

Aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional para redução de custos Logísticos

Application of Operations Research Techniques to Reduce Logistics Costs

Júlia Vitória Oliveira da Silva

FATEC, São José dos Campos, São Paulo

E-mail: julia.silva130@fatec.sp.gov.br

Marcus Vinicius do Nascimento

FATEC, São José dos Campos, São Paulo

E-mail: nascimento.mv@fatec.sp.gov.br

RESUMO

A logística de transporte desempenha um papel central na eficiência operacional das empresas, uma vez que influencia diretamente os custos e o nível de serviço oferecido ao cliente. No Brasil, o predomínio do modal rodoviário e a má alocação de recursos tornam o planejamento de transporte um fator decisivo para evitar desperdícios e elevar a competitividade. Nesse contexto, este estudo investiga de que forma a aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional (PO), especificamente o Problema de Transporte, pode contribuir para a redução de custos logísticos e para o aprimoramento da tomada de decisão. O objetivo principal é demonstrar, por meio de um estudo de caso, o potencial das técnicas de otimização na definição de rotas eficientes, avaliando também a alocação de recursos e os fatores que influenciam os custos de frete. A metodologia adotada inclui revisão bibliográfica, análise exploratória dos dados e desenvolvimento de um modelo matemático resolvido por Programação Linear, apoiado pelo método Simplex. O caso estudado envolve uma empresa do setor de bebidas com três plantas industriais e clientes distribuídos em cinco regiões. Os resultados indicam que o modelo proposto reduziu o número total de rotas de 117 para 51 e apresentou um custo ideal de R\$ 42.766.380,00 para as operações de 2023, frente ao custo real de R\$ 59.434.968,00. Isso revela uma economia potencial de R\$ 16.668.588,00, equivalente a 28% de redução de custos. Conclui-se que a aplicação de modelos de PO favorece a eficiência logística, aumenta a racionalização operacional e apoia decisões estratégicas de transporte.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Logística, Frete, Roteirização e Custos.

ABSTRACT

Transport logistics plays a central role in the operational efficiency of companies, as it directly influences costs and the level of service offered to customers. In Brazil, the predominance of the road transport mode and the misallocation of resources make transportation planning a decisive factor in avoiding waste and increasing competitiveness. In this context, this study investigates how the application of Operations Research (OR) techniques—specifically the Transportation Problem—can contribute to reducing logistics costs and improving decision-making. The main objective is to demonstrate, through a case study, the potential of optimization techniques in defining efficient routes, while also evaluating resource allocation and the factors that influence

freight costs. The methodology includes a literature review, exploratory data analysis, and the development of a mathematical model solved through Linear Programming, supported by the Simplex method. The case examined involves a beverage company with three manufacturing plants and customers distributed across five regions. The results indicate that the proposed model reduced the total number of routes from 117 to 51 and presented an ideal cost of R\$ 42,766,380.00 for 2023 operations, compared to the actual cost of R\$ 59,434,968.00. This reveals potential savings of R\$ 16,668,588.00, equivalent to a 28% cost reduction. It is concluded that the application of OR models enhance logistics efficiency, improves operational rationalization, and supports strategic transportation decision-making.

Keywords: Operations Research; Logistics; Freight; Routing; Costs.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Ballou (1993), a logística abrange todas as atividades relacionadas à movimentação e armazenagem de produtos, de modo a viabilizar o fluxo eficiente de mercadorias desde a origem — na aquisição de matérias-primas — até o consumidor final. No contexto da logística de transporte, essa definição se estende à gestão estratégica do deslocamento de cargas, incluindo a coordenação de rotas, modais e prazos de entrega, bem como o fluxo de informações necessário para controlar e otimizar esses processos. A Finalidade é atender aos níveis de serviço exigidos pelos clientes, garantindo a pontualidade e confiabilidade das entregas, ao mesmo tempo em que se mantém a eficiência operacional e a competitividade dos custos.

