

Avaliação de Algoritmos Bioinspirados na Geração de Rotas Personalizadas em Iporá-GO

Guilherme C. Franco¹, Luciana R. Cardoso², Sergio T. Carvalho¹, Luciana O. Berretta¹

¹ Instituto de Informática (INF)
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia, GO, Brasil

²Instituto Federal Goiano (IF Goiano)
Campus Iporá
Iporá, GO, Brasil

guilherme_carvalho@discente.ufg.br

luciana.cardoso@ifgoiano.edu.br

{sergiocarvalho, luciana.berretta}@ufg.br

Abstract. *The formation of routes can be attributed to the fundamental human need for movement and exploration. Well-defined routes provide a basis for decision-making and function as guides to reach specific destinations. In this context, the objective of this study is to evaluate the efficiency and effectiveness of a series of optimization algorithms, namely Ant Colony Optimization, Bat Algorithm, Bee Colony Optimization, Cuckoo Search, Firefly Algorithm, Genetic Algorithm, and Particle Swarm Optimization, in generating personalized routes based on points of interest within the city of Iporá-GO. The results indicate that the Ant Colony Optimization algorithm has the potential to identify viable solutions within the context of Iporá-GO.*

Resumo. *A formação de rotas surgiu da necessidade humana de deslocamento e exploração. Rotas bem definidas fornecem suporte para a tomada de decisões e funcionam como guias para se alcançar destinos específicos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é verificar a eficiência e a eficácia dos algoritmos de otimização Ant Colony Optimization, Bat Algorithm, Bee Colony Optimization, Cuckoo Search, Firefly Algorithm, Genetic Algorithm e Particle Swarm Optimization na geração de rotas personalizadas por pontos de interesse da cidade de Iporá-GO. Indicadores sugerem que o algoritmo Ant Colony Optimization demonstrou capacidade de encontrar soluções viáveis para o contexto de Iporá-GO.*

1. Introdução

A formação de rotas surgiu da necessidade humana de deslocamento e exploração, inicialmente utilizando percursos naturais como rios e vales, e, posteriormente, criando trajetos artificiais para navegação marítima e aérea [Paine 2014]. Uma rota bem definida fornece suporte para a tomada de decisões e atua como um guia para o alcance de destinos específicos, facilitando o foco em locais de interesse, além de contribuir de maneira clara

e eficiente para a orientação e direção, promovendo um deslocamento seguro e objetivo [Souffriau and Vansteenwegen 2010].

O tempo necessário para o planejamento e o estabelecimento de uma rota pode variar de acordo com a complexidade envolvida [Gavalas et al. 2017]. Uma possibilidade crescente é a criação de rotas personalizadas e de menor custo, tanto em termos financeiros quanto de tempo, com o apoio de algoritmos de otimização ou algoritmos de inteligência artificial, presentes nas *Smart Tourism Technology* (STT) [Azis et al. 2020].

Para isso, algoritmos de otimização são aplicados, permitindo a geração de rotas com base em parâmetros como locais de interesse ou rota mais eficiente. A escolha dos melhores pontos a percorrer pode ser feita usando critérios específicos, como custo financeiro, tempo de percurso e distância entre os locais [Kochenderfer and Wheeler 2019]. Esses critérios têm um impacto significativo nas decisões durante a seleção do trajeto, promovendo maior eficiência e personalização no planejamento da rota.

