

Aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial na otimização de rotas de distribuição na Engenharia de Produção

Professor Mestre Hudson Balonecker Garcia
Professor Mestre Fernando Claret Oliveira
Professor Mestre Paulo Sérgio Pádua de Lacerda

RESUMO

A logística no século XXI experimentou uma transformação profunda, com uma mudança de ênfase de uma função operacional para uma parte estratégica das operações empresariais. A globalização e a complexidade das cadeias de suprimentos exigem coordenação logística eficiente em escala internacional, impulsionando a necessidade de tecnologias avançadas, como sistemas de gerenciamento de armazém e rastreamento por GPS. Além disso, a logística contemporânea precisa atender às crescentes demandas dos consumidores por entregas rápidas e rastreamento em tempo real, principalmente nas rotas de distribuição final, tornando a "última milha" da entrega um ponto focal para inovação e eficiência. No cerne dessa evolução, este trabalho propõe investigar como os algoritmos de Inteligência Artificial (IA), incluindo algoritmos genéticos, algoritmos de otimização e aprendizado de máquina, podem ser aplicados na otimização de rotas de distribuição minimizando custos logísticos, reduzindo o tempo de entrega e melhorando a eficiência operacional. Nesse contexto, propõe-se uma análise da aplicação de IA na otimização de rotas de distribuição, além de identificar os principais desafios e limitações enfrentados na aplicação de IA e avaliar os benefícios econômicos e operacionais obtidos com a implementação de algoritmos de IA, por fim, propor diretrizes e recomendações para a implementação bem-sucedida de algoritmos de IA na otimização de rotas de distribuição. A metodologia elaborada para este trabalho foi baseada em uma pesquisa bibliográfica de literatura existente sobre o uso de Inteligência Artificial em sistema de rotas de distribuição em periódicos Capes. Portanto, a revisão da literatura destacou a importância da IA nesse contexto, com exemplos de estudos que aplicaram algoritmos de IA incluindo algoritmos genéticos e redes neurais, para otimizar rotas de distribuição.

Palavras-chave: Algoritmos; Milha Final; logística.

ABSTRACT

In the 21st century, logistics has undergone a profound transformation, shifting its emphasis from an operational function to a strategic component of business operations. Globalization and the complexity of supply chains demand efficient international logistics coordination, driving the need for advanced technologies such as warehouse management systems and GPS tracking. Furthermore, contemporary logistics must meet the growing consumer demands for fast deliveries and real-time tracking, especially in final distribution routes, making the "last mile" of delivery a focal point for innovation and efficiency. At the core of this evolution, this work aims to investigate how Artificial Intelligence (AI) algorithms, including genetic algorithms, optimization algorithms, and machine learning, can be applied to optimize distribution routes, minimizing logistics costs, reducing delivery times, and enhancing operational efficiency. In this context, an analysis of AI's application in route optimization is proposed, along with the identification of the primary challenges and limitations faced in AI implementation and an evaluation of the economic and operational benefits achieved through the implementation of AI algorithms. Finally, guidelines and recommendations for the successful implementation of AI algorithms in route optimization are proposed. The methodology developed for this work was based on bibliographic research of existing literature on the use of Artificial Intelligence in distribution route systems in Capes journals. Therefore, the literature review highlighted the importance of AI in this context, with examples of studies that applied AI algorithms, including genetic algorithms and neural networks, to optimize distribution routes.

Keywords: Algorithms; Last Mile; Logistics.

1 INTRODUÇÃO

A logística desempenha um papel fundamental na Engenharia de Produção, onde a eficiência na distribuição de produtos desafia constantemente as organizações a melhorar suas operações (KLUMPP *et. al*, 2019). Este trabalho se propõe a explorar a aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na otimização de rotas de distribuição de produtos com intuito de minimizar os custos operacionais logísticos, mas também melhorando a eficiência das entregas, além da melhoria da eficácia operacional de todo o processo, destacando o uso de algoritmos genéticos, algoritmos de otimização e aprendizado de máquina.

A distribuição de produtos é um dos principais desafios enfrentados pelas empresas em todo o mundo. A busca constante pela redução de custos logísticos, a minimização do tempo de entrega e a melhoria da eficiência operacional são imperativos comerciais que podem determinar o sucesso ou fracasso de uma organização (MA; WANG, 2022). Nesse contexto, a identificação das melhores rotas de distribuição torna-se uma questão crítica, mas complexa, devido à multiplicidade de variáveis envolvidas, como distâncias, demandas variáveis, restrições de capacidade, entre outras.