O planejamento de transporte é considerado por Viana (2023) como um elemento central para a eficiência logística, por permitir organizar e otimizar o fluxo de cargas, reduzir custos e aumentar a produtividade. Sua relevância manifesta-se na influência direta sobre a cadeia logística, envolvendo a escolha adequada do modal — rodoviário, ferroviário, aquaviário ou aéreo —, a infraestrutura disponível e a demanda das rotas. No Brasil, o predomínio do transporte rodoviário, associado à limitada oferta ferroviária, eleva os custos logísticos. Assim, um planejamento eficiente contribui para a utilização estratégica dos modais, a redução de custos, o aprimoramento do atendimento a diversos setores e o suporte a decisões sobre investimentos em infraestrutura, tanto públicos quanto privados.

Nesse contexto, ferramentas como a roteirização, a programação de rotas e a consolidação de cargas tornam-se estratégicas para a otimização dos processos logísticos. Para a correta utilização dessas ferramentas, é essencial compreender o conceito de definição de rotas de atendimento, que se refere ao planejamento e estabelecimento dos trajetos que os veículos devem

percorrer para realizar a entrega ou coleta de cargas de maneira eficiente, atendendo às demandas de clientes ou pontos logísticos específicos.

Em síntese, a definição de rotas de atendimento consiste em estruturar de forma estratégica os trajetos logísticos, assegurando que os produtos ou serviços cheguem aos destinos corretos no tempo adequado, com o menor custo e maior eficiência possível. De acordo com Mendes e Quilles (2022), trata-se de um conceito capaz de minimizar custos simultaneamente ao atendimento das demandas dos clientes, respeitando as restrições existentes.

Diante desse cenário, para que haja um processo eficiente de roteirização de atendimentos, é necessário que o sistema conte com um processo de otimização estruturado. A relevância deste estudo reside na contribuição que a aplicação do Problema de Transporte, fundamentado em teorias da PO (Pesquisa Operacional), pode oferecer para o aprimoramento dos processos logísticos, sobretudo no que se refere à redução de custos de transporte e à alocação eficiente de recursos. Ademais, o trabalho tem como objetivo principal demonstrar, por meio da descrição de um estudo de caso, como empresas podem se beneficiar ao incorporar técnicas de PO em suas rotinas estratégicas, agregando valor operacional e promovendo melhorias contínuas nos processos de distribuição.

A metodologia adotada caracteriza-se por uma abordagem exploratória e descritiva, apoiada em revisão bibliográfica e na análise de um estudo de caso desenvolvido a partir de um projeto acadêmico. O foco do estudo é a otimização das rotas de transporte de uma empresa do setor de bebidas, com clientes distribuídos em cinco regiões distintas e três unidades fabris. A organização objeto da pesquisa enfrentava custos elevados de transporte entre suas três plantas industriais, o que evidencia a necessidade de aplicar métodos quantitativos para aumentar a eficiência logística e reduzir despesas operacionais.

O objetivo deste trabalho é apresentar a modelagem de PO chamada Problema de Transporte para o caso de otimização de rotas de uma empresa do setor de bebidas. Busca-se investigar o potencial das técnicas de PO na redução dos custos de transporte, com ênfase na roteirização, por meio da análise de métodos quantitativos que favoreçam a otimização de processos, a alocação eficiente de recursos e o aprimoramento da tomada de decisão no contexto logística. Para alcançar esse objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos: (i) Analisar métodos quantitativos que possibilitem a redução de custos logísticos; (ii) Avaliar a eficiência na alocação de recursos, identificando em que medida o modelo contribui para minimizar desperdícios e maximizar a utilização da infraestrutura de transporte; (iii) Identificar

os principais componentes dos custos de roteirização, bem como os desafios enfrentados pelas organizações na gestão eficiente desses custos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão revistos textos que subsidiem os conhecimentos necessários ao entendimento do trabalho apresentado.

