



## Objeto de aprendizagem para o ensino de algoritmos para solução do problema de caminho mínimo

*Learning object for teaching algorithms to solve the shortest path problem*

**Recebido:** 23 maio 2022

**Aprovado:** 03 out. 2022

**Versão do autor aceita publicada online:** 03 out. 2022

**Publicado online:** 13 out. 2022

### Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA)

Lourenço, W. da S., Alves, W. A. L., Lima, S. J. de A., & Araujo, S. A. (jul./set. 2024). Objeto de aprendizagem para o ensino de algoritmos para solução do problema de caminho mínimo.

*Exacta*, 22(3), p. 926-939. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.22247>

---

Submeta seu artigo para este periódico

**Processo de Avaliação:** *Double Blind Review*

**Editor:** Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto






Dados Crossmark





## Objeto de aprendizagem para o ensino de algoritmos para solução do problema de caminho mínimo


*Learning object for teaching algorithms to solve the shortest path problem*

 Wilson da Silva Lourenço<sup>1</sup>  Wonder Alexandre Luz Alves<sup>2</sup> Stanley Jefferson de Araujo  
Lima<sup>3</sup>  Sidnei Alves de Araujo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário Senac / São Paulo, SP – Brasil 

<sup>2</sup> Universidade Nove de Julho (UNINOVE) – Programa de Pós Graduação em Informática e Gestão do  
Conhecimento (PPGI). São Paulo, SP – Brasil 

<sup>3</sup> Universidade Nove de Julho (UNINOVE) – Programa de Pós Graduação em Informática e Gestão do  
Conhecimento (PPGI). São Paulo, SP – Brasil 

<sup>4</sup> Universidade Nove de Julho (UNINOVE) – Programa de Pós Graduação em Informática e Gestão do  
Conhecimento (PPGI). São Paulo, SP – Brasil 

### Nota dos Autores

Autores declaram que não há conflitos de interesses.



### Resumo

Embora o uso das novas tecnologias seja reconhecido e amplamente explorado na literatura recente como uma importante alternativa para o aprendizado de conceitos teóricos e práticos nas áreas de Engenharia e Informática, há ainda muito espaço para novas ferramentas computacionais, principalmente no que tange a visualização de algoritmos de otimização em redes. Neste trabalho é apresentado um objeto de aprendizagem computacional para auxiliar a compreensão dos alunos sobre o funcionamento de algoritmos para solução do problema de caminho mínimo (PCM), os quais são comumente ensinados em cursos de graduação como Engenharia de Produção, Ciência da Computação e Sistemas de Informação. O objeto proposto possui uma interface gráfica interativa, que emprega recursos da biblioteca JUNG (*Java Universal Network/Graph*), e permite ao aluno representar e resolver o problema investigado, além de demonstrar como cada um dos algoritmos disponíveis (Dijkstra, A\* e *Greedy Search*) resolve o problema. Experimentos realizados com alunos do curso de Ciência da Computação sinalizaram que o objeto de aprendizagem pode trazer benefícios para a aprendizagem, considerando a necessidade de conhecimentos teóricos acerca do PCM.

*Palavras chaves:* objeto de aprendizagem, problema do caminho do mínimo, algoritmos de busca, otimização em rede, JUNG

### Abstract

Although the use of new technologies is recognized and widely explored in recent literature as an important alternative for the learning of theoretical and practical concepts in the areas of Engineering and Informatics, there is still a gap for new computational tools, especially regarding the visualization of algorithms. network optimization. This work proposes a computational learning object to help students understand the functioning of algorithms used to solve the shortest path problem (SPP), which are commonly taught in undergraduate courses such as Industrial Engineering, Computer Science and Information Systems. The proposed tool has an interactive graphical interface, which uses resources from the JUNG library (*Java Universal Network/Graph*), and allows the student

to represent and solve the investigated problem, in addition to demonstrate how each of the available algorithms (Dijkstra, A\* and Greedy Search) solves the problem. Experiments conducted with students of the Computer Science course indicated that the learning object can bring benefits to their learning, considering the need for theoretical knowledge about the SPP.