Os algoritmos bioinspirados buscam a otimização com base em fenômenos, comportamentos e processos naturais observados em organismos vivos, simulando mecanismos como a evolução, o comportamento coletivo e a comunicação. Cada tipo de algoritmo se baseia nas estratégias únicas de diferentes espécies, como colônias de formigas ou enxames de abelhas, para resolver problemas complexos de otimização. Essa abordagem permite que os algoritmos enfrentem eficientemente desafios específicos, adaptando-se a singularidades e demandas variadas [Gao 2012]. Algoritmos como o *Ant Colony Optimization* (ACO), *Bat Algorithm* (BA), *Bee Colony Optimization* (BCO), *Cuckoo Search* (CS), *Firefly Algorithm* (FA), *Genetic Algorithm* (GA) e *Particle Swarm Optimization* (PSO), possuem a capacidade intrínseca de adaptação a múltiplos critérios de otimização [BARBOSA 2017]. Esses algoritmos não apenas buscam a menor rota em termos de distância, mas também integram critérios de otimização complexos.

O uso de STT pode contribuir para a valorização e preservação dos pontos históricos da cidade de Iporá-GO, potencializando o desenvolvimento e incentivando o turismo. Iporá, localizada no Estado de Goiás, possui uma área de aproximadamente 1.026 km² e população em torno de 32 mil habitantes, distribuídos entre a zona urbana e rural. A cidade é rica em patrimônio histórico e cultural, com diversos pontos de interesse que atraem visitantes e fortalecem o turismo local [Bueno and Borges 2017].

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência e a eficácia de algoritmos bioinspirados na geração de rotas personalizadas entre localidades históricas e pontos de interesse turístico na cidade de Iporá-GO. Com essa abordagem, busca-se fomentar o turismo local, facilitando o acesso a locais de relevância cultural e histórica por meio de trajetos otimizados que atendam às necessidades dos visitantes.

A estrutura do artigo está organizada em outras 4 (quatro) seções, além desta seção introdutória. A Seção 2 aborda os principais conceitos e estudos relacionados a caminho mínimo e algoritmos de otimização, além de alguns trabalhos correlatos. A Seção 3, por sua vez, apresenta os procedimentos adotados para realização dos testes, detalhando o ambiente de execução, os parâmetros de entrada utilizados e os critérios de avaliação de eficiência e eficácia. A Seção 4 detalha os resultados obtidos na eficiência temporal dos algoritmos e eficácia dos resultados gerados. Por fim, a Seção 5 traz as considerações finais e perspectivas.

2. Referencial Teórico

2.1. Rotas Otimizadas

De forma geral, uma rota é composta por uma sequência de pontos ou marcos a serem percorridos visando alcançar um destino específico. Esses pontos podem indicar qualquer elemento georreferenciado que facilite a orientação. As rotas podem ser planejadas e otimizadas considerando diferentes critérios, como a menor distância, o tempo de deslocamento mais rápido, a presença de pedágios ou outras preferências particulares do viajante [Barreira 2016].

O caminho mínimo refere-se à rota mais curta entre dois pontos em um determinado contexto. Em diversos campos, como logística, ciência da computação e otimização, o conceito de caminho mínimo é utilizado para encontrar a trajetória mais eficiente ou econômica para se alcançar um objetivo específico [Araruna 2013]. Essa ideia de percurso mais curto pode ser aplicada em vários contextos, sendo uma abordagem fundamental em diversas áreas como otimizar recursos, tempo ou rotas.

Uma rota bem definida é caracterizada por um percurso claro estabelecido, acompanhado de instruções precisas para alcançar-se o destino desejado. Tal rota deve caracterizar-se por fácil seguimento, reduzindo a probabilidade de contratempos durante o percurso [Fournier 2022]. Além disso, tal rota proporciona a sequência adequada para alcance do destino de maneira eficiente.

2.2. Algoritmos de Otimização

Algoritmos de otimização são modelos matemáticos projetados para resolver problemas complexos, que, em muitos casos, apresentam um tempo de execução exponencial. Para alcançar resultados aceitáveis dentro de um tempo de execução polinomial, utiliza-se uma análise qualitativa dos possíveis resultados em função do objetivo informado, buscando soluções eficientes para o problema em questão [Cormen et al. 2022].