É nesse cenário que a Inteligência Artificial se destaca como uma ferramenta capaz de abordar essas complexidades e oferecer soluções que vão além das capacidades humanas tradicionais. No entanto, surge a seguinte problematização: como os algoritmos de IA podem ser aplicados de forma eficaz na otimização de rotas de distribuição na Engenharia de Produção e quais são os resultados obtidos em termos de redução de custos, tempo de entrega e eficiência operacional?

A justificativa para este estudo reside na importância estratégica da otimização de rotas de distribuição para as organizações, pois impacta diretamente em sua competitividade e lucratividade. A crescente disponibilidade de dados, o avanço da capacidade computacional e o desenvolvimento de algoritmos de IA tornaram possível a resolução de problemas logísticos complexos de maneira mais eficiente e precisa (HAMIDUR, *et al*, 2022). Portanto, compreender como a IA pode ser aplicada para

atender às demandas logísticas é essencial para que as empresas se mantenham competitivas e alcancem níveis superiores de desempenho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é investigar como os algoritmos de Inteligência Artificial, incluindo algoritmos genéticos, algoritmos de otimização e aprendizado de máquina, podem ser aplicados na otimização de rotas de distribuição minimizando custos logísticos, reduzindo o tempo de entrega e melhorando a eficiência operacional.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir esse objetivo geral, os objetivos específicos incluem:

- Analisar o estado da arte da aplicação de IA na otimização de rotas de distribuição;
- Identificar os principais desafios e limitações enfrentados na aplicação de IA nesse contexto;
- Avaliar os benefícios econômicos e operacionais obtidos com a implementação de algoritmos de IA;
- Propor diretrizes e recomendações para a implementação bem-sucedida de algoritmos de IA na otimização de rotas de distribuição.

1.1.2 Estrutura do documento

O próximo segmento deste documento delineará a metodologia empregada no desenvolvimento deste projeto. A seguir, abordaremos os estudos correlatos publicados na literatura especializada. O quarto tópico abordará os resultados e a discussão. Por fim, a conclusão apresentará as considerações finais e delineará possíveis direções para futuras pesquisas.

2 MÉTODOS

A metodologia elaborada para este trabalho foi baseada em uma pesquisa bibliográfica que envolve a revisão e análise crítica de literatura existente sobre o uso de Inteligência Artificial em sistema de rotas de distribuição. É útil para revisões da literatura e para obter uma compreensão abrangente do estado atual do conhecimento em uma área.

Inicialmente foi realizada a etapa de busca no site periódicos capes para seleção dos artigos com base nos seguintes critérios:

- A pesquisa usou somente o site periódico capes;
- Foram selecionados somente artigos compreendidos entre 2018 e 2023;
- Somente escolhidos os artigos revisados por pares;
- Selecionados os artigos que após a leitura da introdução tenha explicitado informações associadas ao tema proposto como rotas de distribuição, Inteligência Artificial, Engenharia de Produção e logística;
- Artigos escritos em língua inglesa, portanto, os termos pesquisados foram *distribution routes, logistic, Artificial Intelligence, Production Engineering*.

Nesta etapa o objetivo é pesquisar e selecionar os artigos relacionados com o tema do trabalho. Posteriormente, a etapa inicial, a seleção dos artigos foi feita baseada nos seguintes critérios:

- Leitura das introduções e verificação da presença dos termos usados como filtro de busca no artigo;
- A utilização, no mínimo, de três artigos sobre o tema proposto por objetivo específico do trabalho.

A terceira etapa foi a separação dos artigos associados aos temas propostos na seção Trabalhos Relacionados, e por fim, a elaboração desse documento.

3 DESENVOLVIMENTO

A pesquisa acadêmica é um processo contínuo de construção de conhecimento, onde novas investigações são frequentemente influenciadas e informadas por estudos e descobertas anteriores. Neste contexto, exploraremos uma

ampla variedade de trabalhos relacionados que se relacionam diretamente com o tema central deste trabalho.

Sendo assim, analisaremos pesquisas anteriores, teorias, estudos empíricos e perspectivas críticas que moldaram a compreensão atual do problema de pesquisa em foco. Esta revisão da literatura servirá para contextualizar nosso próprio estudo, destacando as áreas onde nossa pesquisa se encaixa no diálogo acadêmico e identificando as lacunas de conhecimento que nosso trabalho visa preencher.