*Keywords:* learning object, shortest path problem, search algorithms, network optimization, JUNG

### Introdução

De acordo com Arenales et al. (2007), muitos problemas de otimização encontrados na prática podem ser melhor analisados por meio de uma estrutura especial denominada grafo ou rede. Assim, eles são denominados Problemas de Otimização em Redes e estão presentes em diversas aplicações como, por exemplo, transporte ou fluxo de itens de um ponto a outro em uma rede com um determinado objetivo, transmissão de mensagens em redes de comunicação de dados, envio de água em uma rede de distribuição de água, transporte de carga em uma rede viária, planejamento e programação da produção, programação de projetos, programação de máquinas e de pessoal, distribuição de bens, etc. Estes e outros Problemas de Otimização em Redes podem tratados genericamente como Problema do Caminho Mínimo, Problema de Fluxo Máximo, Problema do Caixeiro Viajante, Problema do Carteiro Chinês, entre outros.

No Problema de Caminho Mínimo (PCM), por exemplo, o objetivo é encontrar o caminho mais curto entre dois nós de um grafo. Em outras palavras, dado um grafo que representa o problema investigado e um par de vértices (origem e destino), o PCM consistem em determinar o percurso de menor custo que liga estes vértices (CORMEN, 2009; KUMAWAT, 2021).

O PCM surge em um número surpreendentemente grande de contextos. Por exemplo, em uma rede de comunicação de dados, na qual os pacotes de dados trafegam a partir de suas origens até seus destinos; na transposição de um rio, onde o caminho mínimo pode levar a economia de milhões de dólares em desapropriações e tempo de projeto; ou em uma rede de transporte, na qual



um veículo ou pessoa deve fazer um percurso de um ponto a outro com o menor tempo de viagem (KUMAWAT et al., 2021).

Com base no exposto, fica evidente a importância do ensino de algoritmos para resolução do PCM em cursos de graduação e pós-graduação tais como Engenharia de Produção, Engenharia de Computação, Ciência da Computação, Sistemas de Informação, Logística e Administração de Empresas.

Contudo, tais algoritmos são comumente ensinados com o uso de tecnologias educacionais tradicionais, o que dificulta o trabalho dos professores e desestimula a aprendizagem dos alunos. Em contrapartida, com o atual acesso da sociedade às Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), as escolas e os professores têm incorporado o uso de ferramentas computacionais para auxiliar e estimular a compreensão dos alunos. Apesar disso, é importante salientar que não se deve dispensar a leitura de textos e outros materiais fornecidos pelo professor, pois esta atividade é extremamente importante para o desenvolvimento do aluno (PAULA et al, 2009; OLIVEIRA, 2017).

Na última década surgiram muitas ferramentas computacionais e objetos de aprendizagem para o ensino de conteúdos nos cursos de graduação na área de ciências exatas, entre os quais podemos citar os propostos por Borissova & Mustakerov (2015), Estevez et al. (2019), Kostadinov et al. (2019), Ramle et al. (2020), Yadav et al. (2021) e Lockwood et al. (2022). Nesse contexto também merecem destaque as ferramentas denominadas *JavaScript-Based Frameworks*, como as apresentadas em Platz et al. (2017), Martin & Bohuslava (2018), Sánchez et al. (2018) e Guzmán & Joseph (2021). Contudo, são poucas as ferramentas computacionais específicas para o aprendizado de algoritmos solucionadores do PCM. Entre os trabalhos anteriormente mencionados, apenas Borissova & Mustakerov (2015), Ramle et al. (2020) e Yadav et al. (2021) desenvolveram ferramentas com foco no PCM, mas considerando exclusivamente o algoritmo de Dijkstra para sua solução.

Assim, propomos neste trabalho, um objeto de aprendizagem que tem como finalidade auxiliar na compreensão dos alunos sobre conceitos de Grafos, Matriz de Adjacências e, principalmente, sobre o funcionamento de diferentes algoritmos ( $A^*$ , *Greedy Search* e Dijkstra)

usados para solucionar o PCM. É importante ressaltar que o objeto de aprendizagem proposto foi desenvolvido para ser utilizado, inclusive, em ambientes educação à distância.

### Fundamentação teórica

#### Ambientes Virtuais, Ferramentas Computacionais e Objetos de Aprendizagem

A necessidade de educação mudou em decorrência de um aumento na demanda por uma força de trabalho altamente qualificada, que se espera que aprenda continuamente (MALIK, 2018; BALSMEIER e WOERTER, 2019; ABDURAXMANOVA, 2022). Como resultado, a aprendizagem on-line está se tornando cada vez mais uma parte importante do ensino superior à distância, bem como no campus.