Classificados em diferentes métodos de aplicação, cada tipo de algoritmo de otimização segue uma abordagem sistemática específica. A busca local realiza um refinamento iterativo da solução inicial, enquanto a busca global visa identificar a solução ótima, selecionando o melhor resultado entre as alternativas disponíveis [Luger 2004].

Algoritmos bioinspirados baseiam-se em fenômenos e processos naturais, simulando mecanismos de evolução, comportamento e comunicação observados em organismos vivos. Por meio das singularidades e estratégias específicas desses organismos, esses algoritmos frequentemente oferecem soluções eficientes para problemas de otimização, aproveitando abordagens adaptativas e colaborativas da natureza [Gao 2012].

2.3. Fórmula de Haversine

Fórmula de Haversine é um método matemático para cálculo da distância entre dois pontos em uma esfera, comumente utilizada para o cálculo da distância geográfica de duas localidades sobre a curvatura da Terra (Figura 1). Através da latitude e longitude respectivas de cada localidade e a curvatura aproximada da Terra, é possível adquirir um resultado aproximado da distância, em quilômetros ou milhas, entre dois locais informados [Sinnott 1984].

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Figura 1. Fórmula de Haversine [Sinnott 1984].

2.4. Smart Tourism Technologies

As *Smart Tourism Technologies* (STT) são empregadas para aprimorar a experiência dos turistas e aumentar a eficiência das atividades turísticas. Essas tecnologias visam facilitar e melhorar diferentes aspectos da indústria do turismo, como a disponibilidade de informações relevantes, a interação com o ambiente e a personalização das rotas, as quais são fatores-chave que influenciam a experiência do usuário [Jeong and Shin 2020].

Portanto, STT visam aprimorar a experiência dos turistas. Isso é alcançado por meio do uso de avanços tecnológicos, como inteligência artificial, análise de dados, internet das coisas, dentre outros. Tais avanços possibilitam a obtenção de informações relevantes, agrupam os melhores resultados e personalizam as experiências para melhoria do conforto e da facilidade dos usuários [Baggio et al. 2020].

2.5. Travelling Salesman Problem

Travelling Salesman Problem (Problema do Caixeiro Viajante) é um desafio de otimização, categorizado como resolvível em tempo exponencial. Seu foco é estipular a rota mais curta percorrível, visitando cada local designado exatamente uma única vez e retornando ao local de origem, tendo sua aplicabilidade em diversas áreas, como logística, distribuição, circuitos eletrônicos e turismo, dentre outras [Jünger et al. 1995].

2.6. Trabalhos Relacionados

A abordagem de otimização de rotas através do uso de algoritmos bioinspirados está sendo empregado por diversos autores, como [Ma 2016], [Bhatt et al. 2016], [Zhang et al. 2019] e [Xiong 2022].

O trabalho [Ma 2016] descreve como a combinação do *immune algorithm* e do *genetic algorithm* pode melhorar os resultados no *Travelling Salesman Problem*, com foco na verificação da eficácia do algoritmo proposto em um sistema de recomendação de rotas inteligentes, através da representação da distância entre cada lugar em uma matriz de peso.

Os autores [Bhatt et al. 2016] visam elencar rotas otimizadas para chegar ao destino, evitando colisões de tráfego, usando uma abordagem heurística de otimização, dividida em previsão da localização destino, formação de uma região e seleção da rota otimizada, por meio do uso do *bat algorithm*.

O trabalho [Zhang et al. 2019], por sua vez, propõe para o problema de geração de rotas multiobjetivos a aplicação de um algoritmo denominado *improved selection strategy based multiobjective particle swarm optimization* para redução do tempo de execução e melhoria da qualidade do resultado gerado.

Por fim, o artigo [Xiong 2022] utiliza-se do *multi-neural algorithm* para cálculo e pontuação de rotas predefinidas e recomendação, a fim de promover a recomendação da melhor rota, tanto em questão de visualização dos melhores lugares quanto transporte adequado.