O capítulo foi estruturado em quatro tópicos: o primeiro é relativo à aplicação de IA na otimização de rotas de distribuição, seguido da identificação dos principais desafios e limitações enfrentados na aplicação de IA nesse contexto. Já o tópico três avalia os benefícios econômicos e operacionais obtidos com a implementação de algoritmos de IA, e por fim, propor diretrizes e recomendações para a implementação bem-sucedida de algoritmos de IA na otimização de rotas de distribuição de produtos.

3.1 Inteligência Artificial Aplicada na Otimização de Rotas de Distribuição

Para Zhao *et al* (2020), com o objetivo de atender melhor às necessidades de distribuição das empresas, melhorando a eficiência econômica e a satisfação do cliente, tem havido um aumento constante no número de centros de distribuição logística ao longo dos anos. Um modelo algoritmo de Inteligência Artificial foi desenvolvido para abordar as necessidades de distribuição multiobjetivo, levando em consideração a distância da rota e o estado operacional das estradas próximas aos centros de distribuição logística e seus pontos nodais. Além disso, devido à sua eficácia em problemas multiobjetivos de baixa dimensão, optou-se por utilizar um algoritmo genético rápido com uma estratégia de otimização de caminho dentre várias opções (ZHAO *et al*, 2020).

Através de simulação, Zhao *et al* (2020) fez uso de modelos matemáticos para desenvolver um algoritmo na obtenção de novos caminhos dos veículos de distribuição em uma determinada área, o que tem certa praticidade e valor de referência para a otimização do caminho real de distribuição logística. Nesse estudo, além da análise de tempo, também obteve melhores custos nas otimizações das rotas. Como resultados, adotou-se uma estratégia de otimização, e quatro áreas e caminhos

de distribuição logística foram determinados e otimizados por cálculo com base no novo modelo.

Segundo Gomes *et al* (2021), nas últimas décadas tem crescido a preocupação com o desenvolvimento das chamadas cidades inteligentes. O conceito de cidade inteligente está maioritariamente focado no ambiente, e na sua preservação, além da aplicação da tecnologia (GOMES *et al*, 2021).

Conceitos como sustentabilidade e mobilidade urbana, tem sido debates constantes em fóruns e congressos espalhados ao redor do mundo, e esses conceitos têm levado à procura de alternativas que permitam uma melhor racionalização e otimização de recursos e meios de mobilidade urbana. Gomes *et al* (2021), experimentou métodos de inteligência artificial baseados em redes neurais como uma alternativa de abordagem para minimizar o problema de mobilidade nas chamadas cidades inteligentes em um estudo de caso real em uma companhia localizada na cidade de Covilhã, Portugal.

E como resultado, Gomes *et al*. (2021) obteve uma redução de 618 km por semana na distância total percorrida foi determinada pelo algoritmo. Esses valores promoveram uma melhoria na relação fornecedor-cliente com relação ao tempo de visita, pois cada cliente era visitado no tempo estipulado, além do mais, o resultado na aplicação da Inteligência Artificial nas rotas de distribuição nas cidades inteligentes gerou uma redução nos custos fixos com combustível pela menor distância percorrida e simultaneamente promoveu a sustentabilidade ambiental pelo encurtamento das rotas logísticas.

Para Zhao (2023), as rotas de distribuição de produto são extremamente importantes para o crescimento da economia urbana. O aprimoramento e otimização dessas rotas são essenciais para a diminuição no custo de tempo de entrega e perdas de materiais, principalmente materiais perecíveis. O encurtamento do tempo de entrega reduz, por exemplo, os gastos para empresas, além de proporcionar eficiência e eficácia nos serviços de delivery para o cliente (ZHAO, 2023).

Ainda segundo Zhao (2023), a Inteligência Artificial (IA), no século XXI, vem se tornando em um serviço essencial para a economia global, e diante desse contexto, Zhao (2023) afirma que com o crescimento da Internet, o crescimento do e-business tem também avançou aos trancos e barrancos. No ambiente atual, a indústria logística

deve acompanhar o crescimento da Internet e inovar ativamente e encurtar a rota de distribuição, o que pode reduzir significativamente o custo logístico.

E por essa razão, Zhao (2023) propôs um novo algoritmo de enxame de otimização de rotas com base em domínio de IA como Big Data. Como resultado, obteve cerca de 95,08% de melhoria de otimização em variáveis como tempo de entrega, resultado superior ao algoritmo de rotas tradicional e ao algoritmo heurístico geral.

