



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

LAIRA DAS ALMAS SILVA

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO
AO APRENDIZADO DE ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE
DADOS**

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

2019

LAIRA DAS ALMAS SILVA

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO
AO APRENDIZADO DE ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE
DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da Computação. Orientador: Prof. Me. Stenio Longo Araújo.

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

2019

LAIRA DAS ALMAS SILVA

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO
AO APRENDIZADO DE ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE
DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da Computação. Orientador: Prof. Me. Stenio Longo Araújo.

APROVADA EM: 30/07/2019

BANCA EXAMINADORA

Dra. Alzira Ferreira da Silva
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Me. Gidevaldo Novais dos Santos
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Me. Stenio Longo Araújo
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

*Dedico este trabalho aos meus pais, Edinete e Clodoaldo,
que de madrugada vinham me trazer um negocinho pra comer.*

RESUMO

Este trabalho executa uma Revisão Sistemática da Literatura analisando ferramentas de auxílio ao ensino de Algoritmos e Estruturas de Dados. Os conteúdos abordados na disciplina Estruturas de Dados nos cursos de computação são conhecidos por serem de difícil aprendizado por parte dos alunos. Numa área com altas taxas de abandono, a metodologia expositiva não é suficiente e métodos alternativos se mostram um valioso recurso. Nesse contexto, *softwares* educativos que tratam de Estruturas de Dados são frequentemente apontados como uma alternativa para facilitar a compreensão desse conteúdo. Neste trabalho uma Revisão Sistemática da Literatura é executada, analisando artigos publicados em português e inglês com intuito de conhecer o cenário dessas ferramentas nos últimos 20 anos. A revisão aponta para a existência de 68 ferramentas disponíveis, na sua maioria focando nos conteúdos de pilha, fila, lista e árvore binária de busca, sendo geralmente ferramentas de simulação na *Web*. No entanto, apesar da vasta seleção de ferramentas disponíveis, uma grande maioria das publicações não disponibiliza uma forma de acesso no texto, dificultando para o aluno conseguir utilizá-las, ou até mesmo verificar se estas fazem o que propõem.

PALAVRAS-CHAVES: Estruturas de dados. Revisão sistemática. Software educativo.

ABSTRACT

This work performs a Systematic Review of the Literature, analysing tools that aid in the learning of Data Structures. The subjects covered in Data Structures disciplines in computing courses are known for being difficult to learn by the students. In an area with high drop out rates, the expository methodology is not sufficient and alternative methods have shown to be a valuable resource. In this context, educational software that deal with Data Structures are frequently pointed as an alternative to make this subject easier to comprehend. In this work, a Systematic Review of the Literature is performed, analysing articles published in Portuguese and English, in an intention to know the scenario regarding these tools in the last 20 years. The review points to the existence of 68 available tools, mostly focusing in the subjects stack, queue, list and binary search tree, being usually Web based simulation tools. Nevertheless, although a vast selection of tools is available, most of the publications does not present an URL in the text to access the tool, making it hard for the student to use them or even verify if they do what is proposed.

KEY-WORDS: Data structures. Educational software. Systematic review.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Número de Publicações x Ano | 25 |
| Figura 2 – Porcentagem de Publicações x Ano | 25 |
| Figura 3 – Estruturas de Dados | 27 |
| Figura 4 – Algoritmos de Ordenação | 27 |
| Figura 5 – <i>Softwares</i> Educativos | 28 |
| Figura 6 – Número de Plataformas x Ano | 30 |
| Figura 7 – Acesso à Ferramenta e sua Documentação | 31 |
| Figura 8 – Porcentagem de Ferramentas Testadas | 32 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Estruturas de Dados Consideradas | 14 |
| Quadro 2 – Instituições | 16 |
| Quadro 3 – Questões de Pesquisa | 17 |
| Quadro 4 – Bases de Dados | 17 |
| Quadro 5 – Palavras-Chave | 18 |
| Quadro 6 – <i>Strings</i> de Busca | 18 |
| Quadro 7 – Critérios de Inclusão dos Estudos Primários | 19 |
| Quadro 8 – Critérios de Exclusão dos Estudos Primários | 19 |
| Quadro 9 – Critério de Qualidade dos Estudos Primários | 19 |
| Quadro 10 – Artigos Considerados para a RSL das Buscas em Português | 21 |
| Quadro 11 – Artigos Considerados para a RSL nas Buscas em Inglês | 21 |
| Quadro 12 – Estruturas de Dados nas Ferramentas | 26 |
| Quadro 13 – <i>Softwares</i> educativos | 28 |
| Quadro 14 – Plataformas | 29 |
| Quadro 15 – URL | 30 |
| Quadro 16 – Documentação | 31 |
| Quadro 17 – Teste | 32 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Artigos que Passaram Após Aplicação de Critérios (Busca em Português) . | 20 |
| Tabela 2 – Artigos que Passaram Após Aplicação de Critérios (Busca em Inglês) . . . | 20 |
| Tabela 3 – Artigos que Passaram Após Aplicação de Critérios (Total) | 20 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| 2D | Bidimensional |
| 3D | Tridimensional |
| Enade | Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes |
| ID | Identificadores |
| RSL | Revisão Sistemática da Literatura |
| URL | Uniform Resource Locator |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 11 |
| 2 | Referencial Teórico | 13 |
| 2.1 | Revisão Sistemática da Literatura | 13 |
| 2.2 | Estruturas de Dados | 13 |
| 2.3 | <i>Software</i> Educativo | 14 |
| 3 | Metodologia | 16 |
| 3.1 | Planejamento | 16 |
| 3.1.1 | Bases de Dados | 17 |
| 3.1.2 | <i>Strings</i> de Busca | 17 |
| 3.1.3 | Método de Avaliação dos Estudos Primários | 18 |
| 3.1.4 | Crítérios de Inclusão | 18 |
| 3.1.5 | Crítérios de Exclusão | 19 |
| 3.1.6 | Crítério de Qualidade | 19 |
| 3.1.7 | Extração dos Dados dos Estudos Primários | 19 |
| 3.2 | Execução | 19 |
| 3.3 | Resultados | 24 |
| 3.3.1 | Questões Específicas de Pesquisa | 26 |
| 3.3.2 | Questão Geral de Pesquisa | 32 |
| 4 | Conclusão e Trabalhos Futuros | 34 |
| | Referências | 35 |

1 INTRODUÇÃO

As diretrizes curriculares dos cursos de graduação em computação (Licenciatura em Computação, Bacharelado em Ciência da Computação, Engenharias da Computação e de *Software* e Sistemas de Informação) definem a lista de conteúdos comuns a todos os cursos, bem como as particularidades de cada um deles (BRASIL, 2016).

Conteúdos comumente vistos em todos cursos acabam por representar a área de modo geral e a base de conhecimento essencial para o aluno compreender disciplinas específicas no decorrer da graduação, uma vez que conhecimentos anteriores são necessários para compreender tópicos mais específicos.

Um desses conteúdos básicos é Estruturas de Dados. Definido por Cormen et al. (2002, p. 6), uma estrutura de dado é “um meio para armazenar e organizar dados como o objetivo de facilitar o acesso e as modificações”. Estudando-as o aluno aprende as diferentes formas que dados podem ser acessados, ordenados e manipulados.

No entanto, esse conteúdo é conhecido por ser de difícil abstração para os alunos. Silva, Silva e Santos (2009), analisando pesquisas sobre as dificuldades dos conteúdos introdutórios de computação, apontam que

nos últimos anos, essas disciplinas tem apresentado altos índices de evasão e reprovação, com ênfase em disciplinas que abordam Programação, Algoritmos e Estruturas de Dados. Essas reprovações geram desmotivação nos alunos prejudicando o processo de ensino-aprendizagem.

Estudos como Zingaro et al. (2018) são focados exclusivamente nos tópicos em que os alunos da disciplina têm dificuldade e apontam para o fato de que apesar de ser um problema comumente conhecido, não é muito estudado.

Bruce (2018) cita a alta taxa de evasão em cursos de ciência da computação como um dos principais problemas do ensino de computação atualmente. Uma das estratégias aplicadas para diminuir essa taxa é utilizar ferramentas de apoio que diminuem a carga cognitiva no aluno. Neste caso, os *softwares* educativos apresentam os assuntos de forma mais simples através de interfaces gráficas e animações como forma de aumentar o interesse do aluno.

Software educativo é uma aplicação desenvolvidas com fins didáticos que muitas vezes vem para suprir as lacunas deixadas pelas limitações presentes no ensino em sala de aula. Baecker (1998) aponta para a animação como uma ferramenta válida para auxiliar na compreensão de conteúdos apresentados em computação Valente (1999) classifica diferentes *softwares* educacionais por suas características em comum, como vantagens e desvantagens de cada abordagem. Um conteúdo abstrato como o de Estruturas de Dados se torna mais palpável para o aluno através formas alternativas de visualizá-lo.

Nesse contexto este trabalho executou uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com o intuito de conhecer como está o cenário em relação às ferramentas de auxílio ao ensino

de Estruturas de Dados.

As seções seguintes estão divididas da seguinte forma: seção 2, referencial teórico; seção 3, metodologia, apresentando o processo de desenvolvimento da RSL, dividido em planejamento, execução e resultado; seção 4, conclusão e trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Kitchenham (2004) define uma RSL como uma “forma de identificar, avaliar e interpretar todas pesquisas relevantes disponíveis sobre uma pergunta, tópico ou fenômeno de interesse”. Esta forma de análise se destaca por utilizar uma metodologia rigorosa que aumenta a confiabilidade do trabalho. Segundo Sampaio e Mancini (2007, p. 84), “as revisões sistemáticas são particularmente úteis para integrar as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente”.

Os passos utilizados no processo de desenvolvimento desta RSL estão de acordo com Kitchenham (2004), que adapta os guias para realização de revisões sistemáticas das áreas de saúde para a área de engenharia de *software*. Os passos da RSL são os seguintes:

- a) planejamento: descreve todos parâmetros usados para a execução da RSL, bem como questões de pesquisa, chaves de busca e requisitos de inclusão, exclusão e qualidade que serão aplicados nos estudos primários;
- b) execução: descreve o processo de inserção das chaves de busca nas bases de dados, os retornos e a aplicação dos requisitos, culminando na lista de artigos que será analisado para responder às questões de pesquisa;
- c) resultados: onde os dados analisados são sintetizados e expostos na forma de resposta às questões de pesquisa.

Os estudos que contribuem para a RSL são chamados de Estudos Primários e a RSL em si é chamada de Estudo Secundário. A partir da análise dos estudos primários será possível compreender o cenário dos últimos 20 anos em relação à ferramentas que podem auxiliar no ensino de Estruturas de Dados. Na metodologia todos passos da RSL serão descritos em detalhe.

2.2 ESTRUTURAS DE DADOS

Como abordado em Goodrich e Tamassia (2007), Estruturas de Dados são estruturas, com comportamentos distintos que ditam sua forma de manipular os espaços de memória, executando acesso, inserção, remoção das mesmas.

