contrapartida, estruturas não lineares como as árvores exigem um nível de abstração consideravelmente maior [Rojas-Salazar et al. 2020].

Dentre as estruturas não lineares, a *árvore binária de busca* (*Binary Search Tree* - BST) se destaca por sua eficiência em operações de busca, inserção e remoção de dados. Trata-se de uma estrutura hierárquica na qual cada nó possui no máximo dois filhos, comumente chamados de subárvore esquerda e subárvore direita. O que define uma BST é a sua propriedade fundamental: para qualquer nó x , todos os valores na sua subárvore esquerda devem ser menores ou iguais ao valor de x , enquanto todos os valores na sua subárvore direita devem ser maiores ou iguais, conforme ilustrado na Figura 1. Essa propriedade invariante permite que operações sejam realizadas com uma complexidade de tempo média de $\mathcal{O}(\log n)$, onde n é o número de nós.

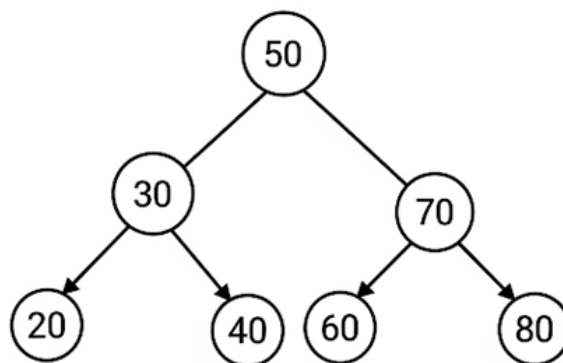


Figura 1. Representação de uma árvore binária.

Considere uma estrutura de dados linear, como um vetor não ordenado. Nela, para encontrar um elemento, seria necessário percorrer, no pior caso, todos os n elementos, resultando em uma complexidade de tempo de $\mathcal{O}(n)$. Em um cenário com 1 milhão de itens, a busca em uma árvore binária de busca balanceada exigiria cerca de 20 comparações ($\log_2 1.000.000 \approx 20$), ao passo que a busca na lista poderia exigir até 1 milhão de comparações. Esse ganho de performance torna a BST uma escolha muito superior para aplicações que demandam agilidade em grandes volumes de informação.

A eficiência da BST, contudo, depende de sua altura. Em um cenário ideal de árvore *balanceada*, a altura é logarítmica, garantindo o máximo de desempenho. Em um caso degenerado, onde os elementos são inseridos de forma ordenada, a árvore pode se transformar em uma lista ligada, e a complexidade das operações passa a ser linear ($\mathcal{O}(n)$), perdendo sua principal vantagem. O aprendizado de árvores torna-se um dos grandes desafios para estudantes de computação justamente pela necessidade de

compreender não apenas a estrutura, mas também os algoritmos de balanceamento (como AVL ou Rubro-Negra) e a recursividade inerente às suas operações.

3. Metodologia

A condução desta revisão sistemática da literatura baseou-se em diretrizes consolidadas da engenharia de *software* [Kitchenham e Charters 2007], com adaptações ao contexto da educação em computação. O objetivo central compreende a identificação e a análise de estudos sobre o uso de *softwares* educacionais no ensino de estruturas de dados, enfatizando arquiteturas não lineares como as árvores. A análise foca em verificar as ferramentas utilizadas, as abordagens pedagógicas e os métodos de avaliação empregados.

A delimitação da pesquisa empregou a estratégia PICO [Higgins e Thomas 2019]. Essa estruturação metodológica permitiu a definição precisa dos elementos centrais da investigação, detalhados a seguir:

- **(P) População:** Estudantes de Ciência da Computação e áreas afins.
- **(I) Intervenção:** Uso de *softwares*, ferramentas ou aplicativos educacionais.
- **(C) Comparação:** Métodos tradicionais de ensino (por exemplo, aulas expositivas).
- **(O) Resultado (*Outcome*):** Melhoria na compreensão, engajamento ou desempenho no aprendizado de estruturas de dados do tipo árvore.

