



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research
Vol. 12, Issue, 03, pp. 54402-54410, March, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.24065.03.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULO E SUAS VARIANTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Roberto Lopes Batista*¹ and Iracyanne Retto Uhlmann^{1,2}

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental, Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco, nº 1950 - Centro, Manaus - Amazonas, Brasil. CEP: 69020-030

²Departamento de Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade Martha Falcão (FMF). Rua Natal, 300 - Adrianópolis, Manaus - Amazonas, Brasil. CEP: 69057-090

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th January, 2022
Received in revised form
30th January, 2022
Accepted 11th February, 2022
Published online 19th March, 2022

Key Words:

Patents; Brands; Performance; Performance;
Intellectual property Strategy;
Innovation policy.

*Corresponding author:

Roberto Lopes Batista

ABSTRACT

Este estudo aborda uma revisão sistemática da literatura sobre o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) e suas Variantes, construindo um portfólio bibliográfico a respeito do tipo de PRV mais adequado para o serviço de correio. Para esta pesquisa foi adotada a metodologia ProKnow-C, possibilitando a escolha de artigos de forma mais assertiva, rigorosa e específica, eliminando redundâncias e subjetividades, pesquisando artigos nas bases Scopus e Web of Science. O objetivo deste artigo é analisar o estado da arte sobre PRV e suas variantes, e as principais abordagens metodológicas utilizadas, no contexto da logística de distribuição. Foram selecionados um total de 114 artigos alinhados com o tema, demonstrando que existe uma vasta literatura sobre roteirização de veículos. Esta revisão mostra que o algoritmo genético com adaptações é o modelo mais utilizado atualmente para otimizar rotas de coleta e entrega de encomendas.

Copyright © 2022, Roberto Lopes Batista and Iracyanne Retto Uhlmann. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Roberto Lopes Batista and Iracyanne Retto Uhlmann. "Problema de Roteamento de Veículo e suas Variantes: uma Revisão Sistemática de Literatura", *International Journal of Development Research*, 12, (03), 54402-54410.

INTRODUCTION

O advento da indústria 4.0 é resultante de um conjunto de fatores como a implementação da internet das coisas (em inglês: *Internet of Things*, IoT), o crescimento da concorrência internacional, a volatilidade do mercado, a demanda por produtos personalizados e o encurtamento dos ciclos de vida do produto. Com isso houve um aumento do nível de complexidade da cadeia logística, trazendo um novo conceito logístico chamado de logística inteligente, termo traduzido do inglês *smart logistics* (Douaioui *et al.*, 2018). Dentre as principais atividades do serviço logístico de transporte de mercadorias, estão: escolha do modal, programação, roteirização e consolidação da carga. Neste segmento, o Problema de Roteamento de Veículo (PRV), termo que vem do inglês *Vehicle Routing Problem* (VRP), é um dos mais desafiadores no ramo logístico. Sendo o Problema do Caixeiro Viajante, traduzido do inglês *Traveling Salesman Problem* (TSP), um dos casos mais conhecidos e amplamente abordado na literatura, para o qual muitos pesquisadores desenvolveram fórmulas e métodos a fim de encontrar a solução ótima e obter a distância mínima a ser percorrida por um vendedor que precisa visitar vários nós e retornar ao ponto de partida inicial.

Apesar de o PRV possuir objetivo semelhante ao TSP, com veículos substituindo vendedores e o objetivo de obter a soma das distâncias mínimas, existe uma diferença básica, na qual o PRV não pode exceder a capacidade do veículo (Ganesh *et al.*, 2007). A operação de transporte é um componente vital para a gestão da logística, tendo os correios como um dos seus principais operadores na grande maioria dos países. O serviço de correio abrange a entrega de encomendas nacionais e internacionais, que podem ser documentos ou mercadorias. Neste aspecto, o fluxo operacional básico dos correios inicia com a captação de um pacote do cliente, depois, passa pelas etapas de triagem e tratamento até a entrega na última milha. Este serviço prestado pelos correios deve ser executado com rapidez e qualidade (Purnamasari e Santoso, 2018). Com base nas afirmações de Purnamasari e Santoso (2018), em que o TSP não leva em consideração as variáveis de tempo operacional de entrega e de capacidade do veículo, o método mais indicado para os processos de *courier* é o PRV. Um dos primeiros estudos a esse respeito foi o de Dantzig e Ramser (1959), intitulado de "Problema de Despacho de Caminhão", que tinha o objetivo de encontrar a rota mais curta para a distribuição de gasolina para postos de combustíveis, utilizando caminhões. Por isso, esta pesquisa abordará apenas questões referentes ao PRV com o propósito de analisar o estado da arte para o

PRV e suas variantes, e as principais abordagens metodológicas utilizadas, no contexto da logística de distribuição. A pesquisa baseou-se no desenvolvimento e análise estrutural de revisão sistemática de literatura a respeito do Problema de Roteamento de Veículos e variantes, usando a metodologia *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnow-C), desenvolvida por Afonso Souza, S. R. Ensslin e L. Ensslin (2011).

Percepções de Revisões de Literatura Anteriores e Questões de Pesquisa: A partir das revisões de literaturas anteriores é possível encontrar lacunas, questões a serem exploradas e, ainda, obter informações atualizadas e de fontes confiáveis. Neste propósito, foram analisados dez artigos, dentre os quais somente dois eram específicos de revisão sobre o PRV, os quais têm suas informações resumidas no Quadro.

Quadro 1. Resumo dos artigos de revisões de literaturas anteriores

Artigo	Título	Objetivo	Conclusões	Classificações	Oportunidades
Ganesh et al. (2007)	<i>Variants, solution approaches and applications for Vehicle Routing Problems in supply chain: agile framework and comprehensive review</i>	Desenvolver uma estrutura de revisão abrangente em várias variantes e abordagens de solução de PRV.	Os procedimentos heurísticos são uma alternativa para obter soluções quase ótimas dentro de um tempo computacional razoável.	Os PRV's são classificados em: Relação ao depósito: a) Depósito único; b) Depósito múltiplo; Restrições relacionadas ao veículo: a) Capacidade homogênea do veículo; b) Capacidade heterogênea do veículo; c) PRV de frota fixa heterogênea; d) PRV de frota mista. Tipo de operações: 1) coleta pura ou entrega pura; 2) entrega antes da coleta; 3) coleta antes da entrega; 4) coleta e entrega combinadas. Características do problema: PRV's determinísticos; PRV's estocásticos; Carga constante e tempo variável, carga variável e tempo constante e carga variável e tempo variável. As principais abordagens de solução para PRV, são: Modelagem matemática, heurísticas, meta-heurísticas, abordagens interativas e combinação das opções acima.	Necessidade de desenvolver soluções para resolver problemas de roteamento de veículos com casos práticos reais.
Purnamasari e Santoso (2018)	<i>Vehicle Routing Problem (VRP) for courier service: A review</i>	Descobrir que tipo de PRV é usado para o serviço de correio, sendo referencial para pesquisas futuras.	Os tipos de PRV's mais usados para os serviços de correios são PRV Dinâmico (<i>Dynamic VRP – DVRP</i>) e PRV com janela de tempo (<i>VRP with time Windows – VRPTW</i>) ou os dois juntos, PRV dinâmico com janela de tempo (<i>dynamic VRP with time window – DVRPTW</i>).	Vários PRV's foram desenvolvidos no período de 1959 a 2014, de acordo com a seguinte classificação: <i>Capacitated VRP (CVRP)</i> , <i>Time dependent VRP (TDVRP)</i> , <i>Pickup and delivery problem VRP (PDPVRP)</i> , <i>Multidepot VRP (MDVRP)</i> , <i>Stochastic VRP (SVRP)</i> , <i>Location routing problem (LRPVRP)</i> , <i>Periodic VRP (PVRP)</i> , <i>Dynamic VRP (DVRP)</i> , <i>VRP with time windows (VRPTW)</i> , <i>Fleetsize and mix VRP (FSMVRP)</i> , <i>Multi-compartment VRP (MCVRP)</i> , <i>Split delivery VRP (SDVRP)</i> , <i>Fuzzy VRP (FVRP)</i> , <i>Open VRP (OVRP)</i> , <i>VRP with loading constraint (VRPLC)</i> , <i>echelon VRP (MEVRP)</i> , <i>Green VRP (GVRP)</i> e <i>VRP in reverse logistics (VRPRL)</i> .	Os dados de origem foram coletados apenas de periódicos científicos gratuitos do Google Acadêmico, podendo ser utilizadas outras bases de pesquisa científica.