Nos cursos de computação, quando o aluno cursa sua primeira disciplina de programação conhece Estruturas de Dados simples, como variáveis e vetores, e o conceito não é aprofundado. Ao cursar a disciplina que introduz Algoritmos e Estruturas de Dados, diferentes estruturas são apresentadas, bem como algoritmos de ordenação e busca. Nesse momento o discente é exposto ao conceito de eficiência, percebendo que diferentes estruturas servem diferentes propósitos.

Segundo o Cormen et al. (2002), os conteúdos da disciplina pode ser dividido em duas categorias: i) Algoritmos; ii) Estruturas de Dados.

Na categoria de Algoritmos encontram-se: algoritmos de ordenação, que ordenam elementos dentro de uma estrutura de dado (Exemplos: *Insertion Sort*, *Selection Sort*, *Bubble Sort*, *Merge Sort*, *Quick Sort*, *Heapsort*, *Bucket Sort*, *Radix Sort*, *Shell Sort*); algoritmos de pesquisa, que descrevem o processo de percorrer um estrutura de dado para encontrar um elemento (Busca Linear, Busca Binária, Recursividade).

Na categoria de Estruturas de Dados encontram-se: estruturas lineares, que funcionam de forma sequencial (Exemplos: Vetor, Pilha, Fila, Lista) e estruturas não-lineares, que não funcionam de forma sequencial (Exemplo: Árvore Binária de Busca, Árvore AVL, Árvore Rubro Negra, Árvore B+, Heap).

Quadro 1 – Estruturas de Dados Consideradas

| Categorias | Tópico | Assunto |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Algoritmos | Algoritmos de Ordenação | <i>Insertion Sort</i> |
| | | <i>Selection Sort</i> |
| | | <i>Bubble Sort</i> |
| | | <i>Merge Sort</i> |
| | | <i>Quick Sort</i> |
| | | <i>Heapsort</i> |
| | | <i>Radix Sort</i> |
| | <i>Shell Sort</i> | |
| | Algoritmos de Pesquisa | Busca Linear |
| | | Busca Binária |
| Recursividade | | |
| Estruturas de Dados | Estruturas Lineares | Pilha |
| | | Fila |
| | | Lista |
| | Estruturas Não-Lineares | Árvore Binária de Busca |
| | | Árvore AVL |
| | | Árvore Rubro-Negra |
| | | Heap |

2.3 SOFTWARE EDUCATIVO

Um *software* educativo é uma ferramenta desenvolvida com uma proposta pedagógica, promovendo o aprendizado por meio de uma ferramenta digital que, segundo Cristovão (2013), este pode ser um *software* comum, como uma planilha eletrônica ou um editor de texto, contanto que tenha uma utilização educacional. Porém, como aponta Almeida e Almeida (2015), um *software* educativo deve vir como uma ferramenta de complementação e não como um substituto dos métodos atuais de ensino.

Existe um cuidado para desenvolver ferramentas do tipo. Artigos como Barreto et al. (2005) são focados especificamente no processo de desenvolvimento de um *software* educativo,

Webber, Boff e Bono (2009) apresentam ferramentas especializadas para análise dos mesmos e Squires e Preece (1996) mostra, já nos anos 90 a preocupação com a usabilidade destas ferramentas.

Tipos diferentes de *softwares* educativos tem propósitos distintos. Segundo Valente (1999, p. 71)

Alguns *software* apresentam características que favorecem a compreensão, como no caso da programação; outros, onde certas características não estão presentes, requerem um maior envolvimento do professor, criando situações complementares ao *software* de modo a favorecer a compreensão, como no caso do tutorial.

Cristovão (2013) classifica os *softwares* educativos: Apresentação, Consulta, Pergunta/Resposta, Tutor Inteligente, Construção, Jogos, Simulação, Micromundo, Programação, Comunicação, Cooperação. Cada categoria tendo formas de interação e retorno para com o aluno diferentes.

Nesta RSL serão consideradas diferentes ferramentas que abordam conceitos de Estruturas de Dados e possuem cunho pedagógico, tanto digitais (*softwares* educativos) como não digitais.

3 METODOLOGIA

Na escolha dos assuntos a serem verificados no processo de análise dos artigos, foram considerados conteúdos abordados nas disciplinas que introduzem Estruturas de Dados das universidades de maior *conceito contínuo* da última prova do Enade¹, executada em 2017, para os cursos mencionados por (BRASIL, 2016) que fizeram a prova e disponibilizam *online* os conteúdos abordados na disciplina. Foram desconsideradas, porém, as provas em que menos de dez alunos participaram. Essas instituições são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Instituições

| Curso | Nome do Instituto de Ensino Superior |
|----------------------------|--|
| Ciência da Computação | Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) ² |
| Licenciatura em Computação | Universidade de Brasília (UNB) ³ |
| Engenharia da Computação | Instituto Militar de Engenharia (IME) ⁴ |
| Sistemas de Informação | Universidade Federal da Bahia (UFBA) ⁵ |

O conteúdo Estruturas de Dados é extenso e aborda desde conceitos triviais à mais complexos. Levando isso em conta, essa RSL, por estar focada nos conteúdos apresentados pelas matérias introdutórias do assunto, não considera conteúdos mais avançados por não ser o foco da pesquisa e não considera o conteúdo de grafos, apesar de ser inicial, por ser uma subseção extensa de Estruturas de Dados que geralmente possui sua própria disciplina. O Quadro 1 foi construído considerando esses conteúdos.

3.1 PLANEJAMENTO

Esta RSL foi conduzida em cima de ferramentas de auxílio ao aprendizado de Estruturas de Dados disponíveis nos últimos vinte anos, com o intuito de verificar o quão completas tais ferramentas são, ou seja, se estas fornecem para o aluno material suficiente para compreender os conteúdos ensinados durante a disciplina.

Para este fim, uma questão de pesquisa geral, Q0, a ser respondida com essa RSL foi definida. Esta questão foi, então, quebrada em questões de pesquisa específicas, Q1-Q5, a fim de analisar diferentes aspectos das ferramentas com a finalidade de chegar a uma conclusão final que responda à Q0. As questões gerais e específicas podem ser vistas no Quadro 3.

¹ Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (Enade) é uma prova aplicada para os concluintes dos cursos de graduação de forma a avaliar os cursos. Os resultados do ano de 2017 e demais anos estão disponíveis em: <<http://portal.inep.gov.br/conceito-enade>>.

² Conteúdos da disciplina disponíveis em: <http://www2.dcc.ufmg.br/disciplinas/aeds2_turmaA1/>.

³ Conteúdos da disciplina disponíveis em: <<https://matriculaweb.unb.br/graduacao/disciplina.aspx?cod=116319>>.

⁴ Conteúdos da disciplina disponíveis em: <<http://www.comp.ime.br/graduacao/disciplinas/3ano/>>.

⁵ Conteúdos da disciplina disponíveis em: <http://wiki.dcc.ufba.br/pub/BSI/EmentaCurso/ementario_bsi.pdf>.

Quadro 3 – Questões de Pesquisa

| ID ⁶ | Questão de pesquisa |
|-----------------|---|
| Q0 | Como se encontra o cenário dos últimos 20 anos em relação à ferramentas de auxílio ao aprendizado de Estruturas de Dados? |
| Q1 | Quais conteúdos de Estruturas de Dados são abordados com maior e menor frequência em ferramentas que auxiliam seu aprendizado? |
| Q2 | Quais categorias de <i>software</i> educativo (jogo, simulador, tutorial...) são escolhidas com maior frequência? |
| Q3 | Para quais plataformas (<i>desktop</i> , <i>Web</i> , <i>mobile</i> ...) essas ferramentas são desenvolvidas com maior frequência? |
| Q4 | São disponibilizadas nas publicações uma forma de acesso (URL) para as ferramentas digitais? |
| Q5 | Quantas publicações descrevem o processo de teste das ferramentas? |

3.1.1 Bases de Dados

As bases de dados consideradas para a revisão são apresentadas no Quadro 4 e encontram-se divididas em duas categorias: i) máquinas de busca que indexam publicações de várias fontes diferentes; ii) anais e revistas ligadas a área de informática na educação que disponibilizam os dados *online*.

Quadro 4 – Bases de Dados

| Categoria | ID | Nome do Site | Endereço do Site |
|-------------------|----|---|--|
| Máquinas de Busca | B1 | ACM Digital Library | dl.acm.org |
| | B2 | IEEE Xplore | ieeexplore.ieee.org |
| | B3 | Portal de Periódicos da CAPES | www.periodicos.capes.gov.br |
| | B4 | Scopus | www.scopus.com |
| Anais e Revistas | B5 | Simpósio Brasileiro de Informática na Educação SBIE | www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/issue/archive |
| | B6 | Workshop de Informática na Escola WIE | www.br-ie.org/pub/index.php/wie/issue/archive |
| | B7 | Revista Brasileira de Informática na Educação RBIE | www.br-ie.org/pub/index.php/rbie/issue/archive |

3.1.2 Strings de Busca

O processo de criação das *strings* de busca que foram inseridas nas bases de dados foi dividido em duas etapas: escolha de palavras-chave e concatenação destas em uma *string* de busca, de acordo com a formatação de cada base.

Esta RSL considera publicações em inglês e português, portanto as palavras-chave foram definidas igualmente para ambas as línguas, como pode ser vista no Quadro 5.

⁶ Alguns quadros neste trabalho possuem uma coluna com Identificadores (ID) para as informações apresentadas no mesmo, de forma a facilitar referências posteriormente.

Quadro 5 – Palavras-Chave

| Idioma | Palavras-chave |
|-----------|-----------------------|
| Português | Aprendizado |
| | Aplicativo/Aplicação |
| | Ensino |
| | Estrutura de Dado |
| | Ferramenta |
| | Jogo |
| Inglês | <i>Learning</i> |
| | <i>Application</i> |
| | <i>Teaching</i> |
| | <i>Data Structure</i> |
| | <i>Tool</i> |
| | <i>Game</i> |

No Quadro 6 são apresentadas as palavras-chave concatenadas e formatadas de acordo com as normas usadas em cada um dos mecanismos de busca citados na seção anterior. Foram também consideradas na busca suas variações linguísticas de número (plural e singular).

Quadro 6 – *Strings* de Busca

| Idioma | Base de dados | Strings de Busca |
|-----------|---------------|--|
| Português | B1 | (ferramenta app aplicativo aplicação jogo) +(ensino aprendizado) +("estrutura de dadoestruturas de dados") |
| | B2 | ((ferramenta OR app OR aplicativo OR aplicação OR jogo) AND ensin* OR aprend*) AND "estrutura* de dado*") |
| | B3, B4 | (ferramenta OR app* OR aplic* OR jogo) AND (ensin* OR aprend*) AND "estrutura* de dado*" |
| | B5, B6, B7 | (ferramenta* OR app* OR aplica* OR jogo*) AND (ensin* OR aprend*) AND "estrutura* de dado*" |
| Inglês | B1 | (tool app application game) +(teach teaching learn learning) +("data structuredata structures") |
| | B2 | ((tool OR app OR application OR game) AND teach* OR learn*) AND "data structure*") |
| | B3, B4 | (tool OR app OR application OR game) AND (teach* OR learn*) AND "data structure*" |
| | B5, B6, B7 | (tool OR app* OR game*) AND (teach* OR learn*) AND "data structure*" |

3.1.3 Método de Avaliação dos Estudos Primários

Os estudos primários foram analisados de acordo com os critérios de inclusão, exclusão e qualidade, como descritos nas subseções 3.1.4, 3.1.5 e 3.1.6, respectivamente.