Três Questões de Pesquisa (QPs) foram estabelecidas com base nos elementos da estratégia PICO. A formulação dessas perguntas visa direcionar o levantamento e a síntese das evidências:

- **QP1:** Quais *softwares* e ferramentas têm sido propostos na literatura para o ensino de estruturas de dados, com foco em árvores?
- **QP2:** Como a eficácia dessas ferramentas foi avaliada nos estudos, considerando os métodos e as métricas empregados?
- **QP3:** Quais são os benefícios e as limitações relatados do uso dessas ferramentas no processo de ensino-aprendizagem?

As buscas foram executadas em cinco bases de dados eletrônicas relevantes para a Ciência da Computação e Educação: ACM Digital Library, IEEE Xplore Digital Library, ScienceDirect, SBC Open Lib (SOL) e Periódicos Capes. A *string* de pesquisa genérica, adaptada posteriormente para a sintaxe de cada base, combinou termos relacionados à População, Intervenção e ao contexto educacional:

```
("Data Structures" OR "Binary Tree") AND
("Education" OR "Teaching" OR "Learning") AND
("Software" OR "Tool" OR "Application").
```

Crerios de inclusão e exclusão balizaram a seleção dos artigos. Os requisitos de inclusão exigiram publicações entre 2018 e 2024, nos idiomas inglês ou português, com aplicação prática de *software*. As regras de exclusão eliminaram estudos fora do contexto educacional, revisões de literatura e publicações sem acesso ao texto completo. Dois revisores independentes conduziram o processo em duas etapas. A primeira fase envolveu a análise de títulos e resumos para o descarte inicial. A segunda etapa consistiu

na leitura integral dos textos pré-selecionados para a validação final. Divergências entre os avaliadores foram solucionadas mediante discussão e consenso em ambas as fases.

O modelo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) fundamentou o registro visual das etapas da pesquisa [Moher et al. 2009]. Um fluxograma detalha todo o processo de identificação, triagem e inclusão final dos artigos na revisão sistemática.

O rigor metodológico de cada estudo incluído foi avaliado por meio do padrão CASP (*Critical Appraisal Skills Programme*), utilizando-se o *Checklist* para Estudos Qualitativos [Critical Appraisal Skills Programme 2024]. A versatilidade e a adequação dessa ferramenta justificam sua escolha para analisar a diversidade de desenhos de pesquisa encontrados nos artigos, desde quase-experimentos até relatos de experiência.

O *checklist* do CASP foi aplicado por dois revisores independentes a cada um dos sete estudos para avaliar a validade, a clareza e a aplicabilidade dos achados. Com base nas respostas (Sim, Não, Não Sei) às questões, atribuiu-se um julgamento qualitativo final a cada artigo, classificando a evidência como “Alta Qualidade”, “Média Qualidade” ou “Baixa Qualidade”. Esse julgamento ponderou posteriormente a força das evidências durante a síntese dos resultados.

A estrutura de avaliação do *checklist* engloba dez perguntas divididas em três grandes seções temáticas. Essa organização sistemática abrange o rigor, a clareza e o valor da pesquisa:

- **Seção A: Validade da pesquisa (Rigor Metodológico)**

- Os objetivos da pesquisa estavam claros?
- A metodologia qualitativa é apropriada para os objetivos?
- O desenho da pesquisa foi apropriado para os objetivos (isto é, a adequação do uso e da avaliação da ferramenta)?
- A estratégia de recrutamento dos participantes foi apropriada?
- A coleta de dados foi feita de forma a abordar a questão da pesquisa?
- A relação entre pesquisador e participantes foi considerada?

- **Seção B: Resultados da pesquisa**

- A análise dos dados foi suficientemente rigorosa (isto é, a clareza na descrição da análise das respostas dos participantes)?
- A apresentação dos resultados foi clara?

- **Seção C: Utilidade dos resultados (Aplicabilidade)**

- Qual o valor da pesquisa (isto é, a relevância dos achados)?
- Os resultados podem ser transferidos para outros contextos?

A extração de dados dos estudos selecionados ocorreu por meio do preenchimento de uma planilha eletrônica. Os campos registrados contemplaram autoria, ano de publicação, objetivos, metodologia de avaliação, resultados (benefícios e limitações), classificação CASP e conclusões. A síntese das informações extraídas adotou o formato narrativo, estruturando e agrupando os achados conforme as Questões de Pesquisa previamente estabelecidas.