3.2 Desafios da Aplicação de Inteligência Artificial na Otimização de Rotas de Distribuição

Segundo Benavent *et al* (2018), os problemas de transporte na logística comercial é uma area que vem sendo estudada a décadas. Sendo assim, a grande maioria desses problemas está associada em como projetar rotas para veículos movimentarem mercadorias entre locais principalmente nas grandes cidades onde o trânsito é caótico.

No mesmo pensamento de Benavent *et al* (2018), Arnau *et al* (2018) afirma que o transporte de distribuição mercadorias, principalmente nas grandes Metrópolis vem tornando em uma atividade que impacta diretamente não negligenciável no ambiente, bem como no bem-estar dos cidadãos. A minimização do tempo total de viagem ou mesmo a projeção de rotas equilibradas são elementos de debates como alternativas aos problemas de clássico de roteamento de veículos.

Molina *et al* (2019), entendem que além dos problemas associados as rotas de distribuição, problemas podem ser gerados por frota limitada de veículos, caracterizada por diferentes capacidades, custos fixos e custos variáveis, disponível para atender uma gama de clientes dentro de uma janela de tempo pré-definida. Já Cassettari *et al* (2018) relata que o problema de Roteamento de Veículos é uma das tarefas mais otimizadas estudadas e é implementado em uma enorme variedade de aplicações industriais.

Poonthalir e Nadarajan (2019) ressaltam a preocupação das empresas de logística e centro de distribuições que gastam uma grande quantidade de custos e tempo para distribuir os produtos aos seus clientes. Ainda segundo Poonthalir e

Nadarajan (2019), reduções de custos e aumento da lucratividade são variáveis dependentes das ações em busca da diminuição do tempo de distribuição e entrega das mercadorias. Nesse contexto, os desafios de implementações de sistemas especializados e inteligentes providos de recursos de Inteligência Artificial são essenciais para projeção de rotas econômicas, inteligentes que atendam às necessidades do negócio e minimizam problemas de custo e tempo.

3.3 Benefícios Econômicos e Operacionais Obtidos com a Implementação de Algoritmos de IA

O método tradicional de planejamento de rotas logísticas é facilmente afetado por danos à carga e emissões de carbono dos veículos, o que dificulta a obtenção da rota logística ideal (TENG, 2021). Com base no histórico do tempo de viagem na distribuição dos produtos, Teng (2021) relata que o cálculo de novas rotas com referências na distribuição de baixo carbono de produtos agrícolas frescos, e no custo de perda de produtos agrícolas pode ser implementada através de algoritmos baseado em redes neurais obtendo uma melhor logística reduzindo tempo e custo, além de reduzir a poluição ambiental.

Segundo Tirkolae *et al* (2019), nesse século XXI, o transporte e a logística são impulsionamento do desenvolvimento econômico visto que impactam nas principais variáveis da economia de um país, como a produção, o emprego, o preço e o custo de vida. Em contrapartida, estatísticas mostra que o consumo de combustível compõe em uma essencial para o aumento dos custos de transporte, onde a sua otimização, através de rotas mais inteligentes criadas por tecnologias de Inteligência Artificial resulta na criação de um sistema de transporte energeticamente eficiente e sustentável.

De acordo com Tao *et al* (2021) o uso dos algoritmos inteligentes baseados em Inteligência Artificial são ferramentas que devem ser implantadas nas rotas de distribuição dinâmicas para permitir a diminuição de tempo, redução de custos resultando em ganhos econômicos e alimentado a economia. Esses algoritmos tendem a minimizar problemas da distribuição capilar de mercadorias nas grandes áreas urbanas, levando em consideração as características encontradas na realidade: janelas de tempo, restrições de capacidade, compatibilidade entre pedidos e veículos,

número máximo de pedidos por veículo, pedidos que dependem de retirada e entrega e não retorno ao depósito.

3.4 Diretrizes e Recomendações para a Implementação Bem-Sucedida de Algoritmos de IA na Otimização de Rotas de Distribuição

A inteligência artificial é a chave para alcançar transformações operacionais persuasivas na maioria das configurações organizacionais contemporâneas. A inteligência artificial (as filosofias das máquinas para pensar, comportar-se e executar iguais ou semelhantes aos humanos).