A fim de apoiar a aprendizagem on-line, vários ambientes virtuais e ferramentas computacionais de aprendizagem têm sido desenvolvidos. O uso de ambientes virtuais de aprendizagem no ensino superior tem apresentado desafios como a mudança nos papéis e expectativas de professores e alunos (MALIK, 2018; ARAÚJO et al., 2019). No entanto, esta transição não acontece sempre sem complicações.

Para ser um verdadeiro mediador da aprendizagem, o ambiente virtual de aprendizagem tem que ser aceito por docentes e alunos. A aceitação é um pré-requisito das intenções de uso, e uso real dos sistemas de informação. Além disso, em um contexto educacional, a aceitação do ambiente de *e-learning* é um pré-requisito importante da aprendizagem, conforme definido por Keller (2009).

Em essência, multimídia é o uso de um número de diferentes formatos de conteúdo para transmitir informação. Os tipos comuns de formatos de conteúdo utilizados Tais são texto, animação, vídeo, áudio e gráficos (MUN & HWANG, 2003). Uma ferramenta computacional de aprendizagem multimídia normalmente usa dois ou mais formatos de conteúdo de maneira coesa, de tal forma que se emitem mensagens do emissor para o receptor (do professor para o aluno). A combinação dos diferentes tipos de conteúdo cria o efeito de aprendizagem com um meio que é capaz de produzir resultados de aprendizagem benéficos específicos (MAYER; MORENO, 2002; ABDURAXMANOVA, 2022).



Uma ferramenta computacional ou ambiente virtual de aprendizagem pode ser definido como um ambiente hipermídia composto por um conjunto de simulações, modelagens e visualizações, o qual é projetado com intuito de oferecer recursos para propiciar a aprendizagem coletiva e individual (ABDURAXMANOVA, 2022). De acordo com o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE, 2005) um objeto de aprendizagem é qualquer entidade, digital ou não-digital, que pode ser utilizada, reutilizada ou referenciada em aprendizagem, educação ou treinamento suportados por tecnologias.

Trabalhos recentes tentam traçar uma linha entre a pesquisa e a prática do uso de TICs no ensino (ARAÚJO et al., 2019). Contudo, a questão sobre se a multimídia tem efeitos positivos na aprendizagem e em que casos ela pode afetar a aprendizagem, ainda não foi claramente respondida. Não obstante, muitos modelos cognitivos de aprendizagem têm sido estudados e sugeridos. Muitos destes modelos foram baseados em psicologia social ou sociologia e, em seguida, formatados especificamente para utilização de estudo via sistemas de informação (ABDURAXMANOVA, 2022).

### PCM e Algoritmos para sua solução

Dado um grafo  $G=(V, A)$ , em que  $V$  é o conjunto de vértices (nós) e  $A$  é o conjunto de arestas que conectam os nós e um par de nós (origem e destino), o objetivo de um algoritmo de caminho mínimo é encontrar o caminho mais curto entre o nó origem e o nó destino do grafo  $G$  (CORMEN, 2009). Existem muitos algoritmos na literatura para esta finalidade. Dijkstra, *Greedy Search* e  $A^*$  são amplamente conhecidos e estão entre os mais usados.

### Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra foi proposto pelo cientista da computação holandês Edsger Dijkstra, na década de 1950, para encontrar solução ótima para o PCM em um grafo direcionado ou não direcionado com arestas de pesos positivos. Trata-se de um algoritmo normalmente empregado em protocolos de roteamento em redes de computadores.

Em cada passo, o algoritmo escolhe o nó não visitado com a menor distância (custo), calcula a distância a partir dele para cada vizinho não visitado e atualiza distância do vizinho e, se menor,

esse rótulo é marcado como visitado. Para este fim, uma função de custo do nó de origem para este nó visitado, é utilizada pelo algoritmo. Para alcançar o caminho mais curto é imperativo que todos os caminhos tenham custos não negativos (BARROS et al., 2007).