4. Resultados e Discussão

O rastreamento inicial nas bases de dados identificou 1.066 artigos. A aplicação progressiva dos critérios de inclusão e exclusão reduziu esse montante a sete estudos elegíveis para a síntese final. O detalhamento do processo de seleção, contemplando as etapas de identificação, triagem e inclusão, está ilustrado no fluxograma da Figura 2.

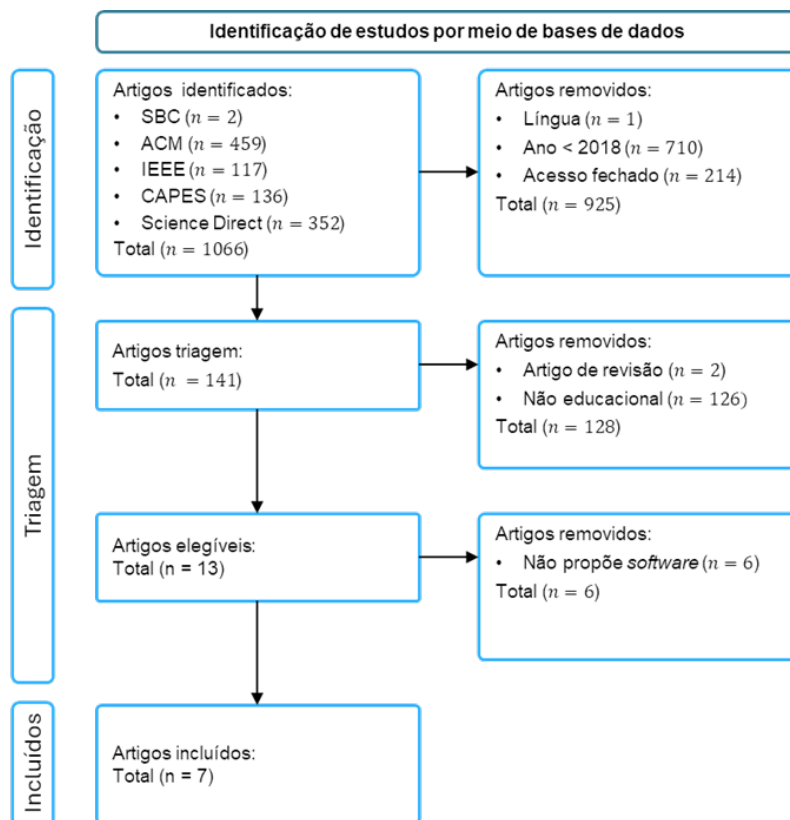


Figura 2. Fluxograma de seleção de artigos.

A Figura 3 apresenta um panorama sintético da literatura selecionada, cruzando três dimensões fundamentais da revisão: a abordagem pedagógica da ferramenta, o rigor do método de avaliação empírica e o índice de qualidade metodológica calculado pelo instrumento CASP. O eixo horizontal mapeia a maturidade da validação dos softwares, progredindo de propostas sem avaliação em campo até delineamentos experimentais robustos. O eixo vertical categoriza as intervenções instrucionais, enquanto o valor numérico destacado no interior de cada círculo reflete a pontuação exata de qualidade da pesquisa.

As pesquisas de mais alta credibilidade (notas CASP 7 e 8) concentram-se à direita do gráfico, sendo dominadas por ferramentas de Suporte Adaptativo (Balbino e Nathasya) e intervenções de Gamificação validadas empiricamente (Dicheva). Em contrapartida, as tecnologias baseadas em Modelagem Visual (McQuaigue, Ravenscroft e Teresco) ainda transitam majoritariamente nos estágios iniciais de validação metodológica. Com exceção do estudo de Teresco, que avança para uma amostragem reduzida, os demais trabalhos dessa categoria limitam-se a relatos de experiência ou à total ausência de testes com usuários, refletindo pontuações CASP medianas ou baixas. O mesmo déficit metodológico isola o trabalho gamificado de Rojas (nota 3) no quadrante de menor rigor.