3.1.4 Critérios de Inclusão

Foram incluídos para análise os estudos primários que satisfizeram os critérios de inclusão, I1-I4, apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Critérios de Inclusão dos Estudos Primários

| ID | Descrição |
|----|--|
| I1 | ter sido publicados entre 1999 e 2019, inclusive |
| I2 | estarem disponíveis em inglês ou português |
| I3 | estarem disponíveis <i>online</i> em formato de texto |
| I4 | apresentarem o termo estrutura(s) de dado(s) , ou sua equivalente em inglês data structure(s) , em pelo menos um desses campos: título, resumo ou palavras-chave |

3.1.5 Critérios de Exclusão

Foram removidos da análise os estudos primários que satisfizeram os critérios de exclusão, E1-E4, apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Critérios de Exclusão dos Estudos Primários

| ID | Descrição |
|----|---|
| E1 | publicações que negam dos critérios de inclusão |
| E2 | publicações que estejam duplicadas |
| E3 | publicações que não tratam de um programa educativo com o intuito de auxiliar o ensino de Estruturas de Dados |
| E4 | publicações que não abordam os conteúdos apresentados no Quadro 1 |

3.1.6 Critério de Qualidade

Permaneceram para análise os estudos primários que satisfizeram o critério de qualidade, V1, apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Critério de Qualidade dos Estudos Primários

| ID | Descrição |
|----|---|
| V1 | disponibilizar informações suficientes para que seja possível a extração de dados necessária para responder às questões de pesquisa |

3.1.7 Extração dos Dados dos Estudos Primários

Os estudos primários que passaram pelos critérios de inclusão, exclusão e qualidade foram lidos por completo de forma a extrair os dados necessários para responder às questões de pesquisa. Para responder à questão Q4, além da leitura das publicações, a URL, ou *Uniform Resource Locator*, disponível na publicação foi inserida no navegador e a página *Web* de retorno foi analisada.

3.2 EXECUÇÃO

A inserção das *strings* de busca nas bases de dados foi realizadas em 25 de abril de 2019 utilizando os critérios de inclusão e retornou 2.918 artigos. Foi feita, então, uma

análise preliminar dos artigos por meio da leitura do títulos e resumos, aplicando os critérios de exclusão, reduzindo os resultados para 178 artigos (7 e 171 para as buscas em português e inglês, respectivamente).

Dentre estes, uma análise profunda foi executada por meio da leitura integral dos artigos, aplicando o critério de qualidade, de forma a identificar os artigos aptos a responder às questões de pesquisa, sobrando 68 artigos (7 e 61 para as buscas em português e inglês, respectivamente) aptos para análise nessa RSL.

Os artigos que passaram após aplicação de cada um dos critérios estão disponíveis nas Tabelas 1 e 2, associados às *strings* de busca em Português e Inglês, respectivamente. A Tabela 3, apresenta o mesmo, considerando ambas as buscas.

Tabela 1 – Artigos que Passaram Após Aplicação de Critérios (Busca em Português)

| Base de dados | Critérios | | |
|-------------------|-----------|----------|-----------|
| | Inclusão | Exclusão | Qualidade |
| B1 | 0 | 0 | 0 |
| B2 | 0 | 0 | 0 |
| B3 | 53 | 0 | 0 |
| B4 | 2 | 2 | 2 |
| B5 | 7 | 4 | 4 |
| B6 | 0 | 0 | 0 |
| B7 | 2 | 1 | 1 |
| B1-B7 (Português) | 64 | 7 | 7 |

Tabela 2 – Artigos que Passaram Após Aplicação de Critérios (Busca em Inglês)

| Base de dados | Critérios | | |
|----------------|-----------|----------|-----------|
| | Inclusão | Exclusão | Qualidade |
| B1 | 973 | 67 | 27 |
| B2 | 838 | 23 | 6 |
| B3 | 57 | 4 | 3 |
| B4 | 981 | 73 | 23 |
| B5 | 4 | 4 | 2 |
| B6 | 0 | 0 | 0 |
| B7 | 1 | 0 | 0 |
| B1-B7 (Inglês) | 2.854 | 171 | 61 |

Tabela 3 – Artigos que Passaram Após Aplicação de Critérios (Total)

| Base de dados | Critérios | | |
|---------------|-----------|----------|-----------|
| | Inclusão | Exclusão | Qualidade |
| B1-B7 (Total) | 2.918 | 178 | 68 |

As 68 publicações que passaram na fase de aplicação dos critérios de qualidade foram utilizadas para executar esta RSL. Elas são apresentadas nos Quadros 10 e 11, junto ao nome das ferramentas que apresentam.

Quadro 10 – Artigos Considerados para a RSL das Buscas em Português

| Busca | ID | Referência | Nome | Título |
|-------|-----|---|---------|--|
| B4 | [1] | Silva e Seabra (2018) | REA-AED | REA-AED: Recurso Educacional Aberto para o Ensino de Algoritmos e Estruturas de Dados |
| | [2] | Battistella et al. (2016) | SORTIA | SORTIA 2.0: Um jogo de ordenação para o ensino de Estrutura de Dados |
| B5 | [3] | Freitas et al. (2014) | PORTEC | PORTEC: uma ferramenta para auxiliar na abstração dos conceitos de Estrutura de Dados |
| | [4] | Batista et al. (2014) | - | Proposta de um Kit Multimídia para Conteúdos de Estrutura de Dados |
| | [5] | Battistella, Von Wangenheim e Von Wangenheim (2012) | SORTIA | SORTIA - Um Jogo para Ensino de Algoritmo de Ordenação: Estudo de caso na Disciplina de Estrutura de Dados |
| | [6] | Souza et al. (2011) | SIED | Um Ambiente Integrado de Simulação para Auxiliar o Processo de Ensino/Aprendizagem da Disciplina de Estrutura de Dados |
| B7 | [7] | Souza e Coelho (2015) | DSGraph | Uma biblioteca gráfica para aprendizagem de estruturas de dados e algoritmos |

Quadro 11 – Artigos Considerados para a RSL nas Buscas em Inglês

| Busca | ID | Referência | Nome | Título |
|-------|---------------------------------------|--|---|--|
| B1 | [8] | Dicheva e Hodge (2018) | Stack Game | Active Learning Through Game Play in a Data Structures Course |
| | [9] | Ravenscroft Jr. (2018) | DDS | Dynamic Data Structures, a Web Based Tool for Teaching Linked Lists and Binary Trees |
| | [10] | Matin, Oliullah e Polash (2018) | - | Implementation of a Customizable Algorithm Visualization Tool for E-Learning |
| | [11] | Imtiaz, Luxton-Reilly e Plimmer (2018) | ThinkInk | ThinkInk - An Intelligent Sketch Tool for Learning Data Structures |
| | [12] | Schreiber e Dougherty (2017) | MusicAlgo | Assessment of Introducing Algorithms with Video Lectures and Pseudocode Rhymed to a Melody |
| | [13] | Begy e Schikuta (2016) | WebAD | A Lightweight e-Learning System for Algorithms and Data Structures |
| | [14] | Khakaj e Liew (2015) | Red-BlackTree Tutor | A New Approach To Teaching Red Black Tree |
| | [15] | Ou, Vechev e Hilliges (2015) | FluidEdt | An Interactive System for Data Structure Development |
| | [16] | Usener (2015) | EASy-DSBuilder | EASy-DSBuilder: Automated Assessment of Tree Data Structures in Computer Science Teaching |
| [17] | Prenner, Rotheneder e Schikuta (2014) | NetLuke | NetLuke: Web-Based Teaching of Algorithm and Data Structure Concepts Harnessing Mobile Environments | |

| Busca | ID | Referência | Nome | Título |
|----------------|------|-------------------------------------|---|--|
| | [18] | Guo (2013) | Online Python Tutor | Online Python Tutor: Embeddable Web-based Program Visualization for Cs Education |
| | [19] | Bryfczynski et al. (2013) | beSocratic ⁷ | Teaching Data Structures with beSocratic |
| | [20] | Buchanan, Ochs e LaViola Jr. (2012) | CSTutor | CSTutor: a pen-based tutor for data structure visualization |
| | [21] | Hakulinen (2012) | DSAsketch | DSAsketch: Data Structures and Algorithms Drawing Game |
| | [22] | Hakulinen (2011) | SortingGame | Using Serious Games in Computer Science Education |
| SortingCasino | | | | |
| Secret rule | | | | |
| Draw and guess | | | | |
| | [23] | Montgomery et al. (2008) | jGRASP | Testing the jGRASP Structure Identifier with Data Structure Examples from Textbooks |
| | [24] | Cross II et al. (2007) | jGRASP | Dynamic Object Viewers for Data Structures |
| | [25] | Haden (2006) | The Incredible Rainbow Spitting Chicken | The Incredible Rainbow Spitting Chicken: Teaching Traditional Programming Skills Through Games Programming |
| | | | Computer Rat in a Maze | |
| | [26] | Baloian, Breuer e Luther (2005) | - | Algorithm Visualization Using Concept Keyboards |
| | [27] | Hendrix, Cross II e Barowski (2004) | jGRASP | An Extensible Framework for Providing Dynamic Data Structure Visualizations in a Lightweight IDE |
| | [28] | Giguette (2002) | The Crawfish and the Aztec Treasure Maze | The Crawfish and the Aztec Treasure Maze: Adventures in Data Structures |
| | [29] | Markham (2001) | - | An Internet-based Expert System for Teaching Introductory Data Structures |
| | [30] | Becker e Beacham (2000) | BDP | A Tool for Teaching Advanced Data Structures to Computer Science Students: An Overview of the BDP System |
| | [31] | Korhonen e Malmi (2000) | TRAKLA | Algorithm Simulation with Automatic Assessment |
| | | | TRED | |
| | [32] | Jarc, Feldman e Heller (2000) | Interactive Data Structure Visualizations | Assessing the Benefits of Interactive Prediction Using Web-based Algorithm Animation Courseware |
| | [33] | Stern, Søndergaard e Naish (1999) | Algorithms in Action | A Strategy for Managing Content Complexity in Algorithm Animation |
| | [34] | Baker et al. (1999) | JDSL Visualizer | Testers and Visualizers for Teaching Data Structures |
| | | | JDSL Tester | |
| B2 | [35] | Karavirta e Shaffer (2016) | JSAV | Creating Engaging Online Learning Material with the JSAV JavaScript Algorithm Visualization Library |
| | [36] | Lai et al. (2015) | - | Developing a Web-based Simulation-based Learning System for Enhancing Concepts of Linked-list Structures in Data Structures Curriculum |