Com um tópico muito estudado da computação ou da ciência da computação, a Inteligência Artificial é usada para gerar sistemas, algoritmos e programas especializados visto que é principalmente conhecida por suas capacidades de computação e poder, dados e algoritmos genético (DHAMIJA; BAG, 2020). A implantação da Inteligência Artificial em sistemas inteligentes aumenta significativamente a capacidade dos processadores, além de permitir a eficiência, a precisão, a rapidez na tomada de decisão, o transporte autônomo entre outros benefícios.

Logo, o desafio de sistemas mais inteligentes promove a necessidade de profissionais mais especializados bem como o uso equipamentos mais modernos podem ser desafios para algumas empresas, principalmente, pequenas e médias organizações, pois esses recursos além de tempo de desenvolvimento, teste, implantação, ajustes, manutenção etc., também gera custos iniciais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apontam para uma preocupação com relação as rotas de distribuição que resultam em problemas de tempo, custo, e conseqüentemente, em uma prestação de serviço de má qualidade para com o cliente. Nesse contexto, os autores entendem que a aplicação da Inteligência Artificial através dos diversos tópicos como viés algorítmico, redes neurais etc. se torna em uma solução viável na melhoria do processo de rotas de distribuição.

Ao longo do trabalho, foram apresentados trabalhos de aplicação de IA na otimização de rotas de distribuição com exemplos de estudos de autores que

aplicaram algoritmos de IA na otimização de rotas de distribuição, incluindo uma discussão sobre a escolha de algoritmos genéticos.

Além disso, destaque para o Impacto na Sustentabilidade e Eficiência. Os autores também destacam como a IA pode contribuir para a sustentabilidade e a eficiência na distribuição, reduzindo custos e emissões de carbono. Isso demonstra o potencial impacto positivo da IA em problemas do mundo real.

Entretanto, desafios na aplicação da IA também foram descritos. Os artigos abordam os desafios associados à aplicação da IA na otimização de rotas, incluindo problemas logísticos complexos e a necessidade de recursos especializados. Isso reflete uma compreensão realista dos obstáculos enfrentados.

Contudo, a implantação da IA traz benefícios econômicos e operacionais a empresas. Há uma discussão sobre os benefícios econômicos e operacionais obtidos com a implementação de algoritmos de IA, como a redução de custos de transporte e o aumento da eficiência energética. Isso ressalta a importância econômica da IA nesse contexto.

Por último, considerando diretrizes e recomendações: A literatura destaca a importância da IA para promover transformações operacionais em organizações modernas. Entretanto, também reconhece os desafios envolvidos, como a exigência de recursos e custos associados. Nesse sentido, esta seção sugere que uma implementação bem-sucedida da IA demanda um planejamento cuidadoso e investimentos adequados.

Em resumo, os artigos selecionados oferecem uma visão abrangente e bem estruturada sobre a aplicação da IA na otimização de rotas de distribuição. Eles utilizam exemplos concretos, revisão de literatura e discussão crítica para destacar a importância e os desafios dessa abordagem. Além disso, o texto enfatiza o potencial impacto econômico e ambiental positivo da IA nesse contexto.

5 CONCLUSÃO

Em conclusão, este trabalho explorou a aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na otimização de rotas de distribuição, com o objetivo de minimizar os custos operacionais logísticos, melhorar a eficiência das entregas e aprimorar a

eficácia operacional. A distribuição de produtos é um desafio crítico enfrentado por empresas em todo o mundo, com a necessidade de reduzir custos, diminuir o tempo de entrega e aprimorar a eficiência operacional.

A revisão da literatura destacou a importância da IA nesse contexto, com exemplos de estudos que aplicaram algoritmos de IA incluindo algoritmos genéticos e redes neurais, para otimizar rotas de distribuição. Essas abordagens demonstraram resultados significativos na redução de custos logísticos, economia de tempo e melhoria da sustentabilidade ambiental.

No entanto, também foram discutidos desafios, como a complexidade dos problemas logísticos e a necessidade de recursos especializados. Para uma implementação bem-sucedida da IA na otimização de rotas, é fundamental um planejamento cuidadoso e investimentos adequados.

Em suma, a IA oferece oportunidades emocionantes para melhorar a eficiência das operações de distribuição e, ao mesmo tempo, contribuir para a sustentabilidade e economia das empresas. Este estudo destaca a importância de explorar e adotar essas tecnologias para se manter competitivo no cenário de negócios moderno.