3. Metodologia

Primordialmente foi realizada uma pesquisa exploratória para construção do material bibliográfico de apoio a respeito de algoritmos bioinspirados e de otimização. Para isso, foram identificados trabalhos do escopo literário de geração de rotas otimizadas por meio dos repositórios de literatura científica IEEE Xplore, SBCOpenLib (SOL) e CAFe CAPES.

Foram investigados os algoritmos a serem utilizados para a resolução de problemas de otimização na geração de rotas bem definidas, e família de algoritmos apresentados por [BARBOSA 2017] em sua dissertação. Os algoritmos escolhidos para realização dos testes de custo computacional e efetividade de resultados foram o *Ant Colony Optimization*, *Bat Algorithm*, *Bee Colony Optimization*, *Cuckoo Search*, *Firefly Algorithm*, *Genetic Algorithm* e *Particle Swarm Optimization* [BARBOSA 2017].

Para execução dos testes foi criada uma base de dados com as latitudes e longitudes (Tabela 1) dos locais históricos da cidade de Iporá-GO, utilizando-se do mapa urbano apresentado na Figura 2. Para a aplicação da Fórmula de Haversine, foi utilizado como base o valor de 6.371 km para o raio da Terra [Neves et al. 2021], gerando, assim, a Base de Dados de Entrada (BDE) a ser utilizada pelos algoritmos.

Tabela 1. Localidades, latitude e longitude.

Local	Latitude	Longitude
1	-16.459647	-51.115563
2	-16.447236	-51.121254
3	-16.443205	-51.120531
4	-16.441547	-51.119248
5	-16.437327	-51.115416
6	-16.432358	-51.116129
7	-16.438913	-51.128335
8	-16.427266	-51.109344
9	-16.425465	-51.121638
10	-16.421133	-51.097933

Durante a execução da família de algoritmos foi escolhida uma abordagem quantitativa para a catalogação e análise dos resultados. Foram utilizadas 3 (três) máquinas diferentes (Tabela 2) a fim de verificar a consistência dos resultados obtidos independentemente da configuração da máquina utilizada. A seleção desta abordagem visa quantificar de maneira objetiva e mensurável os dados obtidos, permitindo uma análise robusta e a identificação de padrões ou disparidades significativas entre os desempenhos dos algoritmos selecionados.

A escolha do algoritmo mais eficaz é importante para otimizar o desempenho do sistema de geração de rotas otimizadas e, conseqüentemente, aprimorar a qualidade geral

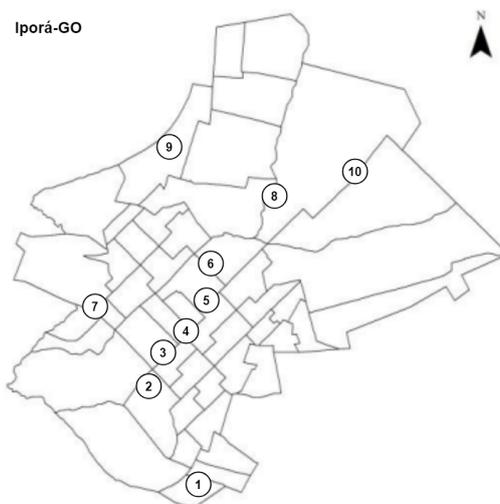


Figura 2. Pontos históricos no mapa urbano de Iporá [Bueno and Borges 2017].

da interação humano-computador. A eficiência do algoritmo impacta na rapidez e na precisão da elaboração das rotas, e influencia na experiência do usuário, potencializando uma interação mais intuitiva e adaptada às escolhas específicas do usuário.

Tabela 2. Configurações de *hardware* utilizadas.