⁷ O artigo apresenta o módulo *GraphPad* disponível no beSocratic que foca em Estruturas de Dados.

| Busca | ID | Referência | Nome | Título |
|-------|------|--------------------------------------|---|--|
| | [37] | Lai e Wu (2015) | SBLS | The Development of Simulation-based Learning System for Binary Tree of Data Structures |
| | [38] | Hakulinen, Auvinen e Korhonen (2013) | TRAKLA2 | Empirical Study on the Effect of Achievement Badges in TRAKLA2 Online Learning Environment |
| | [39] | Rajala et al. (2010) | TRAKLA2 | How does collaboration affect algorithm learning? A case study using TRAKLA2 algorithm visualization tool |
| | [40] | Tao e Sobh (2001) | - | A tool for data structure visualization and user-defined algorithm animation |
| B3 | [41] | Adarme e Jabba Molinares (2018) | SEED | SEED: A software tool and an active-learning strategy for data structures courses |
| | [42] | Battistella et al. (2017) | Quicksort Board Game Heapsort Board Game Heapsort Digital Game ⁸ | Design and large-scale evaluation of educational games for teaching sorting algorithms |
| | [43] | Odisho, Aziz e Giacaman (2016) | InteractiveDS | Teaching and Learning DataStructure Concepts via VisualKinesthetic Pseudocode Withthe Aid of a ConstructivelyAligned App |
| | [44] | Šuníková, Kubincová e Byrtus (2018) | AVL Trees | A Mobile Game to Teach AVL Trees |
| B2 | [45] | Budiman et al. (2018) | Mobile Learning | Mobile learning: Visualizing contents media of data structures course in mobile networks |
| | [46] | Romanowska et al. (2018) | AlgoVis | Towards Developing an Effective AlgorithmVisualization Tool for Online Learning |
| | [47] | Stigall e Sharma (2018) | GTI | Usability and Learning Effectiveness of Game-Themed Instructional (GTI) Module for Teaching Stacks and Queues |
| | [48] | Park e Ahmed (2017) | - | Abstracting Learning Methods for Stack and Queue Data Structures in Video Games |
| | [49] | Sarika, Sharma e Sahu (2017) | GTI | Game theme based instructional module to teach binary trees data structure |
| | [50] | Rismayani e A. (2017) | - | The Implementation Of E-Learning Into Mobile-Based Interactive Data Structure Subject |
| | [51] | Simoňák (2016) | VizAlgo Algomaster | Algorithm visualizations as a way of increasing the quality in computer science education |
| | [52] | Dicheva et al. (2016) | Stack Game | On the design of an educational game for a Data Structures course |
| | [53] | Liu (2016) | Star Chef | Using educational games and simulation software in a computer science course: learning achievements and student flow experiences |
| | [54] | Kaur e Geetha (2015) | Play and Learn DS | Play and learn DS: Interactive and gameful learning of data structure |

| Busca | ID | Referência | Nome | Título |
|-------|------|-------------------------------|----------------------|---|
| | [55] | Zhang et al. (2015) | Space Traveler | Reinforcing student understanding of linked list operations in a game |
| | [56] | Correia et al. (2014) | CADILAG | A methodological approach to use technological support on teaching and learning data structures |
| | [57] | Fouh et al. (2014) | OpenDSA ⁹ | Design and architecture of an interactive eTextbook - The OpenDSA system |
| | [58] | Costa et al. (2014) | DSLEP | Interactive Data Structure Learning Platform |
| | [59] | Zhang et al. (2014) | Recursive Runner | Using a Game-Like Module to Reinforce Student Understanding of Recursion |
| | [60] | Toda et al. (2013) | - | Interactive learning environment for data structures with gamification concepts |
| | [61] | Alhosban e Burd (2012) | DSL | Aural instruction with visualization in E-Learning |
| | [62] | Cardim G et al. (2012) | CADILAG | Teaching and learning data structures supported by computers: An experiment using CADILAG tool |
| | [63] | Ali (2011) | dManzar | Object visualization support for learning data structures |
| | [64] | Rößling (2010) | ANIMAL | A family of tools for supporting the learning of programming |
| | [65] | Smith, Strauss e Maher (2010) | DSV | Data structure visualization: The design and implementation of an animation tool |
| | [66] | Ali (2009) | DVIS | A visualization tool for data structures course |
| B5 | [67] | Souza, Reis e Neves (2018) | TesterDS | TesterDS: uma maneira fácil e estimulante para aprender Estruturas de Dados |
| | [68] | Oliveira et al. (2016) | ASCAA | Desenvolvimento de um aplicativo móvel educacional voltado ao ensino de Estrutura de dados |

3.3 RESULTADOS

Os 68 artigos analisados, datam de 1999 à 2018. Na Figura 1 é possível notar o aumento do desenvolvimento de ferramentas de apoio ao ensino de Estruturas de Dados nos últimos 20 anos, com pico em 2018, quando houve 16,2% das produções, seguido por 2015 e 2016, ambos com 11,8% das publicações. A porcentagem de cada ano é apresentada na Figura 2.

Dos 68 artigos, 68 ferramentas foram apresentadas, das quais 6 aparecem em mais de uma publicação, são elas: CADILAG [56, 62]; GTI [32, 49]; jGRASP [23, 24, 27]; SORTIA

⁸ Chamado de *SORTIA* nas publicações anteriores: Battistella et al. (2016) e Battistella, Von Wangenheim e Von Wangenheim (2012) (artigos [2] e [3], respectivamente).

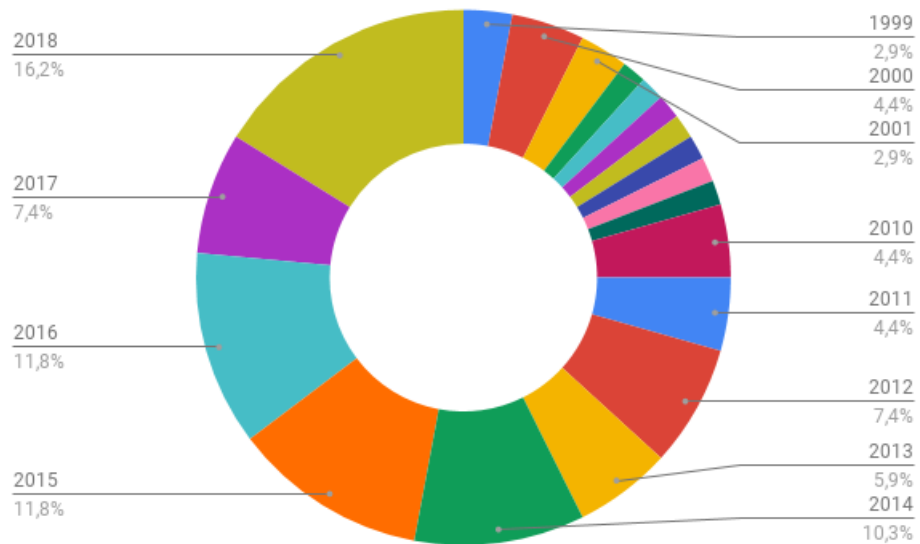
⁹ OpenDSA usa a biblioteca JSAV (KARAVIRTA; SHAFFER, 2016), artigo [35].

[2, 5, 42]; Stack Game [8, 52]; TRAKLA2 [31, 38, 39]. De forma semelhante, ferramentas diferentes que compartilham autores são: [13, 17]; [36, 37]; [63, 66]; [2, 42]; [21, 22]; [55, 59].

Figura 1 – Número de Publicações x Ano



Figura 2 – Porcentagem de Publicações x Ano



3.3.1 Questões Específicas de Pesquisa

Q1) *Quais conteúdos de Estruturas de Dados são abordados com maior e menor frequência em ferramentas que auxiliam seu aprendizado?*

O Quadro 12 apresenta as Estruturas de Dados consideradas para a revisão, bem como as publicações cujas ferramentas abordam estes conteúdos. Apesar da maioria das publicações listarem suas funcionalidades, estas estão em diferentes graus de abstração, eventualmente tornando necessária a procura da documentação da ferramenta para responder essa questão e, como será apresentado na resposta da Q4, nem todas publicações disponibilizam uma forma de acesso às ferramentas ou documentação destas.

Quadro 12 – Estruturas de Dados nas Ferramentas

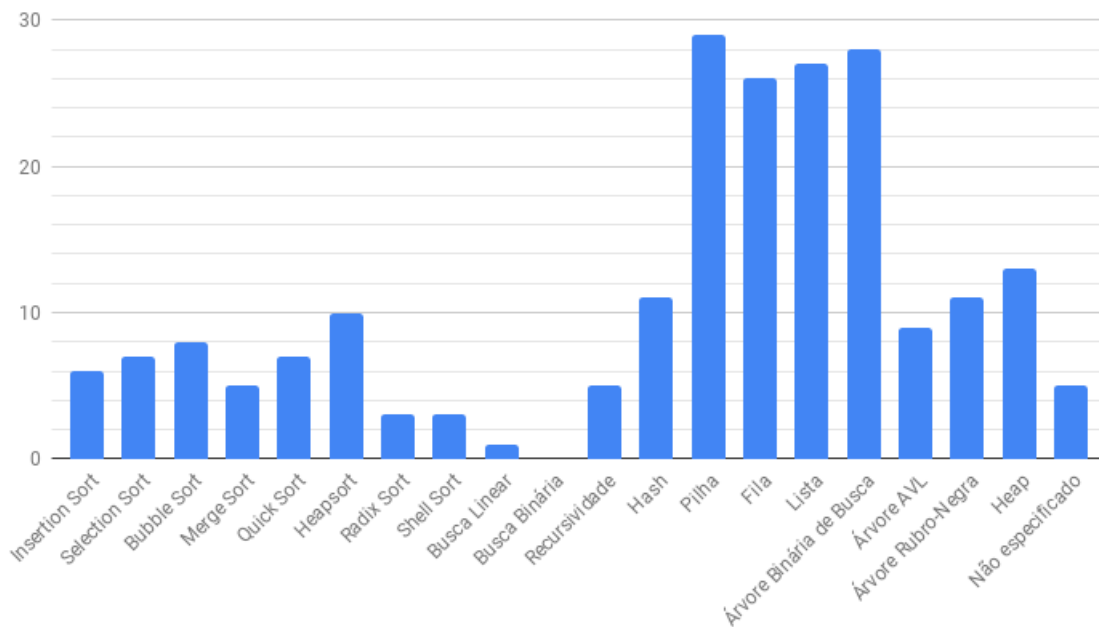
| Tópico | Assunto | Quantidade | Artigos |
|-------------------------|-------------------------|------------|---|
| Algoritmos de Ordenação | <i>Insertion Sort</i> | 6 | [10] [45] [46] [50] [51] [64] |
| | <i>Selection Sort</i> | 7 | [11] [12] [13] [32] [46] [50] [51] |
| | <i>Bubble Sort</i> | 8 | [10] [13] [45] [46] [51] [53] [64] [68] |
| | <i>Merge Sort</i> | 5 | [13] [45] [46] [51] [68] |
| | <i>Quick Sort</i> | 7 | [13] [26] [32] [42] [46] [51] [68] |
| | <i>Heapsort</i> | 10 | [2] [5] [13] [26] [32] [41] [42] [46] [51] [68] |
| | <i>Radix Sort</i> | 3 | [13] [45] [51] |
| | <i>Shell Sort</i> | 3 | [45] [51] [68] |
| Algoritmos de Pesquisa | Busca Linear | 1 | [10] |
| | Busca Binária | 0 | |
| | Recursividade | 5 | [1] [6] [25] [28] [59] |
| | Hash | 11 | [6] [13] [23] [24] [27] [41] [56] [57] [62] [65] [68] |
| Estruturas Lineares | Pilha | 29 | [1] [3] [4] [6] [7] [8] [9] [23] [24] [27] [28] [29] [36] [40] [41] [43] [45] [47] [48] [50] [52] [53] [54] [56] [58] [60] [62] [65] [68] |
| | Fila | 26 | [3] [4] [6] [7] [9] [23] [24] [27] [29] [32] [36] [40] [41] [43] [45] [47] [48] [50] [53] [54] [56] [58] [60] [62] [65] [68] |
| | Lista | 27 | [1] [3] [4] [6] [7] [9] [18] [20] [23] [24] [25] [27] [29] [35] [36] [43] [45] [50] [55] [56] [57] [58] [60] [61] [62] [65] [66] |
| Estruturas Não-Lineares | Árvore Binária de Busca | 28 | [1] [7] [9] [12] [13] [16] [19] [20] [23] [24] [27] [32] [34] [35] [37] [40] [41] [45] [49] [50] [53] [54] [56] [58] [60] [61] [63] [65] |
| | Árvore AVL | 9 | [16] [20] [26] [35] [37] [41] [44] [56] [68] |
| | Árvore Rubro-Negra | 11 | [7] [14] [23] [24] [27] [34] [35] [37] [68] |
| | Heap | 13 | [15] [20] [23] [24] [26] [27] [33] [34] [35] [39] [40] [57] [65] |
| Não especificado | - | 5 | [17] [21] [22] [31] [38] [67] |