Como perspectivas de pesquisa futura, é possível explorar outros tópicos que podem contribuir para um aprimoramento adicional na aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial na otimização de rotas de distribuição, bem como avaliar seu potencial em uma variedade de setores e contextos. Por exemplo:

- **Desenvolvimento de Modelos Híbridos:** Uma pesquisa futura poderia explorar a combinação de diferentes algoritmos de IA, como algoritmos genéticos, algoritmos de otimização e redes neurais, em um modelo híbrido para a otimização de rotas de distribuição. Isso poderia aproveitar as vantagens de diferentes técnicas e melhorar ainda mais os resultados.
- **Integração de Dados em Tempo Real:** Uma área de pesquisa interessante seria a integração de dados em tempo real, como informações de tráfego, condições climáticas e demanda variável, para tornar os modelos de otimização de rotas mais dinâmicos e adaptáveis às mudanças nas condições do mundo real.
- **Aplicação em Cidades Inteligentes:** Além da distribuição de produtos, a pesquisa poderia se expandir para a otimização de rotas em cidades inteligentes,

considerando não apenas a eficiência logística, mas também a minimização do impacto ambiental e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

- **Avaliação da Sustentabilidade:** Além de considerar os benefícios econômicos, a pesquisa futura poderia se concentrar na avaliação mais detalhada do impacto ambiental da otimização de rotas de distribuição usando algoritmos de IA quantificando as reduções de emissões de carbono e o uso eficiente de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNAU, Quim, et al. **On the Use of Learnheuristics in Vehicle Routing Optimization Problems with Dynamic Inputs**. *Algorithms*, v. 11, n. 12, p. 208, 2018.
- BENAVENT, Enrique, et al. **The Probabilistic Pickup-and-Delivery Travelling Salesman Problem**. *Expert Systems with Applications*, v. 121, p. 313–323, 2019.
- CASSETTARI, Lucia, et al. **A Multi-Stage Algorithm for a Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Constraints**. *Algorithms*, v. 11, n. 5, p. 69, 2018.
- DHAMIJA, Pavitra; BAG, Surajit. **Role of Artificial Intelligence in Operations Environment: a Review and Bibliometric Analysis**. *TQM Journal*, v. 32, n. 4, p. 869–896, 2020
- GOMES, David E., et al. **Applying a Genetic Algorithm to a m-TSP: Case Study of a Decision Support System for Optimizing a Beverage Logistics Vehicles Routing Problem**. *Electronics*, v. 10, n. 18, p. 2298, 2021.
- HAMIDUR, Rahman, et al. **Artificial Intelligence-Based Life Cycle Engineering in Industrial Production: A Systematic Literature Review**. *IEEE Access*, v. 10, p. 133001–133015, 2022.
- KLUMPP, Matthias, et al. **Production Logistics and Human-computer Interaction—state-of-the-art, Challenges and Requirements for the Future**. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.105, n. 9, p. 3691-709, 2019.
- MA, Xuan; WANG, Fan. **Retracted: Logistic Distribution Route Optimization Based on RFID and Sensor Technology**. *Wireless Communications and Mobile Computing*, v. 2022, ID 7599539, 7 pages, 2022.
- MOLINA, Jose C., et al. **An ACS-Based Memetic Algorithm for the Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows**. *Expert Systems with Applications*, v. 157, p. 113379, 2019.
- POONTHALIR, G., and R. Nadarajan. **Green Vehicle Routing Problem with Queues**. *Expert Systems with Applications*, v. 138, p. 112823, 2019.
- TAO, Ning, et al. **Disruption Management Decision Model for VRPSDP under Changes of Customer Distribution Demand**. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, v. 12, n. 2, p. 2053–2063, 2021.
- TENG, Su. **Route Planning Method for Cross-Border e-Commerce Logistics of Agricultural Products Based on Recurrent Neural Network**. *Soft Computing*, v. 25, n. 18, p. 12107–12116, 2021.
- TIRKOLAEI, Erfan Babaei, et al. **A Robust Green Traffic-Based Routing Problem for Perishable Products Distribution**. *Computational Intelligence*, v. 36, n. 1, p. 80–101, 2019.

ZHAO, Jun, et al. **Research on Logistics Distribution Route Based on Multi-Objective Sorting Genetic Algorithm**. International Journal on Artificial Intelligence Tools, v. 29, n. 7n08, p. 2040020, 2020.

ZHAO, Guofu. **Application of Swarm Intelligence Optimization Algorithm in Logistics Delivery Path Optimization under the Background of Big Data**. Journal of Function Spaces, v. 2023, p. 1–12, 2023.