2.1 Transporte e sua relevância na logística

Conforme Gama (2011), o modelo de fornecimento físico apoia-se na roteirização dos veículos encarregados da entrega ao cliente final, seja a partir de depósitos centrais ou diretamente ao consumidor. A roteirização surge, portanto, como uma ferramenta estratégica para a definição de trajetos que minimizem o custo total de distribuição de uma frota de veículos, garantindo que a demanda do mercado seja atendida de forma eficiente.

De forma complementar, Novaes (2007) salienta que um dos principais desafios da distribuição física de mercadorias está relacionado às restrições operacionais, especialmente aquelas ligadas ao tempo e à capacidade dos veículos, fatores que influenciam diretamente a eficiência e a confiabilidade do processo logístico.

2.1.1 Transporte

O transporte é um dos elementos centrais da logística, sendo responsável pela integração entre os processos produtivos, a circulação de mercadorias e a satisfação da demanda do mercado consumidor. Conforme destaca Kawamoto (2015), a mobilidade de pessoas e mercadorias constitui-se em uma atividade intermediária essencial para a realização de objetivos econômicos e sociais, uma vez que nenhuma produção, consumo ou troca se concretiza sem o deslocamento físico. Nesse sentido, a logística de uma empresa depende diretamente da eficiência dos sistemas de transporte para assegurar competitividade e continuidade de suas operações.

Kawamoto (2015) complementa, o transporte pode ser entendido como um sistema composto por vias, terminais e veículos, no qual ocorre a interação de pessoas e cargas em movimento. Trata-se de uma atividade que, embora não produza valor em si mesma, possibilita a realização de atividades produtivas e comerciais, configurando-se como um “mal necessário”. Essa definição reforça que o transporte, embora frequentemente associado a custos, é indispensável ao funcionamento das organizações, pois viabiliza a circulação de bens, serviços e informações.

A relação entre custo de transporte e consumo é exemplificada por meio da curva de

demanda: quanto maior o custo de transporte incorporado ao preço de um produto, menor será a quantidade demandada no mercado.

2.1.2 Frete

O frete constitui um componente determinante dos custos de transporte e representa uma parcela significativa na composição do preço final dos produtos.

O frete pode ser definido como a remuneração do serviço de transporte, representando o valor pago pelo deslocamento de mercadorias do ponto de origem ao destino. Mais do que um simples custo operacional, o frete influencia diretamente a competitividade das empresas, uma vez que ele impacta o preço final ao consumidor, a rentabilidade e a eficiência logística.

De acordo com Caixeta Filho e Martins (2009), um transporte eficiente deve cumprir prazos e assegurar a integridade da carga, reduzindo custos e evitando perdas. A composição do frete, portanto, deve refletir não apenas a distância percorrida e o tipo de mercadoria, mas também fatores relacionados à infraestrutura, tempo de espera, riscos de sinistros e disponibilidade de carga de retorno.

O custo do frete é composto por elementos fixos e variáveis. Entre os custos variáveis estão combustível, pneus, manutenção e extensão percorrida, enquanto os custos fixos incluem depreciação do veículo, seguro, salários e impostos, como o IPVA (Tedesco, 2008).

Oliveira (2014) observa que mais de 40% dos veículos de carga circulam vazios, sobretudo em decorrência da ausência de cargas de retorno. Tal condição acarreta elevação significativa nos custos de frete, uma vez que o deslocamento sem carga implica em despesas sem a devida contrapartida de receita. Nesse contexto, a otimização da utilização dos veículos, por meio de técnicas de roteirização e do emprego de tecnologias de monitoramento, configura-se como estratégia para a redução de custos operacionais. Considerando esse cenário, o presente estudo propõe-se a analisar um caso em que tal situação se verifica, com o intuito de desenvolver um modelo que possibilite mitigar ou eliminar a ocorrência de veículos em circulação sem carga ou má alocação de carga, promovendo, assim, maior eficiência nos processos logísticos.