Fonte: Autores, (2022).

Embora os artigos de revisão de Ganesh et al. (2007) apresentem um vasto resumo de abordagens metodológicas e diversas formas de aplicações encontradas na literatura a respeito de PRV e suas variantes, trata-se de um artigo publicado há 14 anos, indicando a necessidade de uma revisão mais atualizada em relação as novas tendências e casos práticos atuais, haja vista que o referencial teórico utilizado se refere a trabalhos publicados entre 1964 e 2006. Também não foi possível encontrar nesta revisão os principais modais utilizados no serviço de coleta e entrega. O artigo de revisão apresentado por Purnamasari e Santoso (2018) realizou uma abordagem a respeito dos tipos de PRV's usados para o serviço de correio. Este estudo mostra a classificação dos tipos de PRV's, no período de 1959 a 2014, com o objetivo de resolver o problema da rota mais curta, a fim de minimizar os custos de transporte. Foram coletados dados de periódicos de 2000 a 2018 com base no ano de publicação, abrindo caminho para a continuidade do estudo, a fim de verificar a evolução do tema até os dias atuais. Adicionalmente, em suas recomendações para pesquisas futuras, os autores sugeriram acrescentar estudos de outras fontes de consulta, além das disponíveis em bases de acesso gratuito, como periódicos científicos pagos, os

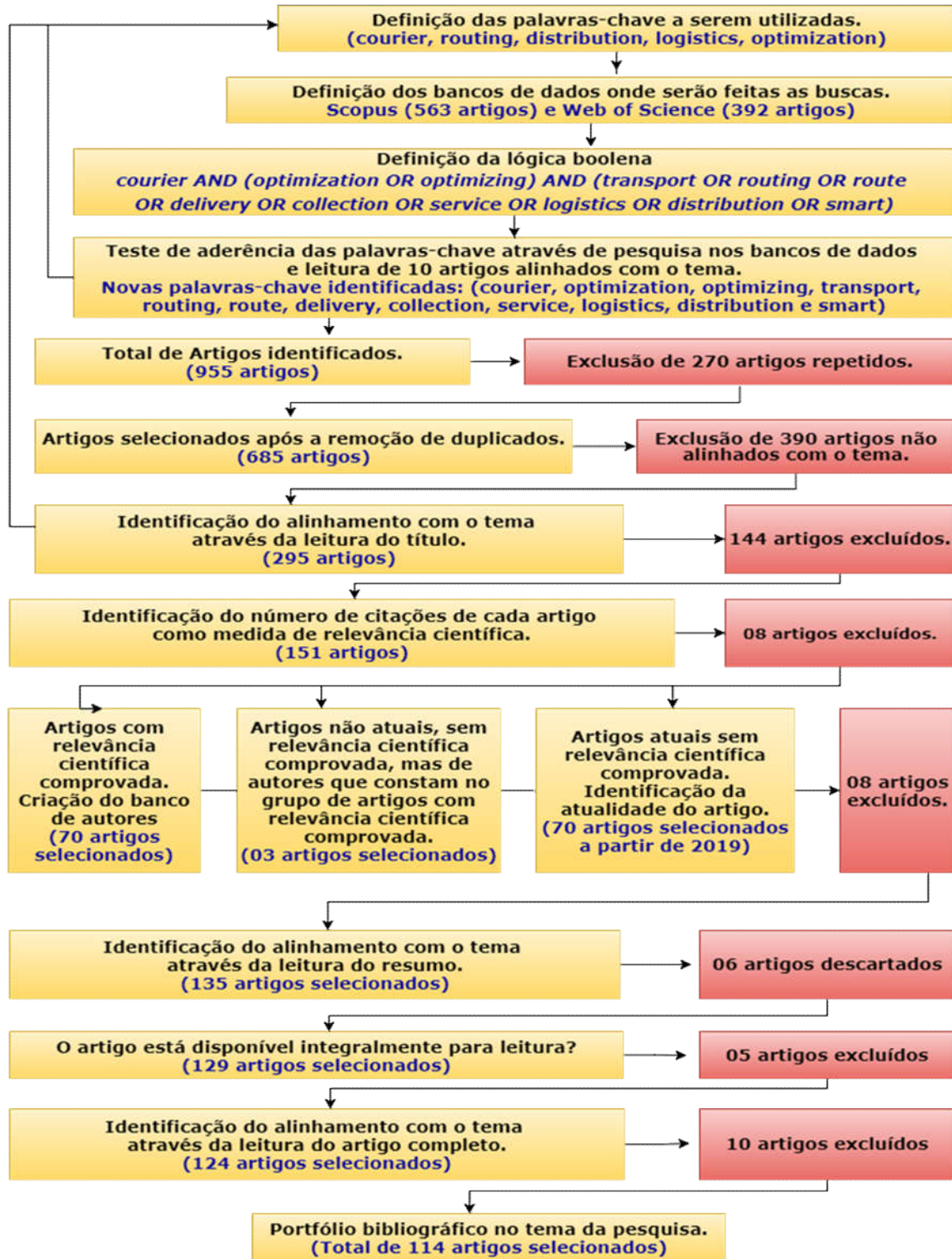
quais podem obter contribuições relevantes para análise. Em sua pesquisa foram utilizadas revistas científicas com artigos de valor não comercial disponibilizados no Google Acadêmico pelas seguintes editoras: Elsevier, Springer Link, Taylor e Francis, IEEE, Informa, Growing Science e Witpress. Também não foram citados exemplos de aplicações práticas no referencial teórico utilizado, dessa forma, não foi possível identificar no artigo de revisão analisado se as categorias das soluções de PRV's descritas são decorrentes de uma solução prática ou teórica, muito menos se a abordagem metodológica é fruto de estudo de caso, modelagem e simulação ou pesquisa-ação. Face a necessidade de um estudo mais específico a respeito de roteirização, este artigo apresenta uma nova revisão sistemática de literatura, abrangendo as conceituadas bases de pesquisas Web of Science e Scopus, buscando responder as seguintes perguntas de pesquisa:

- Atualmente, quais são as ferramentas usadas para a otimização de rotas?
- O que tem sido estudado em roteirização via courier com casos práticos reais?
- Quais são as principais tendências para a roteirização por courier?
- Quais são os tipos de modais mais utilizados nos serviços de coleta e entrega?
- Quais são as abordagens metodológicas que têm sido aplicadas nas soluções de PRV?