Como é possível observar nas Figura 3, de forma geral, o conteúdo abordado com maior frequência pelas ferramentas é pilha, aparecendo em 29 publicações (13,5%), seguido por árvore de busca binária, em 28 (13,0%), lista, em 27 (12,6%) e fila, em 26 (12,1%).

Por outro lado, o conteúdo abordado com menor frequência é busca binária, não sendo implementado em nenhuma das ferramentas, seguido por busca linear, aparecendo em apenas

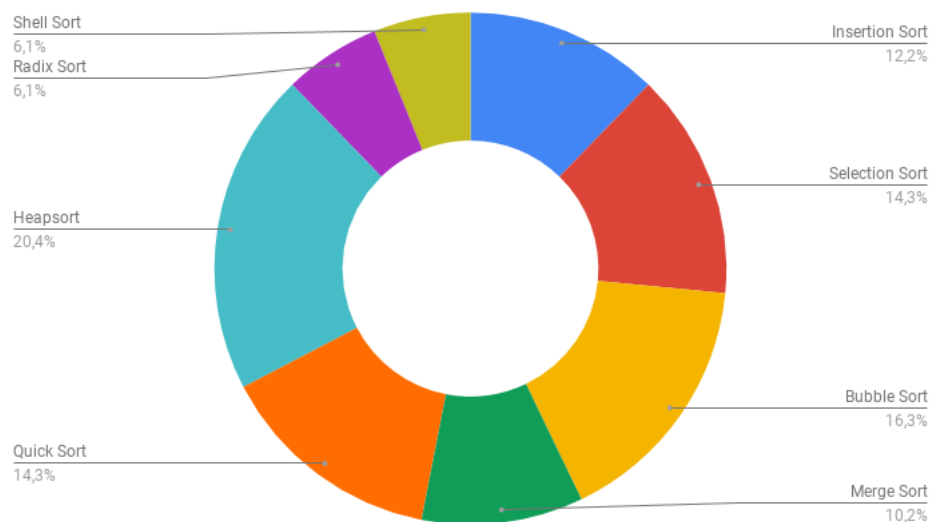
1 publicação (0.5%) e shell e radix sort, ambos em 6.1% das publicações.

Figura 3 – Estruturas de Dados



Já entre os algoritmos de ordenação, o escolhido com maior frequência é o *heapsort*, aparecendo em 20,4% das ferramentas que abordam algoritmos de ordenação, seguido por *radix* e *shell sort*, ambos com 6.1% (Figura 4).

Figura 4 – Algoritmos de Ordenação



Q2) *Quais categorias de software educativo (jogo, simulador, tutorial...) são escolhidas com maior frequência?*

O Quadro 13 classifica as publicações e acordo com o *software* educativo escolhido pela ferramenta apresentada.

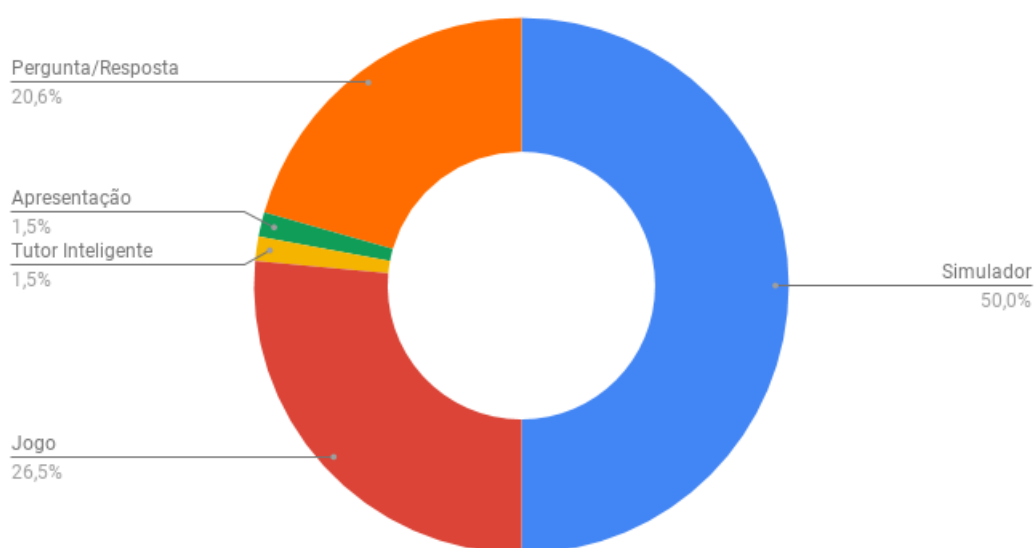
Quadro 13 – *Softwares* educativos

| Tipo | Quantidade | Artigos |
|-------------------|------------|--|
| Simulador | 34 | [4] [6] [9] [10] [13] [15] [16] [17] [18] [20] [23] [24] [26] [27] [30] [31] [33] [36] [37] [40] [41] [43] [44] [46] [50] [51] [56] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [68] |
| Jogo | 18 | [2] [5] [8] [21] [22] [25] [28] [42] [47] [48] [49] [52] [53] [54] [55] [58] [59] [60] |
| Tutor Inteligente | 1 | [29] |
| Apresentação | 1 | [12] |
| Pergunta/Resposta | 14 | [1] [3] [7] [11] [14] [19] [31] [34] [35] [38] [39] [45] [57] [67] |

É possível notar que 50% das publicações apresentam ferramentas que simulam visualmente Estruturas de Dados, seguidos por jogos (26,5%) que aplicam conceitos de Estruturas de Dados num contexto lúdico e pergunta/resposta (20,6%), geralmente em plataformas de ensino online, muitas vezes associada ao conceito de *gamificação*, adicionando medalhas e/ou conquistas para recompensar a trajetória do aluno (Figura 5).

Todas as publicações apontam para a conhecida dificuldade que os alunos apresentam para compreender os conceitos de Estruturas de Dados, portanto é compreensível que os dois *softwares* educativos escolhidos facilitem a abstração do conteúdo com sua forma mais lúdica e ativa.

Figura 5 – *Softwares* Educativos



A maioria das ferramentas que se encaixam na categoria de jogos possuem gráficos bidimensionais (2D), com exceção dos artigos [47, 48, 49] que possuem gráficos tridimensionais (3D), sendo GTI [47, 49] o único a apresentar uma plataforma de realidade virtual.

Q3) *Para quais plataformas (desktop, Web, mobile...) essas ferramentas são desenvolvidas com maior frequência?*

O Quadro 14 classifica as publicações de acordo com as plataformas escolhidas para suas ferramentas: *desktop* ou *stand alone* são programas de computador que não precisam de conexão com a internet para serem executadas; *Web* precisam de internet para funcionar e são executadas por meio de um navegador; não digitais incluem ferramentas físicas que não são manipuladas de forma digital; e as não especificadas no texto.

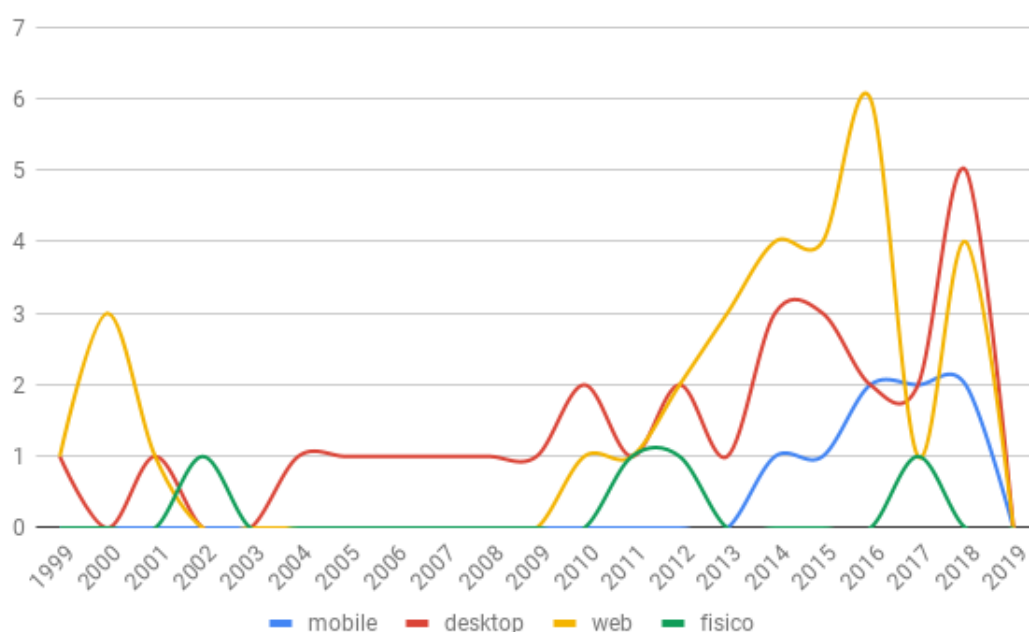
Os identificadores com asterisco sinalizam publicações que apresentam ferramentas híbridas, ou seja, que podem ser usadas em mais de uma plataforma plataformas.