### Algoritmo Greedy Search

Estratégias de busca gulosa (*greedy search*) normalmente empregam funções heurísticas para fazer melhores escolhas locais a cada etapa, com o objetivo de encontrar a melhor solução global (RUSSEL; NORVIG, 1995). O algoritmo *Greedy Search* sempre opta por fazer o que parece melhor em cada passo. A decisão é baseada apenas nas informações disponíveis no momento, sem se preocupar com os efeitos futuros dessas decisões. No PCM, bem como em muitos outros problemas, estratégias de busca gulosa não encontram soluções ótimas. Contudo, o uso de uma heurística gulosa pode produzir soluções localmente ótimas que se aproximam de uma solução ótima global, em um tempo computacional razoável.

### Algoritmo A\*

O algoritmo A\* é muito empregado em aplicações para encontrar as melhores rotas entre localidades, resolução de problemas em rede ou a resolução de um quebra-cabeça. Além disso, é muito usado em jogos. Ele combina as estratégias de busca empregadas nos algoritmos de Dijkstra e *Greedy Search* em um único algoritmo, utilizando uma função de custo  $f(v_i)=g(v_i)+h(v_i)$ , onde  $g$  e  $h$  são, respectivamente, uma função de custo admissível e uma função heurística. Assim, A\* encontra soluções ótimas para o PCM explorando um espaço de busca menor do que o examinado pelo algoritmo de Dijkstra (RUSSEL; NORVIG, 1995).

### JUNG (Java Universal Network/Graph)

A biblioteca JUNG<sup>1</sup> é de uso livre e fornece uma linguagem comum e extensível para a modelagem, análise e visualização de dados que podem ser representados como um grafo ou rede. Ela foi escrita em Java e permite o uso das funcionalidades embutidas na sua API, como o mecanismo para anotação nos grafos e relações com metadados. Isso facilita a criação de ferramentas analíticas

<sup>1</sup> Disponível em: <http://jung.sourceforge.net/>





para examinar as relações entre as entidades de uma rede, bem como os metadados anexados a cada entidade e relação.

A distribuição atual da JUNG inclui implementações de uma série de algoritmos oriundos da teoria dos grafos, mineração de dados e análise de redes sociais, tais como rotinas para *clustering*, decomposição, otimização, geração de grafos aleatórios, análise estatística e cálculo de distâncias de rede. A biblioteca fornece também uma estrutura de visualização que facilita a construção de ferramentas para a exploração interativa de dados da rede. Os usuários podem usar os algoritmos disponíveis ou a estrutura da biblioteca para projetar os seus próprios algoritmos e *layouts*.

### Metodologia

A primeira etapa do trabalho consistiu em uma revisão da literatura para identificar os algoritmos utilizados na solução do PCM. Na segunda etapa, procedeu-se o estudo e a implementação dos algoritmos Dijkstra, *Greedy Search* e A\*. Na terceira etapa foi feita a implementação do objeto de aprendizagem proposto, que tem o intuito de auxiliar os alunos a entender o funcionamento dos algoritmos acima mencionados e, para quarta e última etapa, ficaram os testes e experimentos, realizados no ano de 2018 com um conjunto de 68 alunos do curso de Ciência da Computação. Para tanto, um exercício foi planejado e disponibilizado para os experimentos com os alunos.

Na implementação do objeto de aprendizagem empregou-se a linguagem Java por se tratar de uma linguagem gratuita de desenvolvimento de aplicações. Também foram empregados recursos disponíveis na biblioteca JUNG.

### Objeto de aprendizagem proposto

O objeto de aprendizagem proposto (Figura 1) procura fornecer uma interface intuitiva, recursos e propriedades que permitem o aluno desenhar e manipular o grafo que representa o problema a ser resolvido usando um dos algoritmos disponíveis (Dijkstra, *Greedy Search* e A\*). Ela interpreta interações, reações e comportamentos do algoritmo escolhido, de acordo com o grafo