Procedimentos de Seleção do Portfólio Bibliográfico: Para seleção do portfólio de artigos adotou-se a metodologia de pesquisa ProKnow-C, desenvolvida pelo Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (LABMCDA), descrita por Afonso et al. (2011), o resumo com os resultados de cada etapa pode ser visualizado na Figura 1. Inicialmente foi realizada busca exploratória na base de dados do Science Direct seguindo a lógica booleana: (*routing OR distribution OR logistics OR optimization*) AND courier.

Então foram selecionados 10 artigos publicados nos últimos cinco anos para identificação de lacunas e oportunidades de pesquisa e, assim definir o escopo do estudo. Em seguida, iniciando a revisão sistemática de literatura, foram definidas as palavras-chave e a lógica booleana para busca nas bases Scopus e Web of Science: *courier AND (optimization OR optimizing) AND (transport OR routing OR route OR delivery OR collection OR service OR logistics OR distribution OR smart)*.

por um processo de filtragem no qual foram excluídos 270 artigos repetidos. Os artigos que compõem a base do referencial teórico utilizado neste estudo, foram selecionados mediante a definição de critérios de inclusão e exclusão, conforme descrito no Quadro 2. Em seguida, fez-se a leitura dos títulos dos artigos, sendo selecionados 295 e descartados 390 por não estarem alinhados com o tema.



Fonte: Adaptado de Afonso *et al.* (2011).

Figura 1. Resumo do processo de seleção do portfólio bibliográfico seguindo o método ProKnow-C

As palavras-chave foram confirmadas através de um teste de aderência com o objetivo de certificar quais foram as palavras mais adequadas e a melhor combinação possível entre elas. Nesta primeira etapa, obteve-se um banco de dados com 955 artigos que passaram

Ainda na etapa de filtragem, verificou-se a relevância científica de 151 artigos selecionados, àqueles que representavam 85% das citações no Google Acadêmico. Após essa etapa, restaram 144 artigos, dentre os quais 70 destes foram considerados com relevância

científica, sendo feita a leitura do resumo para se certificar que esses artigos estavam realmente alinhados com o tema da pesquisa. Depois disto, foi criado um banco com uma lista de autores a partir dessa seleção. Em relação ao grupo de artigos nos quais a relevância científica não pode ser confirmada, verificou-se a data de publicação, sendo selecionados os periódicos escritos a partir de 2019 para a leitura do resumo. Quanto aos artigos mais antigos fez-se uma checagem para saber se os autores faziam parte do banco de autores com artigos reconhecidos cientificamente; nesse caso, foram encontrados somente 3 artigos nos quais os autores constavam na lista. Para os demais artigos, foram lidos 70 resumos, sendo descartados 8 artigos que não estavam alinhados com o assunto dessa pesquisa. Finalmente, a formação do portfólio bibliográfico consistiu na junção dos artigos com relevância científica confirmada com os artigos atuais e àqueles cujos os autores fazem parte da seleção composta pelo banco de autores, resultando o total de 135 artigos selecionados. Ainda foi verificado a questão da disponibilidade, sendo excluídos nesse quesito 5 artigos que não foram encontrados ou não estavam mais disponíveis para consulta. Então, os 124 artigos restantes foram lidos integralmente, sendo descartados 10 artigos que não estavam alinhados com o tema da pesquisa. Ao final desse processo, restaram 114 artigos selecionados que foram incorporados ao portfólio bibliográfico deste estudo sobre roteirização, conforme ilustrado na Figura 1.

RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

Neste capítulo, são apresentados os resultados com base no portfólio bibliográfico em relação as seguintes questões de pesquisa:

Atualmente, quais são as ferramentas usadas para a otimização de rotas?

Considerando estudos publicados nos últimos 5 anos, 45 artigos apontam a predominância da utilização de algoritmos genéticos para a solução de PRV, conforme ilustrado no Quadro 3. Os artigos com soluções heurísticas continuam superando as determinísticas, principalmente, devido os métodos exatos serem muito caros, difíceis de implementar por necessitarem de rapidez no tempo de resposta em ambiente dinâmico, o que exige um aumento do esforço computacional, por isso, os algoritmos metaheurísticos têm se tornado uma alternativa viável (Janssens *et al.*, 2015). Também se observa a combinação de métodos com o propósito de obter um melhor resultado (D. Chen *et al.*, 2020; Guerrazzi, 2020; Niels *et al.*, 2018; Peng *et al.*, 2019; Turská *et al.*, 2019; Yueyue Chen *et al.*, 2019, Yujie Chen *et al.*, 2019).

Quadro 2. Critérios de inclusão e exclusão de artigos

Inclusão/Exclusão	Critério	Explicação dos critérios
Inclusão	Fortemente relacionado com o tema (FR)	A pesquisa está relacionada à roteirização, tendências, ferramentas e inovações em empresas de <i>courier</i> , apresentando aplicações práticas na distribuição de encomendas. Em linhas gerais, as publicações tratam da logística de distribuição utilizando principalmente os modais: aéreo e rodoviário. Bem como, a entrega na última milha a pé, com bicicleta e/ou de forma motorizada.
Exclusão	Artigo incompleto (AI)	Alguns artigos estavam sem o texto completo disponível para ser avaliado, continham apenas o título, resumo e palavras-chave. Outros periódicos não foram encontrados ou não estavam acessíveis.
	Não relacionado com o tema (NR)	Artigo não está alinhado com o tema de roteirização, o título indica outro assunto que não está relacionado com <i>courier</i> . Artigo trata de assuntos específicos como transporte celular; fibra, vírus, logística de material biológico, dentre outros.
	Vagamente relacionado com o tema (VR)	Alguns artigos não abordam questões de otimização de rota e, sim, outros problemas da cadeia de suprimentos.

Fonte: Adaptado de Uhlmann e Frazzon (2018).