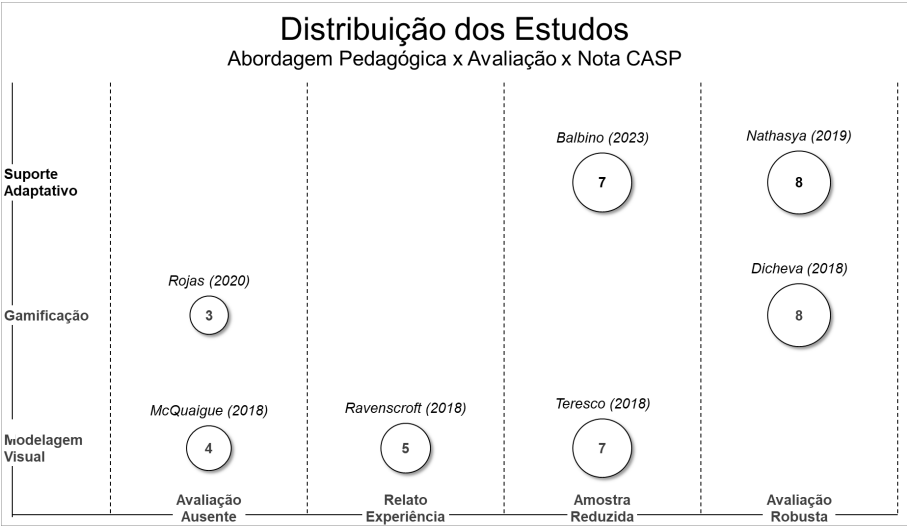


Figura 3. Distribuição dos estudos por abordagem pedagógica, rigor metodológico e qualidade das evidências.

Em suma, este mapeamento atesta a maturidade das ferramentas adaptativas e lúdicas contemporâneas, ao passo que expõe a necessidade de que as futuras plataformas de visualização de dados sejam submetidas a protocolos experimentais mais exigentes. As intervenções mapeadas empregaram ferramentas variadas, englobando soluções preexistentes e tecnologias desenvolvidas pelos próprios pesquisadores. A Tabela 1 sintetiza as informações extraídas dos artigos, incluindo objetivos e conclusões, ordenados pela nota CASP.

Tabela 1. Características dos estudos incluídos pela revisão.

Estudo e Características
[Rojas-Salazar et al. 2020]
• Objetivos: Apresentar a ferramenta DS-Hacker para o ensino de Árvores Binárias de Busca (BST). O foco reside na utilização de analogias com jogos para introduzir conceitos e resgatar o conhecimento prévio dos alunos. • Conclusão: A conexão do novo conteúdo com a bagagem do aluno ocorre por meio de analogias e gêneros de jogos familiares. O projeto promove o aprendizado ativo, embora ainda careça de avaliação experimental concluída. • Nota CASP: 3/10 (“Baixa Qualidade”)

Continua na próxima página...

Tabela 1 – Continuação da página anterior

Estudo e Características

[McQuaigue et al. 2018]

- **Objetivos:** Construir módulos visuais e interativos para o ensino de estruturas de dados. O escopo abrange o desenvolvimento de um sistema de análise visual focado no fornecimento de *feedback* instantâneo aos instrutores.
 - **Conclusão:** O ambiente interativo consolida inovação ao integrar avaliação e instrução. O rastreamento de alunos em risco é facilitado pelo sistema analítico, configurando um protótipo com demanda por testes de usabilidade futuros.
 - **Nota CASP:** 4/10 (“Baixa Qualidade”)
-

[Ravenscroft 2018]

- **Objetivos:** Introduzir o sistema DDS (HTML5 e JS) para a modelagem dinâmica de dados. O projeto visa a substituição do tradicional e custoso ciclo de desenhar-apagar-redesenhar adotado em aulas expositivas.
 - **Conclusão:** A simplificação do ensino foi alcançada por meio de uma interface intuitiva e eficaz. A impossibilidade de reverter ações específicas (*undo*) e a carência de suporte para modelagem de recursividade figuram como as principais limitações técnicas.
 - **Nota CASP:** 5/10 (“Média Qualidade”)
-

[Balbino de Paula et al. 2023]