2.2 Otimização No Contexto De Transporte

A otimização pode ser definida como o processo de escolha da melhor alternativa entre várias possíveis, considerando critérios como custo, tempo, confiabilidade e qualidade. No contexto do transporte, essa prática está relacionada ao planejamento de rotas, à alocação de

veículos, à definição de cargas e à utilização de tecnologias que permitam reduzir desperdícios e aumentar a eficiência operacional

De acordo com a literatura Ballou, a otimização de transporte deve ser analisada sob um enfoque sistêmico, pois está diretamente conectada à gestão de estoques, produção e distribuição. Assim, métodos de otimização são aplicados não apenas para minimizar custos, mas também para elevar o nível de serviço ao cliente.

Diversos métodos de otimização vêm sendo empregados para enfrentar problemas de transporte. Entre eles, destaca-se a PO uma área do conhecimento voltada à identificação e resolução de problemas de decisão e otimização, com aplicação direta no transporte, abrangendo atividades como alocação de veículos, definição de rotas e distribuição de cargas.

Barcelos, Evangelista e Segatto (2015) destacam que a PO constitui uma técnica de apoio à decisão baseada em modelagens matemáticas, buscando soluções ótimas para problemas organizacionais, consolidando-se como um instrumento científico robusto para gestores.

2.2.1 Programação Linear

A Programação Linear (PL) constitui um ramo da matemática aplicada, configurando-se como uma técnica da PO que permite formalizar problemas de decisão em função objetivo e restrições matemáticas. O termo “programação” é empregado no sentido de projetar e planejar estratégias e procedimentos para a solução de problemas, enquanto o termo “linear” indica que sua aplicação está restrita a modelos matemáticos representados por relações lineares.

De acordo com Teixeira (2011), a PL utiliza instrumentos matemáticos que permitem a otimização de situações, sendo amplamente aplicada em problemas cuja formulação se baseia em expressões lineares.

Na mesma linha, Hillier e Lieberman (2006) ressaltam que qualquer problema cujo modelo matemático se ajuste ao formato genérico da programação linear pode ser tratado por essa técnica, o que explica sua aplicabilidade em diversos setores econômicos. Dessa forma, os problemas de PL visam, essencialmente, encontrar soluções que satisfaçam restrições específicas, selecionando a melhor alternativa possível entre todas as disponíveis.

Em uma definição mais formal, Schneider (2013, p. 11) conceitua um problema de programação linear como “um problema de otimização em que a função que se deseja otimizar (minimizar ou maximizar), denominada função objetivo, é linear, e o conjunto das restrições (relações de interdependência entre as variáveis) é representado por igualdades ou desigualdades

lineares”.

Para a correta formulação de um problema de Programação Linear, é fundamental compreender três conceitos básicos: variáveis de decisão, que representam os valores a serem determinados; função objetivo, que expressa matematicamente o problema e define o propósito da otimização; e restrições, que correspondem às condições ou limitações que as variáveis de decisão devem obedecer. De forma geral representa matematicamente da seguinte maneira:

$$Z = C_1X_1 + C_2X_1 + \dots + C_nX_n$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq; \leq b_1 \quad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq; \leq b_2 \quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq; \leq b_m$$

$$x_i \geq 0 \text{ e } b_j \geq 0, \text{ para } i = 1, 2 \dots n \text{ e } j = 1, 2 \dots m,$$

onde:

Z = função a ser maximizada ou minimizada (geralmente ganho ou custo), respeitando o conjunto de elementos do problema ou restrições;

C_i = coeficientes de ganho ou custo que cada variável é capaz de gerar;

x_i = variáveis decisórias que representam as quantidades ou recursos que se quer determinar para otimizar o resultado global;

b_j = quantidade disponível de cada recurso;

a_{ij} = quantidade de recurso que cada variável decisória consome.