Máquina	Processador	Memória RAM	Armazenamento	Placa de Vídeo	Sistema Operacional
1	Intel(R) i5-2310	8GB DDR3	512GB SSD	Intel(R) HD Graphics	Win 10
2	Intel(R) i5-6300HQ	8GB DDR3	1TB HD	NVIDIA GTX 960M	Win 10
3	Intel(R) i5-8265U	8GB DDR4	240G SSD	Intel(R) UHD 620	Win 10

4. Resultados Obtidos

A Base de Dados de Entrada (BDE) foi estabelecida mediante a aplicação do modelo matemático da Fórmula de Haversine nas latitudes e longitudes informados na Tabela 1 e evidenciados no mapa urbano de Iporá-GO (Figura 2). Este conjunto de dados serve como ponto de partida para a aplicação dos algoritmos, fornecendo as informações essenciais para a criação de rotas precisas, ou caminhos mínimos. Esta BDE é determinada considerando as distâncias entre cada localidade, conforme destacado na Tabela 3.

Ao catalogar o desempenho dos resultados provenientes dos algoritmos *Ant Colony Optimization* (ACO), *Bat Algorithm* (BA), *Bee Colony Optimization* (BCO), *Cuckoo Search* (CS), *Firefly Algorithm* (FA), *Genetic Algorithm* (GA) e *Particle Swarm Optimization* (PSO), foi possível analisar o tempo médio de execução e a eficácia média da geração de rotas obtidos durante a execução de cada algoritmo¹. Esse enfoque proporcionou uma visão abrangente e detalhada sobre a eficiência temporal e a eficácia de geração de rotas de cada implementação.

¹ Algoritmos disponíveis em: <https://github.com/Wellived/BioInspiredAlgorithm>

Tabela 3. Base de Dados de Entrada - BDE.

local/local	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1507	1903	2050	2481	3034	2677	3661	3855	4677
2	1507	0	454	667	1265	1742	1194	2558	2421	3822
3	1903	454	0	229	851	1294	959	2136	1976	3439
4	2050	667	229	0	622	1074	1012	1907	1806	3212
5	2481	1265	851	622	0	557	1389	1292	1476	2592
6	3034	1742	1294	1074	557	0	1491	918	965	2307
7	2677	1194	959	1012	1389	1491	0	2404	1657	3797
8	3661	2558	2136	1907	1292	918	2404	0	1326	1395
9	3855	2421	1976	1806	1476	965	1657	1326	0	2573
10	4677	3822	3439	3212	2592	2307	3797	1395	2573	0

4.1. Eficiência Temporal

Ao conduzir os testes de execução dos algoritmos para avaliar a eficiência temporal em diferentes máquinas (veja configurações na Tabela 2), registrou-se o tempo médio obtido de cada máquina executando cada algoritmo selecionado. A análise dos resultados revelou padrões distintos de desempenho entre as máquinas (Tabela 4), destacando, em alguns casos, diferenças significativas nos tempos de execução em milissegundos dos algoritmos (Figura 3).

Tabela 4. Tempo médio obtido em cada algoritmo por máquina.

Máquina	Algoritmos						
	ACO	BA	BCO	CS	FA	GA	PSO
1	0.03	0.12	0.70	0.05	0.05	1.35	3.71
2	0.06	0.11	0.60	0.03	0.07	1.14	2.98
3	0.05	0.15	0.88	0.04	0.04	1.70	3.72

4.2. Eficácia dos Resultados

Ao conduzir os testes de execução dos algoritmos para avaliar a eficácia dos resultados obtidos em diferentes máquinas (veja configurações na Tabela 2), registrou-se a distância média obtida em metros (Tabela 5). A análise minuciosa dos dados revela variações notáveis nas distâncias médias percorridas, indicando diferentes níveis de eficácia na construção de rotas para cada algoritmo (Figura 4).