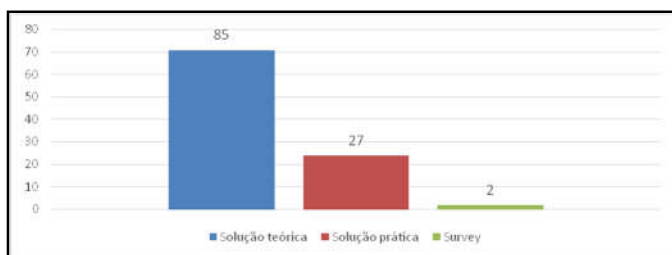
Quadro 3. Tipos de PRV pesquisados no período de 2018 a 2021

Tipo PRV	QTD	Referências
<i>Algorithm Genetic (GA); Genetic Lighting Algorithm (MAP-Elites); Adaptive Elitist Genetic Algorithm with Improved Neighbor Routing Initialization (NR-EGA); Hybrid Genetic Algorithm (HGA)</i>	9	Costa <i>et al.</i> (2018); Kukartsev <i>et al.</i> (2020); M. Liu <i>et al.</i> (2019); Muslu e Doğan (2020); Peng <i>et al.</i> (2019); Syauqi e Zagloel (2020); Urquhart <i>et al.</i> (2019); Zhao <i>et al.</i> (2019); Zhu <i>et al.</i> (2021).
<i>Two-echelon Location-routing Problem (2E-LRP); Binary Integer Programming (BIP); Mixed Integer Linear Programming (MILP); Mixed Integer Linear Programming Auction-based Heuristic; Algorithm Branch and cut (B&C)</i>	5	Bruck <i>et al.</i> (2019); Mirhedayatian <i>et al.</i> (2021); Sitek <i>et al.</i> (2021); Steever <i>et al.</i> (2019).
<i>Tabu search (TS); Tabu Search (TS) + Adaptive large neighbourhood search (ALNS); Two-level local search heuristic</i>	5	Giovanni <i>et al.</i> (2019); Laganà <i>et al.</i> (2021); McLeod <i>et al.</i> (2020) Niels <i>et al.</i> (2018); Tu <i>et al.</i> (2019)
<i>Efficient Approximation Algorithm; Nearest Neighbor Method; Minimum Spanning Tree Method; Fletcher-Clark's Method; Closest Insertion Method</i>	2	Turská <i>et al.</i> (2019); Zeng <i>et al.</i> (2019);
<i>Algorithm Cluster-first route-second (CFRS); Heuristic cluster-first route-second (CFRS) + Metaheuristic Tabu Search (TS); Algorithm clustering mini-route</i>	2	Bretin <i>et al.</i> (2021); Guerrazzi (2020); Zhao <i>et al.</i> (2020)
Outros	22	Abbatecola, Fanti, Pedroncelli, e Ukovich (2018); Chen <i>et al.</i> (2020); Yueyue Chen <i>et al.</i> (2019); Yujie Chen <i>et al.</i> (2019b); Dupljanin <i>et al.</i> (2019); Gdowska <i>et al.</i> (2018); Kritiyakierne e Laesanklang (2020); Lee <i>et al.</i> (2019); Lee <i>et al.</i> (2020); Lin <i>et al.</i> (2020); Mohdet <i>et al.</i> (2019); Pincay <i>et al.</i> (2020a); Pincay <i>et al.</i> (2020b); Restrepo <i>et al.</i> (2019); Rosanti <i>et al.</i> (2019); Seakhoa-King <i>et al.</i> (2019); Tebaldi <i>et al.</i> (2020); Woiceshyn <i>et al.</i> (2018); Yildiz (2021a); Yildiz (2021b); Yildiz e Savelsbergh (2019); Zhang e Thompson (2019); Zhou e Lin (2019).

Fonte: Autores, (2022).

O que tem sido estudado em roteirização via courier com casos práticos reais?

As pesquisas mostram que a maioria dos estudos tem o foco concentrado em soluções teóricas, sendo encontrados 85 artigos; enquanto somente 32% do portfólio bibliográfico está voltado para aplicações reais, ou seja, 27 artigos apresentavam soluções práticas (Gráfico 1 da Figura 2). A seguir são descritas algumas aplicações práticas encontradas nas pesquisas: Alguns autores desenvolveram um modelo de roteamento de veículo de localização central com múltiplos depósitos para planejamento de rede para o serviço de entrega e coleta de encomendas, considerando veículos com múltiplas capacidades, janelas de tempo associadas a depósitos e clientes (Ceselli *et al.*, 2009; Wasner e Zpfel, 2004). Uma versão adaptada do *Water Wave Optimization* (WWO) para o problema de roteamento de veículos capacitados foi aplicada por Tebaldi *et al.* (2020) em um caso real, usando dados de sonda.



Fonte: Autores, (2022).

Figura 1. Gráfico da Classificação do conteúdo dos artigos com base na categoria

Outros pesquisadores fizeram integração entre o Sistema de Informação Geográfica (*Geographic Information System - GIS*), o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System - GPS*), a Tecnologia *Wireless* e o Sistema de Transporte Inteligente (*Intelligent Transport System - ITS*) com o objetivo de otimizar o serviço de coleta e entrega, aumentando a produtividade através da formação de zonas geográficas para determinação de tempos, distâncias e rotas preferenciais e utilizando veículos dinâmicos (Button *et al.*, 2001; Jung *et al.*, 2006; Moreri *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 1999). Já Mohd *et al.* (2019) optou por desenvolver um framework de aplicativo *android* para um sistema de entrega de encomendas mais inteligente, combinando o uso das tecnologias de comunicação atuais como GPS, Waze, ferramentas *android* e serviços em nuvem. Também foram desenvolvidos algoritmos de otimização que calculam o número correto de veículos, as rotas e os horários de coleta mais adequados com aplicações em serviços bancários de encaminhamento de cheques (Hill *et al.* 1988) e otimização de custos de transportes para serviços de correios (Metters, 1996). Além da redução de custos operacionais, Lee *et al.* (2019) acrescentaram estudos sobre os efeitos resultantes em termos de redução das emissões gerais de carbono ao substituírem caminhões por bicicletas elétricas nos serviços de correios. Nessa direção também seguiu Zhao *et al.* (2019) tendo como alvo o modal metroviário, utilizado para o transporte de linha de serviços de entrega expressa dentro da cidade para reduzir custos, melhorar a eficiência, aumentar a satisfação do cliente e aliviar o congestionamento das estradas e a poluição do ar. Ainda, outras práticas foram consideradas como a implementação da matriz de economia para resolver o problema do roteamento de veículos abertos capacitados e determinar a rota de distribuição, a fim de se obter um custo de distribuição mínimo, considerando a capacidade do veículo, o tempo de serviço e o *layout* das mercadorias no veículo (Lipowezky *et al.*, 2018; Rosanti *et al.*, 2019).