2.3 Tecnologia da informação aplicada aos modelos de otimização

O algoritmo Simplex, desenvolvido por George Dantzig na década de 40, foi originalmente concebido para ser resolvido com cálculos manuais, usando um quadro conhecido como *tableau*. O processo era iterativo, movendo-se de um vértice a outro da região viável de um problema de programação linear até encontrar a solução ótima. Esse método, embora revolucionário, era trabalhoso e propenso a erros para problemas com muitas variáveis

A popularização dos computadores e das planilhas eletrônicas, a necessidade de cálculos manuais reduziu-se significativamente, proporcionando maior eficiência na resolução de problemas matemáticos e de tomada de decisão. O Microsoft Excel, aliado ao suplemento solver, integrou o algoritmo Simplex a uma interface gráfica de fácil utilização, permitindo que usuários sem conhecimento aprofundado em Programação Linear pudessem aplicar técnicas de

otimização.

A evolução tecnológica proporcionou o desenvolvimento de ferramentas de programação capazes de lidar com problemas de larga escala ou que exigem integração com múltiplos sistemas. A linguagem Python criada pelo matemático e programador holandês Guido van Rossum destaca-se por sua sintaxe clara, flexibilidade e ampla variedade de bibliotecas voltadas para otimização.

Para exemplificar a aplicabilidade da PO, pode-se analisar um caso real de uma fintech alemã que enfrentava desafios na gestão de antecipações de recebíveis junto a adquirentes financeiras. A empresa precisava determinar, de forma eficiente, quais operações realizar e com quais parceiros, considerando que as taxas cobradas variavam de acordo com o prazo de vencimento e que decisões inadequadas poderiam aumentar significativamente os custos.

Neste contexto, foi desenvolvido um modelo matemático baseado em Programação Linear, resolvido com o método Simplex, que permitiu estruturar o problema como uma função objetivo de minimização de custos, sujeita a restrições como limites de capital disponível e taxas aplicadas pelas adquirentes. As variáveis de decisão representavam os valores a serem antecipados, enquanto os parâmetros incluíam os custos e a disponibilidade financeira de cada parceiro.

A implementação desse modelo possibilitou a realização de simulações diárias, comparando os custos das operações realizadas manualmente com os resultados do modelo matemático. A análise demonstrou que a utilização do modelo reduziu 14,5% dos custos mensais já no primeiro mês, evidenciando a eficácia da PO em otimizar decisões financeiras complexas. Para facilitar a aplicação prática, uma ferramenta automatizada em Microsoft Excel foi desenvolvida, permitindo que as decisões fossem atualizadas diariamente conforme os dados financeiros da empresa.

Esse caso ilustra como conceitos estudados, como Progressão Linear e métodos de otimização, podem ser aplicados em situações reais. Assim, ao utilizar Programação Linear e o método Simplex, empresas conseguem planejar decisões estratégicas, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional, evidenciando o potencial da PO como ferramenta de suporte à gestão. Em um contexto acadêmico, modelos similares podem ser desenvolvidos em Python, utilizando bibliotecas como PuLP, Pyomo ou SciPy.optimize, permitindo a replicação de análises e o aprofundamento do entendimento dos conceitos teóricos.

3 METODOLOGIA

Para a condução do projeto, optou-se pela utilização da metodologia ágil Scrum, aplicada ao gerenciamento de projetos em contextos de elevada complexidade e incerteza. Essa metodologia organiza o desenvolvimento em ciclos de trabalho iterativos, denominados sprints, que possuem duração de duas a quatro semanas e são compostos por atividades colaborativas entre membros da equipe.

O Scrum permite entregas incrementais, de modo que, a cada sprint, o projeto agrega novas funcionalidades, refinamentos e resultados parciais que convergem para o modelo final. A adoção desta metodologia garantiu flexibilidade, acompanhamento contínuo das tarefas e alinhamento constante com os objetivos do estudo.