4.3. Identificação do Melhor Algoritmo

Considerando os resultados de eficiência e eficácia obtidos da execução dos algoritmos selecionados, o algoritmo *Ant Colony Optimization* obteve menores resultados de tempo de execução (Tabela 4), e distância média (Tabela 5). Essa superioridade nos indicadores

Tempo médio (ms)

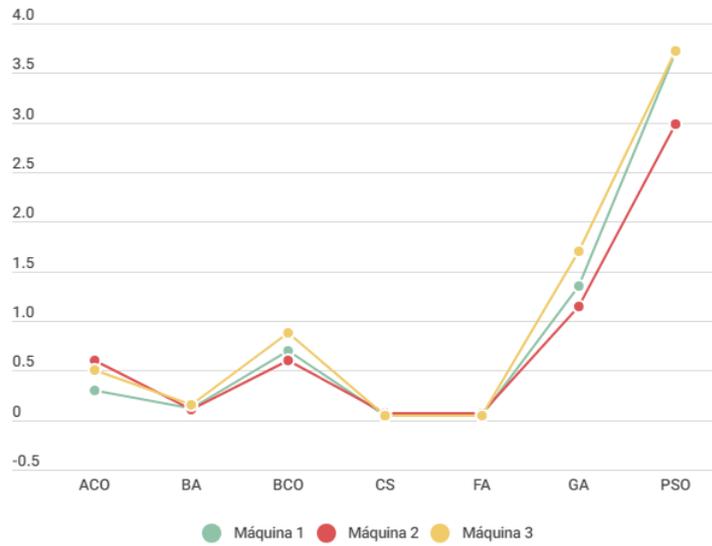


Figura 3. Gráfico de tempo médio de execução.

Distância média (m)

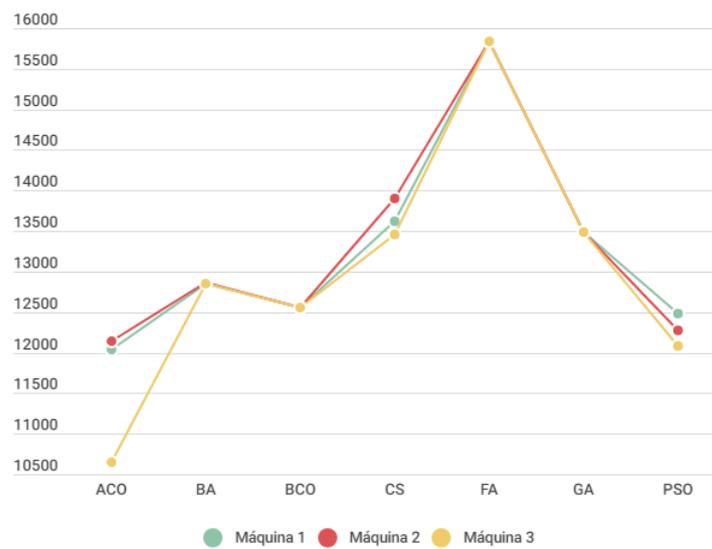


Figura 4. Gráfico de distância média.

Tabela 5. Distância média obtida em cada algoritmo

Máquina	Algoritmos						
	ACO	BA	BCO	CS	FA	GA	PSO
1	12038	12853	12555	13618	15840	13490	12485
2	12138	12862	12555	13902	15840	13491	12268
3	10652	12851	12555	13459	15840	13492	12082

de desempenho sugere que o algoritmo *Ant Colony Optimization* demonstrou capacidade viável de encontrar soluções mais rápidas e eficientes em comparação com os demais algoritmos testados para geração de rotas personalizadas entre localidades históricas e pontos de interesse turístico na cidade de Iporá-GO.

5. Conclusão

O tempo necessário para o planejamento e o estabelecimento de uma rota pode variar de acordo com a complexidade e a quantidade de locais de interesse envolvidos. Para isso, algoritmos de otimização são aplicados, permitindo a geração de rotas com base em parâmetros como locais de interesse ou rota mais eficiente. Algoritmos bioinspirados, uma ramificação de algoritmos de otimização, buscam otimizar soluções ao imitar fenômenos e processos naturais, como evolução, comportamento coletivo e comunicação observados em organismos vivos.