Quadro 14 – Plataformas

| Categoria | Quantidade | Artigo |
|------------------|-------------------|--|
| <i>Mobile</i> | 6 | [17*] [43*] [44] [45] [54] [68] |
| <i>Desktop</i> | 28 | [7] [8] [10] [11] [12] [15] [17*] [20] [23] [24] [25] [26] [27] [34] [40] [41] [43*] [47] [48] [49] [50] [51] [55] [56] [60] [62] [64] [65] |
| <i>Web</i> | 34 | [1] [2] [4] [5] [6] [9] [13] [14] [16] [17*] [18] [19] [29] [30] [31] [32] [33] [35] [36] [37] [38] [39] [42*] [43*] [46] [52] [53] [57] [58] [59] [61] [63] [66] [67] |
| Não digital | 4 | [21] [22] [28] [42*] |
| Não especificado | 1 | [3] |

É possível notar que a maioria das ferramentas são desenvolvidas para plataformas *Web*, 34 (46,6%), e *desktop*, 28 (38,4%). Além disso, apesar da plataforma *mobile* não ser escolhida muitas vezes em relação às outras, 6 (8,2%), é preciso considerar que só nos últimos anos houve o aumento do uso dos *smartphones*, facilitando o uso da plataforma para promover o ensino de Estruturas de Dados, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Número de Plataformas x Ano



A maioria das ferramentas foram desenvolvidas para uma só plataforma. No entanto 3 publicações apresentam ferramentas híbridas (4,4%) , sendo estas: [17, 34], ambas *mobile*, *desktop* e *Web*, e [42], um jogo com versões digital e não digital, um jogos físico utilizando papel.

Q4) *São disponibilizadas nas publicações uma forma de acesso (URL) para as ferramentas digitais?*

No Quadro 15 estão listadas as ferramentas que disponibilizam no texto uma URL de acesso à ferramenta ou a documentação da mesma para o caso do leitor desejar utilizar a ferramenta proposta. Além disso, apresenta quais destas URLs estão funcionando na data desta pesquisa, bem como quais destas possuem documentação *online*.

No Quadro 15 estão listadas as ferramentas que disponibilizam no texto uma URL de acesso à ferramenta ou a documentação da mesma para o caso do leitor desejar utilizar a ferramenta proposta, além de quais destas URLs estão funcionando na data desta pesquisa.

Quadro 15 – URL

| Análise | Total | Artigos |
|-------------------|-------|---|
| Disponibiliza URL | 23 | [1] [2] [4] [5] [6] [7] [9] [12] [13] [17] [18] [19] [23] [24] [32] [33] [34] [35] [42] [43] [46] [55] [59] |
| URL Funciona | 16 | [1] [2] [5] [7] [9] [12] [13] [17] [18] [19] [23] [24] [34] [35] [42] [46] |

Por meio do acesso às URLs ativas, foram analisadas quais possuem documentação

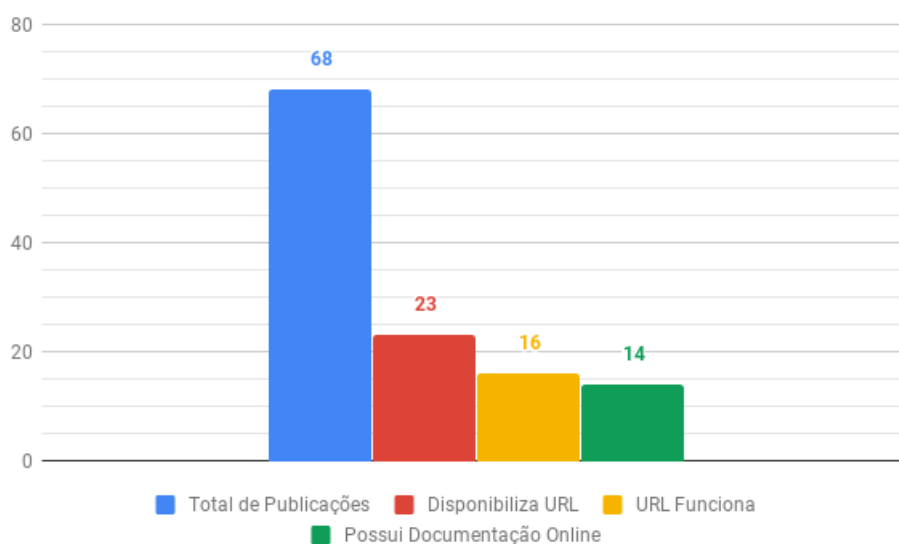
online, a lista das publicações que atendem a esse critério é apresentada no Quadro 16.

Quadro 16 – Documentação

| Análise | Total | Artigos |
|-----------------------------------|-------|---|
| Disponibiliza documentação online | 14 | [1] [2] [7] [9] [12] [13] [17] [18] [19] [23] [24] [34] [35] [42] |

Como pode ser visto nos Quadros 15 e 16, sendo representado graficamente na Figura 7, apenas 23 publicações disponibilizam uma URL de acesso no artigo, ou seja 66,2% das publicações apresentam uma ferramenta, mas não dão ao leitor uma forma de usá-la ou comprovar que aquelas funcionalidades realmente foram aplicadas. Destas 23 URLs disponíveis, 16 ainda estão disponíveis e apenas 14 possuem no site documentação da ferramenta.

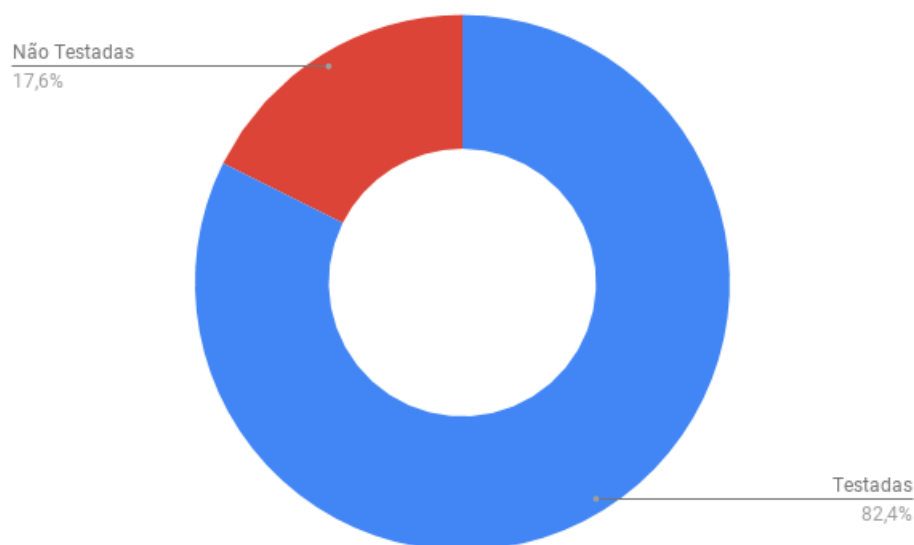
Figura 7 – Acesso à Ferramenta e sua Documentação



Q5) *Quantas publicações descrevem o processo de teste das ferramentas?*

Das 68 publicações analisadas, 55 apresentam como foi o processo de teste das ferramentas e resultados, totalizando 82,4% das publicações (Figura 8). As 13 publicações que não apresentam a etapa de teste são listadas no Quadro 17.

Figura 8 – Porcentagem de Ferramentas Testadas



Quadro 17 – Teste

| Análise | Total | Artigos |
|----------------------|-------|---|
| Artigos Não Testados | 13 | [4] [17] [21] [27] [28] [29] [30] [40] [52] [58] [63] [65] [64] |

3.3.2 Questão Geral de Pesquisa

Q0) *Como se encontra o cenário dos últimos 20 anos em relação à ferramentas de auxílio ao aprendizado de Estruturas de Dados?*

Existe uma ampla gama de ferramentas que auxiliam o aprendizado de Estruturas de Dados associadas a publicações nos últimos 20 anos. Em 68 publicações, 68 ferramentas foram apresentadas, na sua maioria ferramentas *Web* e *desktop* e, nos últimos anos, vem aumentando a quantidade de ferramentas para plataformas *mobile*. A maioria das mídias escolhidas para apresentar as Estruturas de Dados são simulações e jogos, com a justificativa de facilitar a abstração por parte do aluno para um conteúdo conhecido por ser abstrato. Os assuntos abordados com maior frequência são pilha, fila, lista e árvore binária de busca. Poucas ferramentas abordam busca linear e os algoritmos de ordenação: *radix* e *shell sort*; e nenhuma ferramenta aborda busca binária.

É interessante considerar que, apesar da maioria das publicações apresentarem a fase de teste e resultados em detalhes, 66,2% não fornecem uma forma de acesso para essas ferramentas. Isso impede que o leitor consiga acessá-la para fins de curiosidade, estudo ou análise, impedindo também que seja possível conferir se os assuntos apresentados nas publicações realmente foram implementadas, já que as mesmas informam os assuntos abordados em diferentes níveis de

abstração.

Além disso, nas poucas publicações que disponibilizam formas de acesso, em muitos casos essas URLs não estão mais funcionando, compreensível no caso de ferramentas antigas que não possuem mais suporte, porém a frequência que isso acontece dificulta para o leitor na busca pelo que a ferramenta oferece.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi realizada uma RSL com o intuito de conhecer as ferramentas de auxílio ao ensino de Estruturas de Dados desenvolvidas nos últimos 20 anos, motivada pelo fato de disciplinas que introduzem o conteúdo serem conhecidas pelo seu alto índice de reprovação. Isto é comumente associado ao fato de abordarem assuntos muito abstratos e de difícil compreensão por parte do aluno. Além disso, os cursos de computação vêm tendo altos níveis de evasão e uma componente curricular com essa característica entre as matérias iniciais, se negligenciada apenas consolida esse cenário.

Softwares educativos aparecem nesse contexto como uma válida alternativa, acrescentando dinâmica ao método de ensino clássico de sala de aula e provendo para o aluno diferentes ângulos para o mesmo problema.

Felizmente a pesquisa aponta para a existência de diversas ferramentas na área, trazendo variedade para o aluno e professor. Nas RSL, 68 publicações foram analisadas, nas quais 68 ferramentas foram apresentadas. A maioria delas abordam pilha, fila, lista e árvore binária de busca. Os conteúdos menos abordados são busca binária, busca linear e os algoritmos de ordenação *radix* e *shell sort*, sendo o *heapsort* o algoritmo de ordenação com maior frequência.