Houve práticas que analisaram a qualidade dos processos de um operador de correios, avaliando a eficácia em relação aos prazos de entrega e eficiência de rota para um correio expresso aéreo (Karcz e Slusarczyk, 2016; Lin *et al.*, 2010). Van Lopik *et al.* (2020) conseguiu melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos otimizando o serviço de suporte do correio de entrega através de

dispositivos de navegação baseados nos moldes da indústria 4.0. Já Liu *et al.* (2019) implantou um sistema de planejamento da frota de drones em substituição ao serviço tradicional com o objetivo de reduzir custos e proteger o meio ambiente. Nesse mesmo propósito, McLeod *et al.* (2020) utilizou entregadores com bicicletas para entrega na última milha e conseguiu reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) em 45% e a distância de condução em 78%, resultando numa economia global de custos para a transportadora na faixa de 34 a 39%. Também, utilizando o mesmo modal, Lin *et al.* (2020) implementaram um experimento com ciclistas na Holanda para otimizar o desempenho e intrusividade de sistemas de *crowd shipping*, que é um modelo de entrega de produto por pessoas comuns, utilizando transportes diversos com o objetivo de minimizar os custos e o tempo de entrega das empresas de logística (Pontes *et al.*, 2020). Dentre as diversas formas de aplicação, alguns pesquisadores implementaram algoritmos de otimização de rota de transportadora postal para a solução do problema clássico do caixeiro viajante. Nessa linha, Turská *et al.* (2019) trabalhou com uma coleta e entrega de envios postais com peso até 2kg. Enquanto que Abbatecola *et al.* (2018) optou por um método heurístico distribuído baseado em *cluster* para resolver os problemas reais dos serviços de coleta em ambientes estáticos e dinâmicos, Zhao *et al.* (2020) utilizaram um sistema de apoio a decisão para resolver o PRV incorporando a experiência do motorista, os dados históricos da empresa e os dados do Google Maps. Por sua vez, Restrepo *et al.* (2019) trabalharam com um plano tático robusto para coletas domiciliares assistidas, visando a otimização de atribuição de carga. Outro importante campo prático de atuação foi abordado por Pincay *et al.* (2020b) que aplicaram um método de particionamento de espaço para identificar padrões de movimento em rota com o objetivo de solucionar os complexos problemas de generalização das condições de tráfego, a partir de dados de sondagem de baixa amostragem derivados de operações de negócios de cinco meses de operação de um veículo do Correio Suíço. Uma importante contribuição foi dada por Krityakierne e Laesanklang (2020) para o ajuste heurístico de rota para tempo de trabalho equilibrado em logística urbana com experiência do motorista e informações de trânsito dependentes do tempo.

Quais são as principais tendências para a roteirização por courier?

Para responder essa questão foram selecionados 28 artigos dos últimos dois anos (2020-2021), dos quais somente 22 artigos continham recomendações futuras. Sendo que um caso não se tratava de serviços de Correios e, sim, de entrega de alimentos sob demanda utilizando o modelo de *crowd sourcing*, termo originário do inglês *crowd* – multidão e *outsourcing* – terceirização (Branquinho, 2016). Novos estudos têm se concentrado na introdução de outros objetivos com novas funções e restrições em comprimento da rota, número de pontos na rota, priorização de clientes ou remessas, prazos de entrega para o problema modelado. Diversos trabalhos envolvendo a versão modificada da abordagem híbrida proprietária com aplicações utilizando Controlador Lógico Programável (CLP), termo traduzido do inglês *Programmable Logic Controller* (PLC), e Algoritmo Genético (*Genetic Algorithm - GA*) têm avançado e os resultados são muito promissores, pesquisas adicionais sobre modificação e desenvolvimento estão em andamento, principalmente, com aplicações utilizando GA (Sitek *et al.*, 2021). Alguns pesquisadores fizeram experimentos usando algoritmo genético elitista para o problema de roteamento de veículos elétricos com modelo de bateria dinâmica e janela de tempo (Zhu *et al.*, 2021). Há apontamentos sobre a necessidade de testar combinação entre heurísticas e abordagens exatas fornecidas na literatura (Mirhedayatian *et al.*, 2021). Existem estudos potenciais de aplicação de técnica de pesquisa GPS usando sensores inteligentes para coletar dados diários de viagens de veículos, incluindo rotas, tempos de permanência de transportadoras de carga no centro da cidade, soluções de problemas de roteamento de localização (*location routing problems - LRP*) para melhorar a eficiência da entrega (Aljohani e Thompson, 2020). Tem sido observado, importantes avanços tecnológicos na área de veículos de entrega autônomos, internet das coisas, *blockchain* e robótica de armazenamento (Hosoda e Irohara, 2020). Outros autores desenvolveram plataformas de Tecnologia da Informação (TI) para

dar mais eficiência ao serviço de roteamento de veículos dos correios com a redução de tempo de entrega e custos, bem como a melhoria da qualidade do ar, além de implementação de técnicas para a solução do problema de coleta e entrega intermodais (Dragomir e Doerner, 2020; Guerrazzi, 2020). Também foram realizadas análises através de dados de sonda para descobrir padrões de movimento como paradas e limites de velocidades em operações de *courier* (Pincay et al., 2020b).

Uma forte tendência nos dias atuais e que teve um salto com a pandemia foi o modelo de economia compartilhada com a entrega de encomenda em conjunto com o transporte de passageiros (Yueyue Chen et al., 2019). Outra possibilidade seria um serviço de entrega com distribuição sem contato físico entre entregador e cliente devido restrições a ambientes fechados e contágio de pessoas com comorbidades (D. Chen et al., 2020). Com as medidas de restrições impostas pelas autoridades muitas pessoas recorreram aos serviços de *delivery* que está desafiando as empresas a se adequarem a essa nova realidade que exige soluções eficazes para lidar com demandas em larga escala, com janelas de tempo e com baixa densidade que vêm crescendo exponencialmente nos serviços postais (Bretin et al., 2021). Nessa direção têm se destacado os sistemas de *crowdshipping* que estão recebendo cada vez mais atenção na indústria e academia conforme afirmam Lin et al., (2020). Tem sido observado um interesse dos pesquisadores sobre desenvolvimento de algoritmos de simulação-otimização para resolver problemas de projetos de rede, determinar localizações, estimar e reduzir custos, otimizar processos em tempo real, que lidam com tomada de decisão sob várias restrições de capacidade (Wang et al., 2020; Yildiz, 2021a). Outros estudos de aprimoramento de linguagem de programação têm sido realizados com o objetivo de reduzir o número médio de interações e melhorar o tempo computacional que ainda é um grande desafio para o processo de roteirização (Tebaldi et al., 2020). Outra forte tendência em relação aos serviços de transporte de mercadorias são as questões de impacto ambiental por conta do elevado consumo de combustível fóssil e, conseqüentemente, das emissões de CO₂ na atmosfera (Lee et al., 2020; Yildiz, 2021b). Neste aspecto, também foi apontado a necessidade de investigar melhores sequências de roteamento em tempo real com a inclusão das condições de tráfego (Krityakieme e Laesanklang, 2020; Zhao et al., 2020). Para Martinez-Sykora et al. (2020), as condições de tráfego dentro das áreas urbanas apresentam um grau de incerteza que afeta os tempos de direção, enquanto há muito pouca incerteza associada aos tempos de caminhada.

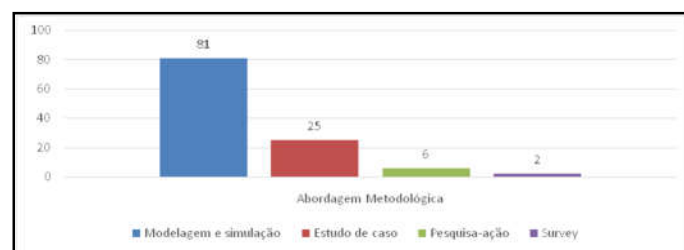
Quais são os tipos de modais mais utilizados nos serviços de coleta e entrega?