Diante disso, nosso artigo teve como propósito avaliar a eficiência e a eficácia dos algoritmos *Ant Colony Optimization*, *Bat Algorithm*, *Bee Colony Optimization*, *Cuckoo Search*, *Firefly Algorithm*, *Genetic Algorithm* e *Particle Swarm Optimization* na geração de rotas personalizadas entre localidades históricas e pontos de interesse turístico na cidade de Iporá-GO. Com isso, evidencia-se a viabilidade do *Ant Colony Optimization* para o contexto local, considerando sua performance em eficiência – tempo médio, e sua eficácia – distância média. Como próximo passo, o foco será avaliar a escalabilidade desses algoritmos, analisando como seu desempenho se adapta ao aumento dos locais de interesse.

Referências

- Araruna, A. R. (2013). Caminho mínimo com restrição probabilística de atraso máximo.
- Azis, N., Amin, M., Chan, S., and Aprilia, C. (2020). How smart tourism technologies affect tourist destination loyalty. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 11(4):603–625.
- Baggio, R., Micera, R., and Del Chiappa, G. (2020). Smart tourism destinations: a critical reflection. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 11(3):407–423.
- BARBOSA, C. E. M. (2017). Algoritmos bio-inspirados para solução de problemas de otimização. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco.
- Barreira, N. M. C. (2016). *Sistema Inteligente para Otimização de Rotas*. PhD thesis.
- Bhatt, M., Sharma, S., Luhach, A. K., and Prakash, A. (2016). Nature inspired route optimization in vehicular adhoc network. pages 447–451.

- Bueno, L. and Borges, J. (2017). A segregação espacial urbana de iporá (go). *Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais*, 6:172–191.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms*. MIT press.
- Fournier, P. F. M. (2022). *Otimização de rotas: planejamento em viaturas pesadas*. PhD thesis.
- Gao, S. (2012). *Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications*. BoD–Books on Demand.
- Gavalas, D., Kasapakis, V., Konstantopoulos, C., Pantziou, G., and Vathis, N. (2017). Scenic route planning for tourists. *Personal and Ubiquitous Computing*, 21:137–155.
- Jeong, M. and Shin, H. H. (2020). Tourists’ experiences with smart tourism technology at smart destinations and their behavior intentions. *Journal of Travel Research*, 59(8):1464–1477.
- Jünger, M., Reinelt, G., and Rinaldi, G. (1995). The traveling salesman problem. *Handbooks in operations research and management science*, 7:225–330.
- Kochenderfer, M. J. and Wheeler, T. A. (2019). *Algorithms for optimization*. Mit Press.
- Luger, G. F. (2004). *Inteligência Artificial-: Estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos*. Bookman.
- Ma, X. (2016). Intelligent tourism route optimization method based on the improved genetic algorithm. pages 124–127.
- Neves, M. C. D., Silva, L. F., Silva, M. E. M. T., and Fernandes, C. Y. C. (2021). Medindo o raio da terra: Uma experiência no ensino.
- Paine, L. (2014). *The sea and civilization: a maritime history of the world*. Atlantic Books Ltd.
- Sinnott, R. W. (1984). Virtues of the haversine. *Sky and telescope*, 68(2):158.
- Souffriau, W. and Vansteenwegen, P. (2010). Tourist trip planning functionalities: state-of-the-art and future. In *10th International conference on Web Engineering (ICWE 2010)*, volume 6385, pages 474–485. Springer.
- Xiong, J. (2022). Optimization model of tourist transportation route based on multi-neuron algorithm. pages 1161–1164.
- Zhang, W., Xing, Z., Yang, D., Hou, W., Wang, C., and Gen, M. (2019). Multiobjective particle swarm optimization with improved selection strategy for route optimization. pages 205–209.