- **Objetivos:** Analisar os benefícios e desafios da aplicação do ChatGPT como suporte educacional. A investigação foca na efetividade da ferramenta no aprendizado de árvores binárias.
 - **Conclusão:** O ChatGPT configura-se como um aliado educacional promissor que exige aprimoramentos. A mediação do professor permanece fundamental para direcionar o estudo e retificar retornos imprecisos gerados pela Inteligência Artificial.
 - **Nota CASP:** 7/10 (“Média Qualidade”)
-

[Teresco 2018]

- **Objetivos:** Descrever atividades laboratoriais baseadas em malhas viárias do mundo real. O contexto autêntico é aplicado ao ensino de algoritmos de travessia e árvores de abrangência para amplificar o engajamento.
 - **Conclusão:** O ensino de grafos beneficia-se diretamente do projeto METAL e de seus dados cartográficos. A plataforma consolida-se como um recurso motivador, pertinente e de livre acesso para a comunidade acadêmica.
 - **Nota CASP:** 7/10 (“Média Qualidade”)
-

Continua na próxima página...

Tabela 1 – Continuação da página anterior**Estudo e Características**

[Dicheva e Hodge 2018]

- **Objetivos:** Apresentar o jogo “The Stack Game” como facilitador cognitivo para a estrutura de dados de pilha. O estudo avalia a viabilidade da adoção de metodologias de aprendizagem baseadas em jogos.
- **Conclusão:** A eficácia da ferramenta no ensino do conceito de pilha foi ratificada. A receptividade positiva evidencia a viabilidade da expansão de abordagens lúdicas para o ensino de outras arquiteturas de dados.
- **Nota CASP:** 8/10 (“Alta Qualidade”)

[Nathasya et al. 2019]

- **Objetivos:** Integrar mecânicas de visualização de programa e de algoritmos na plataforma DS-PITON. A intervenção busca facilitar a compreensão da implementação prática das estruturas de dados.
- **Conclusão:** O potencial da ferramenta para alavancar o desempenho acadêmico foi confirmado pela percepção discente, que validou a utilidade do recurso no processo formativo.
- **Nota CASP:** 8/10 (“Alta Qualidade”)

Fonte: Elaborado pelo autor(2026).**4.1. Softwares e Ferramentas Identificados (QP1)**

Ferramentas já consolidadas na literatura foram estendidas ou adaptadas em três intervenções independentes [Balbino de Paula et al. 2023, McQuaigue et al. 2018, Teresco 2018]. O modelo de linguagem ChatGPT foi testado como um assistente virtual para o esclarecimento contínuo de dúvidas [Balbino de Paula et al. 2023]. A plataforma de livros didáticos interativos OpenDSA recebeu novos módulos focados especificamente no ensino de estruturas não lineares [McQuaigue et al. 2018]. A visualização de grafos baseados em malhas rodoviárias autênticas foi viabilizada pelas ferramentas do projeto METAL, com destaque para o *Highway Data Examiner* (HDX) [Teresco 2018].

O desenvolvimento próprio de *softwares* caracterizou as quatro propostas restantes [Rojas-Salazar et al. 2020, Dicheva e Hodge 2018, Nathasya et al. 2019, Ravenscroft 2018]. As soluções arquitetadas variaram desde ambientes de aprendizagem interativos até jogos sérios. Os artefatos criados incluem:

- **DS-Hacker:** Jogo tridimensional de ação-aventura voltado para a assimilação de Árvores Binárias de Busca [Rojas-Salazar et al. 2020].
- **The Stack Game:** Ambiente lúdico dedicado à conceituação, aplicação e codificação da estrutura de dados de pilha [Dicheva e Hodge 2018].
- **DS-PITON:** Plataforma unificada de visualização de algoritmos (AV) e de programas (PV) concebida para clarear os detalhes de implementação de estruturas de dados [Nathasya et al. 2019].

- **Dynamic Data Structures (DDS):** Aplicação *web* interativa em HTML5 e JavaScript para a modelagem gráfica de árvores binárias e listas encadeadas [Ravenscroft 2018].

A categorização das iniciativas revela duas vertentes principais no desenvolvimento de sistemas educacionais. A primeira concentra-se na promoção do aprendizado ativo por meio de *serious games* (DS-Hacker e The Stack Game). A segunda prioriza o aprimoramento cognitivo pela exploração visual e modelagem interativa de dados (DS-PITON e DDS).