Neste estudo, dentre os modais mais utilizados, destacou-se o rodoviário presente em 91% de um universo de 105 artigos que descreveram estudos de otimização voltados para os sistemas: rodoviário, aeroviário, metroviário e ferroviário. Sendo que o modal hidroviário foi o único não encontrado no portfólio de artigos selecionados com o tema de roteirização. O que mostra uma escassez de trabalhos científicos com foco nesse campo de atuação e uma grande oportunidade de pesquisa devido a existências de grandes bacias hidrográficas que podem se constituir numa alternativa economicamente viável para os serviços de *courier*. Em relação ao modal rodoviário, cerca de 74 artigos relataram estudos com a utilização predominante de veículos automotivos (Bretin et al., 2021; Aljohani e Thompson, 2020; D. Chen et al., 2020; Tebaldi et al., 2020) e 9 artigos abordaram o uso de motocicletas para serviços de roteirização (Bruck et al., 2019; Lin et al., 2020; McLeod et al., 2020). Para Zhu et al., (2021) que realizaram estudos com veículos elétricos, essa é uma importante alternativa de utilização de energia limpa para a proteção do meio ambiente. Seguindo essa mesma tendência, 3 artigos utilizaram bicicletas elétricas e até *scooters* para realizar entrega de encomendas (Lee et al., 2019; Lipoweky et al., 2018; Urquhart et al., 2019). Para a entrega de última milha, 15 artigos relatam que as rotas de entrega ainda são feitas por veículos não motorizados, ou seja, as percorridas são a pé ou em bicicletas (B. Yildiz, 2021b; Turská et al., 2019; Martinez-Sykora et al., 2020; Urquhart et al., 2019; Zhang e Thompson, 2019; Van Lopik et al.,

2020; Restrepo et al., 2019; Dupljanin et al., 2019; TU et al., 2019; Niels et al., 2018; Zhang et al., 2016; Irnich, 2008; Lin, 2011).

Quais são as abordagens metodológicas que foram aplicadas nas soluções de PRV?

Dentre as principais abordagens encontradas na literatura (Gráfico 2), 81 pesquisas recorreram a softwares de modelagem e simulação para a realização de testes, representando 71% do portfólio bibliográfico.



Fonte: Autores, (2022).

Figura 2. Gráfico da classificação do conteúdo dos artigos com base na abordagem metodológica

Os algoritmos de otimização identificados nesta revisão sistemática foram implementados através de diversas linguagens de programação, dentre as quais, destacam-se respectivamente, as linguagens de JAVA, C++ e Python. Para a realização de testes e validação dos processos de otimização nos ambientes de modelagem e simulação, os softwares mais utilizados são, respectivamente, o IBM ILOG CPLEX e o MATLAB, além do uso de API do Google Maps. No que se refere a execução desses algoritmos, as soluções desenvolvidas foram predominantemente executadas em processadores Intel, variando de 1 a 7 núcleos, com memória variando de 256 MB a 128 GB, e velocidade entre 400 MHz e 3,60 GHz.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa é resultado de uma revisão sistemática de literatura que analisou o estado da arte para o PRV e suas variações, e as principais abordagens metodológicas utilizadas, no contexto da logística de distribuição. No decorrer do estudo, cinco questões de pesquisa foram respondidas, as respostas estão sintetizadas a seguir:

- Atualmente, os estudos com algoritmo genético demonstram predominância e forte tendência de combinação de métodos heurísticos, metaheurísticos e determinísticos em busca de uma melhor eficiência computacional e melhor resultado para otimização de rotas;
- Estudos com casos práticos reais ainda são minoria. Dentre os casos abordados, houve uma preocupação em reduzir a rota de coleta e entrega, redução de custos e tempo de entrega, além de minimizar os impactos ambientais provocados pela atividade de roteirização;
- As pesquisas apontam o surgimento de novos modelos de negócios com entrega de encomendas compartilhadas, com transporte de passageiros, com utilização de plataformas ou aplicativos de entrega, ampliação dos serviços de *delivery* em larga escala, decorrentes do crescimento do comércio eletrônico;
- O sistema rodoviário associado com o uso de veículos automotivos é o serviço com maior predominância nos estudos sobre roteirização para coleta e entrega de encomendas, tendo sido identificada oportunidade de pesquisa em relação ao modal hidroviário;
- Observou-se a preocupação em utilizar ferramentas de simulação confiáveis e validadas cientificamente para respaldar os métodos de otimização, principalmente devido à dificuldade de implementação de casos práticos reais, seja pela restrição de acesso devido ao sigilo industrial ou pelo risco que envolve uma simulação em um ambiente real.

Com base nas respostas às perguntas de pesquisa deste artigo, verifica-se que, apesar do tema roteirização já ter sido amplamente debatido na literatura, há oportunidades para pesquisas futuras, dentre as quais podemos destacar a necessidade de mais estudos baseados em casos práticos, principalmente no segmento da indústria 4.0, incluindo desenvolvimento de novos modelos de otimização que considerem as restrições de tempo, distância, capacidade e utilização de mais de um tipo de veículo, permitindo a simulação de um processo semelhante ao que ocorre na vida real. Outra questão de grande relevância a ser explorada é a necessidade de inclusão do modal hidroviário nos estudos sobre otimização.

Agradecimentos: Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) pelo apoio a esta pesquisa e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPGEPSA).