A maioria das ferramentas funcionam na plataforma *Web* e usam simulação para ensinar Estruturas de Dados, permitindo ao usuário manipular de forma gráfica a estrutura, facilitando a compreensão dos conceitos apresentados em aula.

Verificamos que 82% das publicações apresentam a descrição e resultados da etapa de teste da ferramenta. No entanto, apenas 33,8% das ferramentas disponibilizam a URL para a página *Web*. E, infelizmente, das URLs fornecidas, nem todas estão funcionando no período de desenvolvimento dessa pesquisa (apenas 23,5%) e menos ainda disponibilizam documentação da ferramenta (apenas 20,6%).

Sendo assim, este trabalho teve a intenção de apresentar o cenário atual em relação à ferramentas que auxiliam o aprendizado de Estruturas de Dados e disponibilizar uma listagem das características das ferramentas disponíveis.

Como trabalhos futuros há a análise das publicações considerando, também, os conteúdos relacionados à teoria dos grafos.

REFERÊNCIAS

- ADARME, M.; JABBA MOLINARES, D. Seed: A software tool and an active-learning strategy for data structures courses. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 26, n. 2, p. 302–313, 2018. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.21885>>. Citado na página 23.
- ALHOSBAN, F.; BURD, L. Aural instruction with visualization in e-learning. In: *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings*. [s.n.], 2012. p. 1–6. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6462290>>. Citado na página 24.
- ALI, J. A visualization tool for data structures course. In: *2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*. [s.n.], 2009. p. 212–216. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5234389>>. Citado na página 24.
- ALI, J. Object visualization support for learning data structures. *Information Technology Journal*, v. 10, n. 3, p. 485–498, 2011. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78651348313&doi=10.3923%2fitj.2011.485.498&partnerID=40&md5=ddf934c5c559cf69dda53ea757cfd91c>>. Citado na página 24.
- ALMEIDA, E. L. F.; ALMEIDA, C. A. S. *Fundamentos e análise de software educativo*. 2. ed. Fortaleza, Ceará: EdUECE, 2015. Citado na página 14.
- BAECKER, R. Sorting out sorting: A case study of software visualization for teaching computer science. In: *Software Visualization: Programming as a Multimedia Experience*. MIT Press, 1998. p. 369–381. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.content-animation.org.uk/pdfs/baecker.pdf>>. Citado na página 11.
- BAKER, R. S. et al. Testers and visualizers for teaching data structures. *SIGCSE Bull.*, ACM, New York, NY, USA, v. 31, n. 1, p. 261–265, mar. 1999. Acesso em: 23 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/384266.299779>>. Citado na página 22.
- BALOIAN, N.; BREUER, H.; LUTHER, W. Algorithm visualization using concept keyboards. In: *Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Software Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2005. (SoftVis '05), p. 7–16. Acesso em: 20 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1056018.1056020>>. Citado na página 22.
- BARRETO, F. et al. Processo de desenvolvimento de software educacional: proposta e experimentação. *RENOTE*, v. 3, 06 2005. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/13849/8025>>. Citado na página 14.
- BATISTA, A. C. D. et al. Proposta de um kit multimídia para conteúdos de estrutura de dados. In: *XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. SBC, 2014. p. 925–933. Acesso em: 17 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie>>. Citado na página 21.
- BATTISTELLA, P. E. et al. Sortia 2.0: A sorting game for data structure teaching. In: *SBSI 2016 - 12th Brazilian Symposium on Information Systems: Information Systems in the Cloud Computing Era, Proceedings*. SBC, 2016. p. 558–565. Acesso em: 16 jul. 2019. Disponível em: <www.scopus.com>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 24.

BATTISTELLA, P. E.; VON WANGENHEIM, C. G.; VON WANGENHEIM, A. Sortia - um jogo para ensino de algoritmo de ordenação: Estudo de caso na disciplina de estrutura de dados. In: *23º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. SBC, 2012. Acesso em: 16 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 24.

BATTISTELLA, P. E. et al. Design and large-scale evaluation of educational games for teaching sorting algorithms. In: *Informatics in Education*. Vilnius University Institute of Data Science and Digital Technologies, 2017. v. 16, n. 2, p. 141–164. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <https://www.mii.lt/informatics_in_education/pdf/infedu.2017.08.pdf>. Citado na página 23.

BECKER, K.; BEACHAM, M. A tool for teaching advanced data structures to computer science students: An overview of the bdp system. In: *Proceedings of the Fourteenth Annual Consortium on Small Colleges Southeastern Conference*. USA: Consortium for Computing Sciences in Colleges, 2000. (CCSC '00), p. 65–71. Acesso em: 18 jul. 2019. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=369340.369319>>. Citado na página 22.

BEGY, V.; SCHIKUTA, E. A lightweight e-learning system for algorithms and data structures. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (iiWAS '16), p. 199–208. Acesso em: 18 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3011141.3011181>>. Citado na página 21.

BRASIL. Ministério da educação. parecer cne/ces nº 136, de 9 de março de 2012. institui as diretrizes curriculares nacionais para os cursos de graduação em computação. In: *Diário oficial da União*. Brasília: [s.n.], 2016. Acesso em: 29 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/129425741/dou-secao-1-28-10-2016-pg-26>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 16.

BRUCE, K. B. Five big open questions in computing education. *ACM Inroads*, ACM, New York, NY, USA, v. 9, n. 4, p. 77–80, nov. 2018. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3230697>>. Citado na página 11.

BRYFCZYNSKI, S. et al. Teaching data structures with besocratic. In: *Proceedings of the 18th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2013. (ITiCSE '13), p. 105–110. Acesso em: 23 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2462476.2465583>>. Citado na página 22.

BUCHANAN, S.; OCHS, B.; LAVIOLA JR., J. J. Cstutor: A pen-based tutor for data structure visualization. In: *Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (SIGCSE '12), p. 565–570. Acesso em: 21 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2157136.2157297>>. Citado na página 22.

BUDIMAN, E. et al. Mobile learning: Visualizing contents media of data structures course in mobile networks. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, v. 10, n. 1-9, p. 81–86, 2018. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046533042&partnerID=40&md5=f699594b24022c3b253e7b99fcfb38c1f>>. Citado na página 23.

- CARDIM G, P. et al. Teaching and learning data structures supported by computers: An experiment using cadilag tool. In: *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2012)*. [s.n.], 2012. p. 1–5. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6263148>>. Citado na página 24.
- CORMEN, T. H. et al. *Algoritmos: teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 14.
- CORREIA, R. C. M. et al. A methodological approach to use technological support on teaching and learning data structures. In: *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*. [s.n.], 2014. p. 1–8. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7043992>>. Citado na página 24.
- COSTA, E. et al. Interactive data structure learning platform. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, v. 8584 LNCS, n. PART 6, p. 186–196, 2014. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84904884227&doi=10.1007%2f978-3-319-09153-2_14&partnerID=40&md5=6c1089304aed8c4230f067a525cea81f>. Citado na página 24.
- CRISTOVÃO, H. M. *Classificação de Software Educativo*. 2013. (31m56s). Acesso em: 29 jul. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=V6IHMyTdy_Y>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- CROSS II, J. H. et al. Dynamic object viewers for data structures. In: *Proceedings of the 38th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2007. (SIGCSE '07), p. 4–8. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1227310.1227316>>. Citado na página 22.
- DICHEVA, D.; HODGE, A. Active learning through game play in a data structures course. In: *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2018. (SIGCSE '18), p. 834–839. Acesso em: 18 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3159450.3159605>>. Citado na página 21.
- DICHEVA, D. et al. On the design of an educational game for a data structures course. In: *2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*. [s.n.], 2016. p. 14–17. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7851763>>. Citado na página 23.
- FOUH, E. et al. Design and architecture of an interactive etextbook - the opensa system. *Science of Computer Programming*, Elsevier, v. 88, p. 22–40, 2014. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84898798056&doi=10.1016%2fj.scico.2013.11.040&partnerID=40&md5=a941cdfef43366b8efe5983e000cb0e8>>. Citado na página 24.
- FREITAS, M. F. et al. Portec: uma ferramenta para auxiliar na abstração dos conceitos de estrutura de dados. In: *XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. SBC, 2014. p. 872–881. Acesso em: 16 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie>>. Citado na página 21.
- GIGUETTE, R. The crawfish and the aztec treasure maze: Adventures in data structures. *SIGCSE Bull.*, ACM, New York, NY, USA, v. 34, n. 4, p. 89–93, dez. 2002. Acesso em: 23 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/820127.820174>>. Citado na página 22.

GOODRICH, M. T.; TAMASSIA, R. *Estruturas de dados e algoritmos em Java*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. Citado na página 13.

GUO, P. J. Online python tutor: Embeddable web-based program visualization for cs education. In: *Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2013. (SIGCSE '13), p. 579–584. Acesso em: 23 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2445196.2445368>>. Citado na página 22.

HADEN, P. The incredible rainbow spitting chicken: Teaching traditional programming skills through games programming. In: *Proceedings of the 8th Australasian Conference on Computing Education - Volume 52*. Darlinghurst, Australia, Australia: Australian Computer Society, Inc., 2006. (ACE '06), p. 81–89. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1151869.1151881>>. Citado na página 22.

HAKULINEN, L. Using serious games in computer science education. In: *Proceedings of the 11th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (Koli Calling '11), p. 83–88. Acesso em: 23 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2094131.2094147>>. Citado na página 22.

HAKULINEN, L. Dsasketch: Data structures and algorithms drawing game. In: *Proceedings of the 12th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (Koli Calling '12), p. 139–140. Acesso em: 21 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2401796.2401815>>. Citado na página 22.

HAKULINEN, L.; AUVINEN, T.; KORHONEN, A. Empirical study on the effect of achievement badges in trakla2 online learning environment. In: *2013 Learning and Teaching in Computing and Engineering*. [s.n.], 2013. p. 47–54. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6542238>>. Citado na página 23.

HENDRIX, T. D.; CROSS II, J. H.; BAROWSKI, L. A. An extensible framework for providing dynamic data structure visualizations in a lightweight ide. In: *Proceedings of the 35th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2004. (SIGCSE '04), p. 387–391. Acesso em: 20 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/971300.971433>>. Citado na página 22.

IMTIAZ, M. A.; LUXTON-REILLY, A.; PLIMMER, B. Thinkink - an intelligent sketch tool for learning data structures. In: *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2018. (CHI EA '18), p. 1–6. Acesso em: 23 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3170427.3188441>>. Citado na página 21.

JARC, D. J.; FELDMAN, M. B.; HELLER, R. S. Assessing the benefits of interactive prediction using web-based algorithm animation courseware. *SIGCSE Bull.*, ACM, New York, NY, USA, v. 32, n. 1, p. 377–381, mar. 2000. Acesso em: 21 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/331795.331889>>. Citado na página 22.

KARAVIRTA, V.; SHAFFER, C. A. Creating engaging online learning material with the jsav javascript algorithm visualization library. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, v. 9, n. 2, p. 171–183, 2016. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7298430>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.