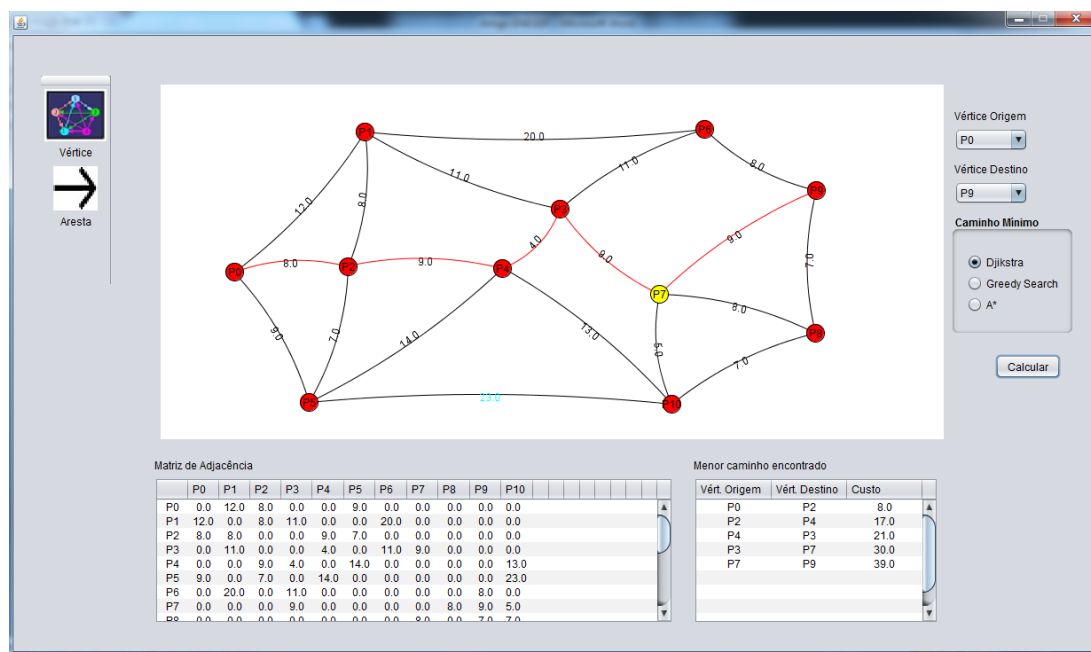
desenhado e poderá ser acessada, desde que exista uma conexão com a internet, por qualquer máquina e em qualquer localidade, sem a necessidade de uma instalação prévia.

A interface do objeto de aprendizagem proposto consiste basicamente em um painel de simulação (área para desenho do grafo), um menu de ferramentas, uma matriz de adjacências, uma matriz para informações heurísticas, uma matriz para mostrar os passos do algoritmo e o resultado, além de um menu para a escolha do algoritmo desejado. O menu de ferramentas fornece controles de inclusão e manipulação de elementos no grafo (nós e arestas) e a matriz de resultados mostra o caminho e os custos intermediários e total. Na etapa de desenvolvimento da interface considerou-se a necessidade de facilidade de interação.

O painel de simulação permite a interação do aluno com o grafo desenhado, ou seja, inclusão, exclusão ou alteração dos elementos (nós e arestas) por meio do mouse. Após selecionados os nós de origem e destino, o objeto de aprendizagem apresenta o caminho calculado com base no algoritmo escolhido.

**Figura 1**

*Interface do objeto de aprendizagem proposto*



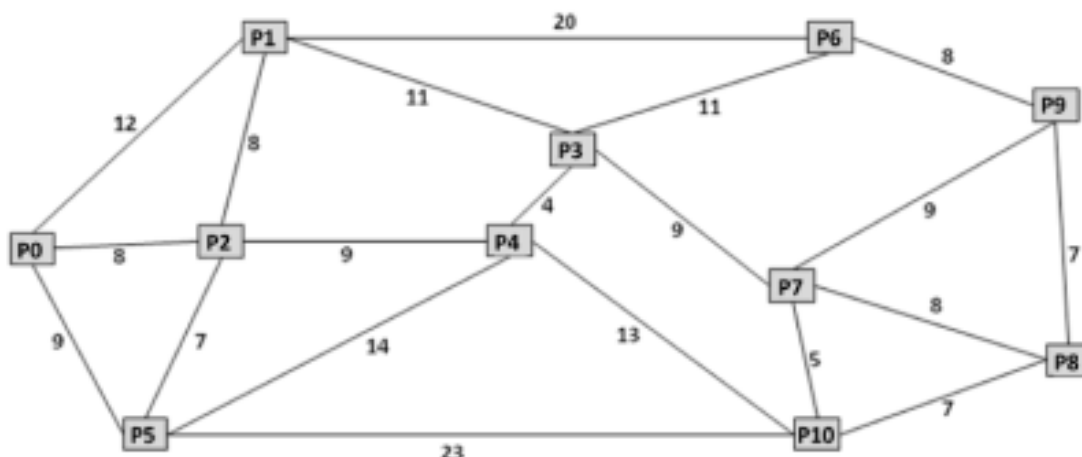
Fonte: os autores.