4.2. Metodologias de Avaliação de Eficácia (QP2)

Os protocolos de validação adotados variaram substancialmente no conjunto de artigos. As metodologias documentadas podem ser estratificadas em três níveis de rigor empírico: ausência de avaliação em campo, avaliação observacional ou com amostragem reduzida, e avaliação experimental robusta.

A ausência de validação empírica marcou três publicações por motivos operacionais distintos. A fase incipiente do desenvolvimento impediu a aplicação prática de um protótipo [McQuaigue et al. 2018] e de um jogo em construção [Rojas-Salazar et al. 2020]. A documentação de uma terceira ferramenta restringiu-se a um relato descritivo de experiência professoral em sala de aula [Ravenscroft 2018].

A aplicação de questionários estruturados fundamentou avaliações com amostras limitadas. A percepção discente após um curso com uso de visualizações geográficas foi mensurada por escala Likert de 7 pontos com 36 participantes [Teresco 2018]. A inserção do ChatGPT no aprendizado de árvores binárias foi investigada em uma turma de 27 alunos [Balbino de Paula et al. 2023]. O método englobou a formulação de um guia de *prompts* para orientar a interação tecnológica ao longo de três semanas. A coleta de dados ocorreu via formulário *online* com nove respondentes e entrevista docente. A IA elevou o engajamento teórico, embora a incapacidade dos alunos em programar os algoritmos do zero tenha sugerido o surgimento de dependência tecnológica.

Projetos experimentais rigorosos validaram estatisticamente a eficácia de plataformas interativas e jogos. O ganho de conhecimento proporcionado pelo “The Stack Game” foi aferido em um estudo empírico com 29 matriculados [Dicheva e Hodge 2018]. A aplicação de testes antes e após as sessões de laboratório revelou um salto na pontuação média de 17,83 para 31,66 pontos. Um Teste t confirmou a relevância estatística ($p < 0,05$), registrando um tamanho de efeito (*effect size*) massivo de 1,0320. O engajamento com o *software* correlacionou-se positivamente com o rendimento final, fato constatado pelo cruzamento de *logs* do sistema com o desempenho nas avaliações.

O impacto instrucional do DS-PITON foi contrastado com o ensino tradicional em um delineamento quase-experimental [Nathasya et al. 2019]. A amostra de trinta sujeitos foi segmentada por ritmo de aprendizado (moderado e lento). O Teste t chancelou melhorias quantitativas e estatisticamente significativas ($p < 0,05$) nas notas de ambos os perfis estudantis que utilizaram o *software*. A métrica de tempo de conclusão de tarefas decresceu de forma relevante apenas para o grupo de ritmo moderado. A validação qualitativa, obtida por questionários de opinião, assegurou a aceitação generalizada da ferramenta entre os pares.

4.3. Benefícios e Limitações Relatados (QP3)

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar um conjunto distinto de benefícios e limitações nas sete ferramentas propostas. Para apresentar esses achados de forma clara e integrada, as contribuições e os desafios foram agrupados com base nas abordagens pedagógicas adotadas: intervenções gamificadas, plataformas de modelagem e visualização de dados, e ferramentas de suporte adaptativo.