REFERENCES

- Abbatecola, L., Fanti, M. P., Pedroncelli, G., Ukovich, W. 2018. A distributed cluster-based approach for pick-up services. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(2), 960-971. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2879875>.
- Afonso, M. H., Souza, J. D., Ensslin, S. R., Ensslin, L. 2011. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5(2), 47-62. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v5i2.424>.
- Aljohani, K., Thompson, R. G. 2020. An examination of last mile delivery practices of freight carriers servicing business receivers in inner-city areas. *Sustainability*, 12(7), 2837. <https://doi.org/10.3390/su12072837>.
- Branquinho, C. L. D. S. 2016. Crowdsourcing: uma forma de inovação aberta. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2016.
- Bretin, A., Desaulniers, G., Rousseau, L. M. 2021. The traveling salesman problem with time windows in postal services. *Journal of the Operational Research Society*, 72(2), 383-397. <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1678403>.
- Bruck, B. P., Cruz, F., Iori, M., Subramanian, A. 2019. The static bike sharing rebalancing problem with forbidden temporary operations. *Transportation science*, 53(3), 882-896. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0859>.
- Button, K., Doyle, E., Stough, R. 2001. Intelligent transport systems in commercial fleet management: a study of short term economic benefits. *Transportation Planning and Technology*, 24(2), 155-170. <http://dx.doi.org/10.1080/03081060108717665>.
- Chen, D., Pan, S., Chen, Q., Liu, J. 2020. Vehicle routing problem of contactless joint distribution service during COVID-19 pandemic. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trip.2020.100233>.
- Chen, Yueyue, Guo, D., Xu, M., Tang, G., Zhou, T., Ren, B. 2019. PPTaxi: Non-Stop Package Delivery via Multi-Hop Ridesharing. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 19(11), 2684-2698. <https://doi.org/10.1109/TMC.2019.2928808>.
- Chen, Yujie, Qian, Y., Yao, Y., Wu, Z., Li, R., Zhou, Y., ... Xu, Y. 2019. Can sophisticated dispatching strategy acquired by reinforcement learning? a case study in dynamic courier dispatching system. *arXiv preprint arXiv:1903.02716*.
- Costa, P. R. D. O., Mauceri, S., Carroll, P., Pallonetto, F. 2018. A genetic algorithm for a green vehicle routing problem. *Electronic notes in discrete mathematics*, 64, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.01.008>.
- Dantzig, G. B., Ramser, J. H. 1959. The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>.
- Douaioui, K., Fri, M., Mabrouk, C. 2018, April. The interaction between industry 4.0 and smart logistics: concepts and perspectives. In 2018 international colloquium on logistics and supply chain management (LOGISTIQUE) (pp. 128-132). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUE.2018.8428300>.
- Dragomir, A. G., Doerner, K. F. 2020. Solution techniques for the inter-modal pickup and delivery problem in two regions. *Computers & Operations Research*, 113, 104808. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.104808>.
- Dupljanin, D., Mirkovic, M., Dumnic, S., Culibrk, D., Milisavljevic, S., Sarac, D. 2019. Urban Crowdsourced Last Mile Delivery: mode of transport effects on fleet performance. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(3), 441-452. [http://dx.doi.org/10.2507/IJSIMM18\(3\)481](http://dx.doi.org/10.2507/IJSIMM18(3)481).
- Ganesh, K., Nallathambi, A. S., Narendran, T. T. 2007. Variants, solution approaches and applications for vehicle routing problems in supply chain: agile framework and comprehensive review. *International Journal of Agile Systems and Management*, 2(1), 50-75.
- Gdowska, K., Viana, A., Pedroso, J. P. 2018. Stochastic last-mile delivery with crowdshipping. *Transportation research procedia*, 30, 90-100.
- Giovanni, L., Gastaldon, N., Sottovia, F. 2019. A two-level local search heuristic for pickup and delivery problems in express freight trucking. *Networks*, 74(4), 333-350. <https://doi.org/10.1002/net.21917>.
- Guerrazzi, E. 2020. Last mile logistics in smart cities: An IT platform for vehicle sharing and routing. In *Exploring Digital Ecosystems* (pp. 251-260). Springer, Cham.
- Hill, A. V., Mabert, V. A., Montgomery, D. W. 1988. A decision support system for the courier vehicle scheduling problem. *Omega*, 16(4), 333-345.
- Hosoda, J., Irohara, T. 2020. Location routing problem with delivery modes. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 36(3), 370-384.
- Irnich, S. 2008. Solution of real-world postman problems. *European journal of operational research*, 190(1), 52-67. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.002>.
- Janssens, J., Van den Bergh, J., Sörensen, K., Cattrysse, D. (2015). Multi-objective microzone-based vehicle routing for courier companies: From tactical to operational planning. *European Journal of Operational Research*, 242(1), 222-231. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.09.026>.
- Jung, H., Lee, K., Chun, W. 2006. Integration of GIS, GPS, and optimization technologies for the effective control of parcel delivery service. *Computers & Industrial Engineering*, 51(1), 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.07.007>.
- Karcz, J., Slusarczyk, B. 2016. Improvements in the quality of courier delivery. *International Journal for Quality Research*, 10(2), 355.
- Krityakierne, T., Laesanklang, W. 2020. Heuristic Route Adjustment for Balanced Working Time in Urban Logistics with Driver Experience and Time-Dependent Traffic Information. *Applied Sciences*, 10(20), 7156. <https://doi.org/10.3390/app10207156>.
- Kukartsev, V. V., Tynchenko, V. S., Mikhalev, A. S., Nozdrenko, E. A., Sokolovskiy, N. V., Rukosueva, A. A. (2020, July). The software application for cargo transportation routes optimization. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1582, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
- Laganà, D., Laporte, G., Vucatur, F. 2021. A dynamic multi-period general routing problem arising in postal service and parcel delivery systems. *Computers & Operations Research*, 129, 105195. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105195>.
- Lee, K., Chae, J., Kim, J. 2019. A courier service with electric bicycles in an Urban Area: The case in Seoul. *Sustainability*, 11(5), 1255.
- Lee, K., Chae, J., Song, B., Choi, D. (2020). A model for sustainable courier services: Vehicle routing with exclusive lanes. *Sustainability*, 12(3), 1077.
- Lin, C. K. Y. 2011. A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources. *Computers & Operations Research*, 38(11), 1596-1609. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.01.021>.
- Lin, E. T., Lan, L. W., Hsu, C. S. 2010. Assessing the on-road route efficiency for an air-express courier. *Journal of Advanced Transportation*, 44(4), 256-266.