O seguinte exercício, adaptado de Santos (2015), foi usado para demonstrar o funcionamento do objeto de aprendizagem proposto e pode ser utilizado avaliar o aprendizado dos alunos sobre os conceitos discutidos em sala de aula: “A rede ilustrada a seguir (Figura 2) é a representação de um conjunto de 11 prédios residenciais construídos em uma área afastada da cidade. As linhas ligando os prédios são os canos que foram instalados para a passagem de toda a fiação elétrica, telefônica etc. e os números próximos às linhas indicam o comprimento (em metros) destes encanamentos. Um esquema de comunicação de dados a ser adotado pelo condomínio implica na colocação de dois dispositivos eletrônicos que deverão ser interligados por um cabo, ficando um na portaria do prédio *P0* e outro na portaria do prédio *P9*. Que caminho deverá percorrer o cabo para conectar o dispositivo do prédio *P0* ao dispositivo do prédio *P9*, de forma que o tamanho deste cabo seja o mínimo possível? Quantos metros de cabo serão necessários?”

Figura 2

Grafo representando o condomínio residencial



Fonte: adaptado de Santos (2015).

Como se pode observar, a Figura 1 ilustra exatamente este problema e sua solução. Nela é possível visualizar a matriz de adjacências, o caminho e o custo encontrados. O aluno poderia, por exemplo, selecionar o algoritmo *Greedy Search* e perceber que ele não encontra a solução ótima

para o problema. Além disso, movimentando os nós e/ou alterando os valores das arestas, o aluno pode tirar suas próprias conclusões sobre o funcionamento dos algoritmos disponíveis.

A partir dos experimentos realizados verificou-se que o objeto de aprendizagem trouxe contribuições para o ensino dos algoritmos abordados, visto que possibilita a realização dos exercícios em uma plataforma na qual os problemas são representados por meio de grafos, a visualização da solução apresentada por cada um dos algoritmos, além de permitir alterações em tempo real das variáveis do problema que está sendo solucionado. Um ponto de melhoria apontado pelos alunos foi a necessidade de alterações na interface do objeto de aprendizagem para permitir a visualização passo a passo da construção da solução.

### Conclusões

Neste trabalho apresentamos um objeto de aprendizagem computacional para auxiliar a aprendizagem dos algoritmos Dijkstra, A\* e *Greedy Search*, utilizados para solução do problema de caminho mínimo. Os testes realizados sinalizam que ele pode trazer benefícios para a aprendizagem dos alunos, especialmente se usado em um contexto pedagógico e acompanhado de outras formas de ensino, considerando a necessidade de conhecimentos teóricos acerca do PCM, grafos e algoritmos para sua solução. Em trabalhos futuros pretende-se melhorar a interface do objeto de aprendizagem e realizar novos experimentos envolvendo alunos de cursos de graduação e pós-graduação das áreas de Engenharia e Informática, com intuito de avaliar de forma quantitativa a contribuição do objeto de aprendizagem no ensino dos algoritmos considerados.

### Referências

- Abduraxmanova, S. A. (2022). Individualization of professional education process on the basis of digital technologies. *World Bulletin of Social Sciences*, 8, 65-67.
- Araújo, S. A., de Barros, D. F., da Silva, E. M., & Cardoso, M. V. (2019). Applying computational intelligence techniques to improve the decision making of business game players. *Soft Computing*, 23(18), 8753-8763.