KAUR, N.; GEETHA, G. Play and learn ds: Interactive and gameful learning of data structure. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, Inderscience Enterprises Ltd., v. 7, n. 1, p. 44–56, 2015. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/offer.php?id=71920>>. Citado na página 23.

KITCHENHAM, B. *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Department of Computer Science, Keele University, UK, 2004. Acesso em 18 mar 2019. Disponível em: <<http://www.it.hiof.no/~haraldh/misc/2016-08-22-smat/Kitchenham-Systematic-Review-2004.pdf>>. Citado na página 13.

KORHONEN, A.; MALMI, L. Algorithm simulation with automatic assessment. In: *Proceedings of the 5th Annual SIGCSE/SIGCUE ITiCSE conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2000. (ITiCSE '00), p. 160–163. Acesso em: 18 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/343048.343157>>. Citado na página 22.

LAI, A.; WU, P. The development of simulation-based learning system for binary tree of data structures. In: *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*. [s.n.], 2015. p. 296–298. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7265330>>. Citado na página 23.

LAI, A. et al. Developing a web-based simulation-based learning system for enhancing concepts of linked-list structures in data structures curriculum. In: *2015 3rd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (AIMS)*. [s.n.], 2015. p. 185–188. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7604572>>. Citado na página 22.

LIU, T.-Y. Using educational games and simulation software in a computer science course: learning achievements and student flow experiences. *Interactive Learning Environments*, Routledge, v. 24, n. 4, p. 724–744, 2016. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10494820.2014.917109>>. Citado na página 23.

MARKHAM, H. C. An internet-based expert system for teaching introductory data structures. In: *Proceedings of the Twelfth Annual CCSC South Central Conference on The Journal of Computing in Small Colleges*. USA: Consortium for Computing Sciences in Colleges, 2001. p. 155–165. Acesso em: 20 jul. 2019. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=374678.374761>>. Citado na página 22.

MATIN, M. A.; OLIULLAH, S. S. M.; POLASH, M. M. A. Implementation of a customizable algorithm visualization tool for e-learning. In: *Proceedings of the 2018 2Nd International Conference on Education and E-Learning*. New York, NY, USA: ACM, 2018. (ICEEL 2018), p. 32–36. ISBN 978-1-4503-6577-2. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3291078.3291104>>. Citado na página 21.

MONTGOMERY, L. et al. Testing the jgrasp structure identifier with data structure examples from textbooks. In: *Proceedings of the 46th Annual Southeast Regional Conference on XX*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (ACM-SE 46), p. 198–203. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1593105.1593156>>. Citado na página 22.

ODISHO, O.; AZIZ, M.; GIACAMAN, N. Teaching and learning data structure concepts via visual kinesthetic pseudocode with the aid of a constructively aligned app. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 24, n. 6, p. 926–933, 2016. Acesso em: 24 jul. 2019.

Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.21768>>. Citado na página 23.

OLIVEIRA, L. R. C. et al. Desenvolvimento de um aplicativo móvel educacional voltado ao ensino de estrutura de dados. In: *XXVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. SBC, 2016. p. 559–566. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/6737/4624>>. Citado na página 24.

OU, J.; VECHEV, M.; HILLIGES, O. An interactive system for data structure development. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (CHI '15), p. 3053–3062. Acesso em: 20 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2702123.2702319>>. Citado na página 21.

PARK, B.; AHMED, D. T. Abstracting learning methods for stack and queue data structures in video games. In: *2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. [s.n.], 2017. p. 1051–1054. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8560943>>. Citado na página 23.

PRENNER, G.; ROTHENEDER, A.; SCHIKUTA, E. Netluke: Web-based teaching of algorithm and data structure concepts harnessing mobile environments. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (iiWAS '14), p. 7–16. Acesso em: 22 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2684200.2684292>>. Citado na página 21.

RAJALA, T. et al. How does collaboration affect algorithm learning? a case study using trakla2 algorithm visualization tool. In: *2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer*. [s.n.], 2010. v. 3, p. V3–504–V3–508. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5529489>>. Citado na página 23.

RAVENSCROFT JR., R. A. Dynamic data structures, a web based tool for teaching linked lists and binary trees. *J. Comput. Sci. Coll.*, Consortium for Computing Sciences in Colleges, USA, v. 33, n. 6, p. 97–106, jun. 2018. Acesso em: 21 jul. 2019. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3205191.3205202>>. Citado na página 21.

RISMAYANI; A., I. The implementation of e-learning into mobile-based interactive data structure subject. In: *2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*. [s.n.], 2017. p. 1–5. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8089234>>. Citado na página 23.

ROMANOWSKA, K. et al. Towards developing an effective algorithm visualization tool for online learning. In: *2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computing, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)*. [s.n.], 2018. p. 2011–2016. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8560314>>. Citado na página 23.

RÖBLING, G. A family of tools for supporting the learning of programming. *Algorithms*, v. 3, n. 2, p. 168–182, 2010. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84859641673&doi=10.3390%2fa3020168&partnerID=40&md5=0ecd97c93ef2bb4f566530eb5e141eec>>. Citado na página 24.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. In: *Revista Brasileira de Fisioterapia*. [s.n.], 2007. v. 11, n. 1, p. 83–89. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbfis/v11n1/12.pdf>>. Citado na página 13.

SARIKA, R.; SHARMA, S.; SAHU, A. Game theme based instructional module to teach binary trees data structure. In: S. HARRIS F.C., D. S. S. (Ed.). *The International Society for Computers and Their Applications (ISCA)*, 2017. p. 13–18. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.cs.bowiestate.edu/sharad/papers/19.pdf>>. Citado na página 23.

SCHREIBER, B. J.; DOUGHERTY, J. P. Assessment of introducing algorithms with video lectures and pseudocode rhymed to a melody. In: *Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2017. (SIGCSE '17), p. 519–524. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3017680.3017789>>. Citado na página 21.

SILVA, G. B. D.; SEABRA, R. D. Rea-aed: Open educational resource for the teaching of algorithms and data structures. In: *ACM International Conference Proceeding Series*. [s.n.], 2018. p. 1–7. Acesso em: 16 jul. 2019. Disponível em: <www.scopus.com>. Citado na página 21.

SILVA, I. F. A.; SILVA, I. M. M.; SANTOS, M. S. Análise de problemas e soluções aplicadas ao ensino de disciplinas introdutórias de programação. *IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – VI Semana Nacional de Ciência e Tecnologia*, p. 3–5, 2009. Acesso em: 01 dez. 2018. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R1479-1.pdf>>. Citado na página 11.

SIMOŇÁK, S. Algorithm visualizations as a way of increasing the quality in computer science education. In: *2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*. [s.n.], 2016. p. 153–157. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7422999>>. Citado na página 23.

SMITH, C.; STRAUSS, J.; MAHER, P. Data structure visualization: The design and implementation of an animation tool. In: *Proceedings of the 48th Annual Southeast Regional Conference*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (ACM SE '10), p. 72:1–72:6. ISBN 978-1-4503-0064-3. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1900008.1900105>>. Citado na página 24.

SOUZA, C. C. et al. Um ambiente integrado desimulação para auxiliar o processo de ensino/aprendizagem da disciplina de estrutura de dados. In: *XXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. SBC, 2011. p. 526–529. Acesso em: 17 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie>>. Citado na página 21.

SOUZA, I. F. S.; REIS, H. L. B.; NEVES, V. O. Testerd: uma maneira fácil e estimulante para aprender estruturas de dados. In: *XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. SBC, 2018. p. 864–873. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8046/5737>>. Citado na página 24.

SOUZA, J. F.; COELHO, S. A. Uma biblioteca gráfica para aprendizagem de estruturas de dados e algoritmos. In: *Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE*. SBC, 2015. v. 21, n. 1, p. 110–121. Acesso em: 17 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/rbie/>>. Citado na página 21.

- SQUIRES, D.; PREECE, J. ability and learning: Evaluating the potential of educational software. *Computers Education*, v. 27, n. 1, p. 15 – 22, 1996. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360131596000103>>. Citado na página 15.
- STERN, L.; SØNDERGAARD, H.; NAISH, L. A strategy for managing content complexity in algorithm animation. *SIGCSE Bull.*, ACM, New York, NY, USA, v. 31, n. 3, p. 127–130, jun. 1999. Acesso em: 24 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/384267.305891>>. Citado na página 22.
- STIGALL, J.; SHARMA, S. Usability and learning effectiveness of game-themed instructional (gti) module for teaching stacks and queues. In: *SoutheastCon 2018*. [s.n.], 2018. p. 1–6. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8479132>>. Citado na página 23.
- TAO, C.; SOBH, T. A tool for data structure visualization and user-defined algorithm animation. In: *31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education. Conference Proceedings*. [s.n.], 2001. v. 1. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/963845>>. Citado na página 23.
- TODA, A. et al. Interactive learning environment for data structures with gamification concepts. In: B., I. P. W. (Ed.). *IADIS, 2013*. p. 165–171. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84945920856&partnerID=40&md5=03f21cbcaab2854da6d1f60fb942e53c>>. Citado na página 24.
- USENER, C. A. Easy-dsbuilder: Automated assessment of tree data structures in computer science teaching. In: *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (SAC '15), p. 220–226. Acesso em: 21 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2695664.2695769>>. Citado na página 21.
- VALENTE, J. A. Análise dos diferentes tipos de software usados na educação. In: *O Computador na Sociedade do Conhecimento*. José Armando Valente (Org.), 1999. p. 71–85. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.nied.unicamp.br/biblioteca/o-computador-na-sociedade-do-conhecimento/>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 15.
- WEBBER, C.; BOFF, E.; BONO, F. Ferramenta especialista para avaliação de software educacional. In: *XX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE*. [s.n.], 2009. v. 3. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/1115>>. Citado na página 15.
- XHAKAJ, F.; LIEW, C. W. A new approach to teaching red black tree. In: *Proceedings of the 2015 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (ITiCSE '15), p. 278–283. Acesso em: 18 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2729094.2742624>>. Citado na página 21.
- ZHANG, J. et al. Reinforcing student understanding of linked list operations in a game. In: *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. [s.n.], 2015. p. 1–7. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7344132>>. Citado na página 24.
- ZHANG, J. et al. Using a game-like module to reinforce student understanding of recursion. In: *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*. [s.n.], 2014. p. 1–7. Acesso

em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7044093>>. Citado na página 24.

ZINGARO, D. et al. Identifying student difficulties with basic data structures. In: *Proceedings of the 2018 ACM Conference on International Computing Education Research*. New York, NY, USA: ACM, 2018. (ICER '18), p. 169–177. Acesso em: 27 jul. 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3230977.3231005>>. Citado na página 11.

ŠUNÍKOVÁ, D.; KUBINCOVÁ, Z.; BYRTUS, M. A mobile game to teach avl trees. In: *2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*. [s.n.], 2018. p. 541–544. Acesso em: 25 jul. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8572263>>. Citado na página 23.