- **Intervenções Gamificadas** (DS-Hacker [Rojas-Salazar et al. 2020] e The Stack Game [Dicheva e Hodge 2018]): Destacam-se pela promoção do aprendizado ativo e por ganhos cognitivos estatisticamente significativos. Como benefícios, o DS-Hacker utiliza o ciclo de Kolb e elementos familiares de jogos (labirintos, portais) para facilitar a compreensão, enquanto o The Stack Game gera atitudes positivas e forte engajamento inicial. Em contrapartida, as limitações envolvem distrações sonoras, exigência de bom *hardware* e dificuldades para alunos não jogadores no DS-Hacker. O The Stack Game sofreu com amostras metodológicas reduzidas e instruções pouco claras na etapa de implementação.
- **Plataformas de Modelagem Visual** (OpenDSA [McQuaigue et al. 2018], DDS [Ravenscroft 2018] e Projeto METAL/HDX [Teresco 2018]): Convergem na capacidade de aumentar o engajamento e otimizar a logística em sala de aula. Os benefícios incluem a captura da atenção por meio de dados cartográficos reais (METAL), a otimização do tempo instrucional ao substituir o ciclo de desenhar-apagar-redesenhar no quadro (DDS) e o monitoramento de alunos em risco (OpenDSA). As limitações mapeadas englobam a ausência de suporte à recursão e de botão de “desfazer” no DDS, dificuldades na renderização de grafos grandes no HDX (aliado a amostras pequenas em seu estudo empírico), e a falta de integração com Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) no protótipo do OpenDSA.
- **Ferramentas de Suporte Adaptativo** (DS-PITON [Nathasya et al. 2019] e ChatGPT [Balbino de Paula et al. 2023]): Demonstram eficácia em acomodar diferentes perfis discentes. Os benefícios do DS-PITON envolvem a melhoria de notas para ritmos lento e moderado, além de alta estabilidade técnica. O ChatGPT atua como apoio motivador, fornecendo um ambiente acessível e familiar para tirar dúvidas. Contudo, as limitações exigem vigilância pedagógica: o tempo de conclusão de tarefas aumentou para alunos de ritmo lento no DS-PITON, enquanto o ChatGPT apresenta riscos de fornecer códigos incorretos, fomentar a dependência tecnológica, atuar sem transparência nos modelos de linguagem e reproduzir vieses.

Transversalmente, a eficácia do ensino atrela-se à combinação de softwares com estratégias ativas. Analogias visuais e gamificação superam a abstração, enquanto sistemas adaptativos personalizam a aprendizagem. Contudo, a tecnologia é apenas um catalisador; a mediação docente permanece indispensável para garantir o aprofundamento teórico e retificar imprecisões de Inteligências Artificiais.

5. Conclusão

A abstração inerente à disciplina de estruturas de dados impõe desafios significativos ao ensino-aprendizagem, refletidos em altas taxas de reprovação. Para mitigar esse

problema, esta revisão sistemática identificou e analisou ferramentas computacionais projetadas para superar tais dificuldades, focando em estruturas não lineares, notadamente árvores.

A análise comparativa revelou a tendência de que avaliações metodologicamente robustas (como pré e pós-testes) indicam a gamificação e a visualização interativa como eficazes no aprimoramento do desempenho e do engajamento discente. Em contrapartida, identificaram-se limitações importantes, como a inadaptação a diferentes ritmos de aprendizado, exemplificada no estudo do DS-PITON, e os riscos de dependência e retornos incorretos, como observado no uso do ChatGPT.

As restrições metodológicas deste estudo demandam reconhecimento científico. A força das conclusões apresentadas sofre limitação direta pela qualidade metodológica primária dos artigos analisados e pelo número de repositórios consultados. A ausência de avaliações empíricas e o enquadramento de parte dos textos nas categorias de baixa ou média qualidade reforçam essa ressalva analítica. Para pesquisas futuras, recomenda-se a expansão do levantamento bibliográfico em novas bases de dados a fim de tornar a revisão mais abrangente.

Para preencher essas lacunas, recomenda-se a condução de estudos com maior rigor metodológico, como ensaios controlados randomizados e pesquisas longitudinais, para avaliar o impacto a longo prazo dessas ferramentas no aprendizado. Um caminho de pesquisa promissor é o desenvolvimento de sistemas adaptativos, capazes de personalizar a experiência de aprendizagem para estudantes com diferentes ritmos e estilos. Além disso, são cruciais novas pesquisas sobre as melhores práticas pedagógicas para integrar Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs), como o ChatGPT, de forma a maximizar seus benefícios e mitigar os riscos identificados.

Conclui-se que o uso de *softwares* educativos representa uma estratégia promissora para complementar o ensino tradicional de estruturas de dados. A maximização de seus benefícios, contudo, depende fundamentalmente do alinhamento entre a ferramenta e os objetivos pedagógicos, além da manutenção do acompanhamento docente. As limitações inerentes às tecnologias educacionais devem ser criteriosamente consideradas, a fim de garantir que a ferramenta atue como um catalisador do aprendizado, sem se tornar um obstáculo ao desenvolvimento da autonomia e do raciocínio crítico dos estudantes.

6. Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Os autores declaram que as ferramentas Claude e Gemini foram utilizadas exclusivamente para fins de revisão gramatical e estrutural do texto. O uso dessas ferramentas não substitui a autoria humana, e os autores assumem total responsabilidade pela integridade, originalidade e exatidão de todo o conteúdo apresentado, garantindo a ausência de plágio.

Referências

Agner, L. T. W., Thomen, M. A. F., Utzig, G. M., e Soares, I. W. (2021). Educação em algoritmos e estruturas de dados no contexto do ensino baseado em jogos digitais. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (30):85–92.

- Balbino de Paula, T. A. et al. (2023). Aprendizagem de estrutura de dados utilizando o ChatGPT como ferramenta auxiliar: um relato de experiência com o conteúdo de árvores binárias. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, Niterói. SBC.
- Battistella, P. E., von Wangenheim, A., e von Wangenheim, C. G. (2012). Sortia: um jogo para ensino de algoritmos de ordenação. In *XXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 1–10, Porto Alegre. Sociedade Brasileira de Computação.
- Cormen, T. H. et al. (2012). *Algoritmos: teoria e prática*. Elsevier, Rio de Janeiro, 3 edition.
- Critical Appraisal Skills Programme (2024). Checklist para estudos qualitativos.
- Dicheva, D. e Hodge, A. (2018). Active learning through game play in a data structures course. In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, pages 481–486, New York. ACM.
- Freitas, M. F., Mota, S. D. S., Soares, L. S., e Reis, R. C. D. (2014). Portec: uma ferramenta para auxiliar na abstração dos conceitos de estrutura de dados. In *III Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)*, pages 872–881, Porto Alegre. SBC.
- Gomes, I. C. P. et al. (2022). Estudo da reprovação no curso de sistemas de informação da unimontes no período de 2014/1 a 2019/2. In de Freitas, L. C., editor, *Collection: Applied Computer Engineering 2*, chapter 10, pages 171–183. Atena Editora, Ponta Grossa.
- Hara, M. M. S. e Siscoutto, R. A. (2018). Objetos de aprendizagem para ensino de estruturas de dados fazendo uso de realidade aumentada: Sedra. *Colloquium Exactarum*, 10(1):62–77.
- Higgins, J. P. T. e Thomas, J. (2019). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. John Wiley & Sons, 2 edition.
- Jagadeesha, A. et al. (2023). Integrating data structures and algorithms in k-12 education using block-based programming. *arXiv*.
- Kitchenham, B. e Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical Report EBSE-2007-01, Keele University.
- Kumar, A. N. et al. (2024). *Computer Science Curricula 2023*. ACM Press; IEEE Computer Society Press; AAAI Press.
- McQuaigue, M. et al. (2018). Visualization, assessment and analytics in data structures learning modules. In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, pages 864–869, New York. ACM.
- Moher, D. et al. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The prisma statement. *PLoS Medicine*, 6(7).
- Nathasya, R. A. et al. (2019). Integrating program and algorithm visualisation for learning data structure implementation. *Egyptian Informatics Journal*, 20(3):193–204.

- Nunes, M., Costa, E., Feitosa, F., e Brancher, J. (2015). Análise das ementas de estruturas de dados das universidades brasileiras. In *Anais do XXIII Workshop sobre Educação em Computação*, pages 436–445, Porto Alegre. Sociedade Brasileira de Computação.
- Oliveira, L. R. C. d. et al. (2016). Desenvolvimento de um aplicativo móvel educacional voltado ao ensino de estrutura de dados. In *XXVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 559–568, Porto Alegre. SBC.
- Ravenscroft, R. A. J. (2018). Dynamic data structures, a web based tool for teaching linked lists and binary trees. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 33(6):97–106.
- Rojas-Salazar, A., Ramírez-Alfaro, P., e Haähr, M. (2020). Learning binary search trees through serious games. In *1st International Computer Programming Education Conference (ICPEC)*, pages 22:1–22:7, Dagstuhl. Leibniz-Zentrum für Informatik.
- Souza, B. et al. (2022). Ensino invertido de estrutura de dados no contexto do ensino remoto emergencial. In *II Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EDUCOMP)*, pages 77–87, Porto Alegre. SBC.
- Teresco, J. D. (2018). Graph traversals and spanning trees using metal highway data and visualizations. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 34(2):143.