- Arenales, M., Armentano, V. A., Morabito, R., & Yanasse, H. H. (2007). Pesquisa operacional: modelagem e algoritmos. Campus-ABEPRO, Rio de Janeiro, Elsevier.
- Balsmeier, B., & Woerter, M. (2019). Is this time different? How digitalization influences job creation and destruction. *Research policy*, 48(8), 103765.
- Barros, E. A., Pamboukian, S. V., & Zamboni, L. C. (2007, March). Algoritmo de Dijkstra: Apoio didático e multidisciplinar na implementação, simulação e utilização computacional. In *International Conference on Engineering and Computer Education—ICECE, São Paulo—SP*.
- Borissova, D., & Mustakerov, I. (2015). E-learning tool for visualization of shortest paths algorithms. *Trends Journal of Sciences Research*, 2(3), 84-89.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). *Introduction to Algorithms*. third. New York.
- Estevez, J., Garate, G., Guede, J. M., & Graña, M. (2019). Using Scratch to Teach Undergraduate Students' Skills on Artificial Intelligence. arXiv preprint arXiv:1904.00296.
- Guzmán, J. L., & Joseph, B. (2021). Web-based virtual lab for learning design, operation, control, and optimization of an anaerobic digestion process. *Journal of Science Education and Technology*, 30(3), 319-330.
- IEEE Learning Technology Standards Committee. (2005). WG12: Learning object metadata. URL: <http://ltsc.ieee.org/wg12>.
- Keller, C. (2009). User acceptance of virtual learning environments: a case study from three northern European universities. *Communications of the Association for Information Systems*, 25(1), 38.
- Kostadinov, B., Thiel, J., & Singh, S. (2019). Creating Dynamic Documents with R and Python as a Computational and Visualization Tool for Teaching Differential Equations. *PRIMUS*, 29(6), 584-605.

- Kumawat, S., Dudeja, C., & Kumar, P. (2021). An Extensive Review of Shortest Path Problem Solving Algorithms. In 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) (pp. 176-184). IEEE.
- Lockwood, E. (2022). Leveraging Prediction and Reflection in a Computational Setting to Enrich Undergraduate Students' Combinatorial Thinking. *Cognition and Instruction*, 1-43.
- Malik, R. S. (2018). Educational challenges in 21st century and sustainable development. *Journal of Sustainable Development Education and Research*, 2(1), 9-20.
- Martin, J., & Bohuslava, J. (2018, January). Augmented reality as an instrument for teaching industrial automation. In 2018 Cybernetics & Informatics (K&I) (pp. 1-5). IEEE.
- Mun, Y. Y., & Hwang, Y. (2003). Predicting the use of web-based information systems: self-efficacy, enjoyment, learning goal orientation, and the technology acceptance model. *International journal of human-computer studies*, 59(4), 431-449.
- Oliveira, I. C. B. Estímulo da leitura com a utilização de recursos multimodais e tecnológicos. *Anais IV CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2017*. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/36864>>. Acesso em: 19/05/2017.
- Paula, L. D., Piva Jr, D., & Freitas, R. L. (2009). A Importância da Leitura e da Abstração do Problema no processo de formação do raciocínio lógico-abstrato em alunos de Computação. In XVII Workshop sobre Educação em Computação-WEI.
- Platz, M., Krieger, M., Niehaus, E., & Winter, K. (2017, May). Electronic proofs in mathematics education—A South African Teacher Professional Development (TPD) course informing the conceptualisation of an e-proof system authoring support workshop. In 2017 IST-Africa Week Conference (IST-Africa) (pp. 1-9). IEEE.
- Ramle, R., Nathan, S. S., & Berahim, M. (2020). Question-led approach in designing Dijkstra algorithm game-based learning: A pilot study. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 9(4), 926-933.



Russell, S., & Norvig, P. (1995). Prentice Hall series in artificial intelligence. Englewood Cliffs, NJ:  
Prentice Hall.

Santos, M. P. (2015). Pesquisa Operacional, Departamento de Matemática Aplicada Instituto de  
Matemática e Estatística, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em:  
<https://www.mpsantos.com.br/Po%20Python.pdf>. Acessado em: Dez. 2015.

Sánchez, D. S., Feijoo, J. M., Cueto-Felgueroso, L., Rodrigo, B. G., Guerra, F. S., & Carrasco, I. C. (2018).  
A framework for boosting the autonomous and experiential learning for undergraduate  
engineering students under blended learning. In ICERI2018 Proceedings (pp. 9808-9815).

Yadav, N., Dhameja, K., & Chaubey, P. (2021, December). Path Finding Visualizer Application for  
Shortest Path Algorithm. In 2021 3rd International Conference on Advances in Computing,  
Communication Control and Networking (ICAC3N) (pp. 1669-1672). IEEE.