- Lin, X., Nishiki, Y., Tavasszy, L. A. 2020. Performance and intrusiveness of crowdshipping systems: An experiment with commuting cyclists in The Netherlands. *Sustainability*, 12(17), 7208. <https://doi.org/10.3390/su12177208>.
- Lipowezky, U., Korenfeld, B., Ideses, I. 2018, December. Solving the Capacitated Open Vehicle Routing Problem Algorithm, Based on Probability Distribution Modelling of Saving Matrix. In *2018 IEEE International Conference on the Science of Electrical Engineering in Israel (ICSEE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Liu, M., Liu, X., Zhu, M., Zheng, F. 2019. Stochastic drone fleet deployment and planning problem considering multiple-type delivery service. *Sustainability*, 11(14), 3871. <https://doi.org/10.3390/su11143871>.
- Martinez-Sykora, A., McLeod, F., Lamas-Fernandez, C., Bektaş, T., Cherrett, T., Allen, J. 2020. Optimised solutions to the last-mile delivery problem in London using a combination of walking and driving. *Annals of Operations Research*, 295(2), 645-693. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03781-8>.
- McLeod, F. N., Cherrett, T. J., Bektaş, T., Allen, J., Martinez-Sykora, A., Lamas-Fernandez, C., ... Wise, S. 2020. Quantifying environmental and financial benefits of using porters and cycle couriers for last-mile parcel delivery. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, 102311.
- Mettters, R.D. 1996. Interdependent transportation and production activity at the United States postal service. *Journal of the Operational Research Society*, 47(1), 27-37.
- Mirhedayatian, S. M., Crainic, T. G., Guajardo, M., Wallace, S. W. 2021. A two-echelon location-routing problem with synchronisation. *Journal of the Operational Research Society*, 72(1), 145-160. <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1650625>.
- Mohd, A., Rashid, R. A., Hamid, A. A., Sarijari, M. A., Rahim, M. R. A., Sayuti, H., Rashid, M. A. 2019. Development of android-based apps for courier service management. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 15(2), 1027-1036. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v15.i2.pp1027-1036>.
- Moreri, K. K., Maphale, L., Nkhwanana, N. 2017. Optimizing dispatch and home delivery services utilizing GIS in Botswana: Botswana Post case study. *Spatial Information Research*, 25(4), 565-573. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0123-5>.
- Muslu, M. T., Doğan, Y. (2020, October). Improved Genetic Algorithm and Mobile Application for an Up-to-date Traveling Salesman Problem. In *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ismsit50672.2020.9255207>.
- Niels, T., Hof, M. T., Bogenberger, K. 2018, November. Design and operation of an urban electric courier cargo bike system. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2531-2537). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569606>.
- Peng, K., Du, J., Lu, F., Sun, Q., Dong, Y., Zhou, P., Hu, M. (2019). A hybrid genetic algorithm on routing and scheduling for vehicle-assisted multi-drone parcel delivery. *IEEE Access*, 7, 49191-49200. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2910134>.
- Pincay, J., Mensah, A. O., Portmann, E., Terán, L. (2020a). Forecasting Travel Times with Space Partitioning Methods. In *GISTAM* (pp. 151-159).
- Pincay, J., Mensah, A. O., Portmann, E., Terán, L. (2020b, April). Partitioning space to identify en-route movement patterns. In *2020 Seventh International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)* (pp. 43-49). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG48599.2020.9096863>.
- Pontes, D. I. S. D., Bertoncini, B. V., Pontes, L. D. D., Jorge, J. C. M. 2020. Modelo crowdshipping de distribuição da última milha: um estudo sobre a operacionalização.
- Purnamasari, C. D., Santoso, A. (2018). Vehicle Routing Problem (VRP) for courier service: A review. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 204, p. 07007). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820407007>.
- Restrepo, M. I., Semet, F., Poceau, T. 2019. Integrated shift scheduling and load assignment optimization for attended home delivery. *Transportation Science*, 53(4), 1150-1174. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0857>.
- Rosanti, A. A., Sutopo, W., Hisjam, M. (2019, April). Implementation of saving matrix to determine distribution route of Kalog Express Surakarta. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 495, No. 1, p. 012025). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012025>.
- Seakhoa-King, S., Balaji, P., Alvarez, N. T., Knottenbelt, W. J. (2019, March). Revenue-driven scheduling in drone delivery networks with time-sensitive service level agreements. In *Proceedings of the 12th EAI international conference on performance evaluation methodologies and tools* (pp. 183-186).
- Sitek, P., Wikarek, J., Ruczyńska-Wdowiak, K., Bocewicz, G., Banaszak, Z. 2021. Optimization of capacitated vehicle routing problem with alternative delivery, pick-up and time windows: A modified hybrid approach. *Neurocomputing*, 423, 670-678. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.02.126>.
- Steever, Z., Karwan, M., Murray, C. 2019. Dynamic courier routing for a food delivery service. *Computers & Operations Research*, 107, 173-188. [teever](https://doi.org/10.1016/j.cors.2019.07.011).
- Syauqi, M. H., Zagloel, T. Y. M. (2020, June). Optimization of Heterogeneous Vehicle Routing Problem Using Genetic Algorithm in Courier Service. In *Proceedings of the 3rd Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering 2020* (pp. 48-52). <https://doi.org/10.1145/3400934.3400945>.
- Tebaldi, L., Murino, T., Bottani, E. 2020. An Adapted Version of the Water Wave Optimization Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows with Application to a Real Case Using Probe Data. *Sustainability*, 12(9), 3666. <https://doi.org/10.3390/su12093666>.
- Tu, W., Zhao, T., Zhou, B., Jiang, J., Xia, J., Li, Q. 2019. OCD: Online crowdsourced delivery for on-demand food. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8), 6842-6854.
- Turská, S., Chinoracky, R., Madlenakova, L., Corejova, T. 2019. Optimization of the delivery process in the urban area. In *23rd International Conference. Transport Means* (pp. 809-813).
- Uhlmann, I. R., Frazzon, E. M. 2018. Production rescheduling review: Opportunities for industrial integration and practical applications. *Journal of manufacturing systems*, 49, 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.004>.
- Urquhart, N., Höhl, S., Hart, E. (2019, July). An illumination algorithm approach to solving the micro-depot routing problem. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference* (pp. 1347-1355). <https://doi.org/10.1145/3321707.3321767>.
- Van Lopik, K., Schnieder, M., Sharpe, R., Sinclair, M., Hinde, C., Conway, P., ... Maguire, M. 2020. Comparison of in-sight and handheld navigation devices toward supporting industry 4.0 supply chains: First and last mile deliveries at the human level. *Applied ergonomics*, 82, 102928.
- Wang, W., Tao, H., Jiang, Y. 2020. Efficient Delivery Services Sharing with Time Windows. *Applied Sciences*, 10(21), 7431. <https://doi.org/10.3390/app10217431>.
- Wang, Y. N., Thompson, R. G., Bishop, I. 1999, September. A GIS based information integration framework for dynamic vehicle routing and scheduling. In *Proceedings of the IEEE International Vehicle Electronics Conference (IVEC'99)* (Cat. No. 99EX257) (pp. 474-479). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IVEC.1999.830732>.
- Wasner, M., Zäpfel, G. (2004). An integrated multi-depot hub-location vehicle routing model for network planning of parcel service. *International journal of production economics*, 90(3), 403-419. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.12.002>.
- Woiceshyn, K., Kashino, Z., Nejat, G., Benhabib, B. (2018). Vehicle routing for resource management in time-phased deployment of sensor networks. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(2), 716-728. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2857630>.

- Yıldız, B. (2021a). Express package routing problem with occasional couriers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 123, 102994.
- Yıldız, B. (2021b). Package routing problem with registered couriers and stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 147, 102248. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102248>.
- Yildiz, B., Savelsbergh, M. 2019. Provably high-quality solutions for the meal delivery routing problem. *Transportation Science*, 53(5), 1372-1388.
- Zeng, Y., Tong, Y., Chen, L. 2019. Last-mile delivery made practical: An efficient route planning framework with theoretical guarantees. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 13(3), 320-333. <https://doi.org/10.14778/3368289.3368297>.
- Zhang, L., Thompson, R. G. 2019. Understanding the benefits and limitations of occupancy information systems for couriers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 105, 520-535. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.06.013>.
- Zhang, S., Qin, L., Zheng, Y. 2016. Effective and efficient: Large-scale dynamic city express. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 28(12), 3203-3217. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2016.2604806>.
- Zhao, L., Wang, X., Stoeter, J., Sun, Y., Li, H., Hu, Q., Li, M. (2019). Path optimization model for intra-city express delivery in combination with subway system and ground transportation. *Sustainability*, 11(3), 758. <https://doi.org/10.3390/su11030758>.
- Zhao, Q., Zhou, C., Pedrielli, G. 2020. A Decision Support System for Data-Driven Driver-Experience Augmented Vehicle Routing Problem. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 37(05), 2050018. <https://doi.org/10.1142/S0217595920500189>.
- Zhou, W., Lin, J. 2019. An On-demand same-day delivery service using direct peer-to-peer transshipment strategies. *Networks and Spatial Economics*, 19(2), 409-443.
- Zhu, Y., Lee, K. Y., Wang, Y. 2021. Adaptive elitist genetic algorithm with improved neighbor routing initialization for electric vehicle routing problems. *IEEE Access*, 9, 16661-16671. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3053285>