O planejamento do projeto foi estruturado em três principais fases, conforme cronograma estabelecido:

- a) 1ª Fase: Análise e tratamento da base de dados, preparando os insumos necessários para a modelagem.
- b) 2ª Fase: Apresentação da estrutura inicial do protótipo matemático, representando o cenário ideal de 2023 e validando a coerência do modelo perante os dados.
- c) 3ª Fase: Realização da etapa final de correções de inconsistências, ajustes no modelo e implementação de melhorias de acordo com as demandas da empresa..
- d) Resultado esperado: Desenvolver um modelo matemático capaz não apenas de otimizar as rotas já existentes, mas também de se adaptar a novas demandas, além de prever custos logísticos de forma a subsidiar a tomada de decisão estratégica e otimizar o planejamento de futuras rotas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a resolução do problema de otimização, foi possível determinar o cenário ideal de custos para as operações de transporte de 2023. Este cenário representa a alocação ótima de produtos das três plantas para os clientes, resultando no custo mínimo de frete possível, dadas as condições e restrições do problema.

Após a modelagem do problema e a aplicação dos métodos de otimização, foi possível resolver o problema de transportes e obter os seguintes resultados:

Tabela 1 - Resultado da Otimização 2023:

Custo real total do frete em 2023	R\$ 59.434.968,00
Custo no cenário ideal em 2023	R\$ 42.766.380,00
Diferença	R\$ 16.668.588,00

Fonte: elaboração própria (síntese de literatura/documentos).

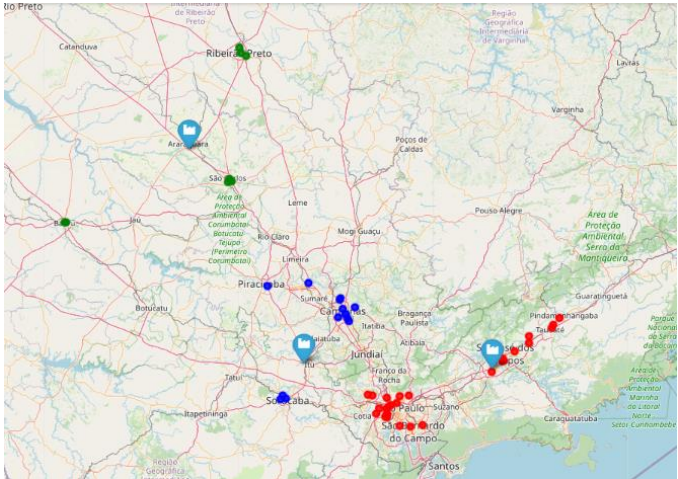
A análise da Tabela 1 demonstra que o custo real total com fretes em 2023 superou o custo ideal em R\$ 16.668.588,00. Este valor representa a economia potencial que a empresa deixou de obter devido à alocação não-ótima dos seus recursos de transporte.

Em termos percentuais, o valor gasto com frete em 2023 foi aproximadamente 28% mais caro em comparação direta com o custo mínimo que seria alcançado através da solução ideal do modelo. Este achado sublinha a relevância da PO como ferramenta estratégica para a gestão de custos logísticos.

Além do significativo impacto financeiro, a otimização do problema de transporte resultou em uma simplificação e racionalização notável da malha logística da empresa.

O modelo real de 2023 operava com um total de 117 rotas distintas para atender à demanda dos clientes. Após a aplicação do modelo de otimização, o número de rotas necessárias para a alocação ótima foi reduzido para apenas 51 rotas (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição dos Clientes e Fábricas



Fonte: elaboração própria (síntese de literatura/documentos).

Essa redução no número de rotas representa uma melhoria operacional de 39,28% na complexidade da rede de transporte. A consolidação e a eliminação de rotas redundantes ou subótimas não apenas diminuem o custo direto do frete, como também trazem benefícios indiretos, tais como:

- a) Redução da Complexidade de Gestão: Menos rotas para monitorar e gerenciar.
- b) Melhor Utilização da Frota: Maior concentração de volume nas rotas mais eficientes.
- c) Potencial para Negociação: Maior poder de barganha com transportadoras devido ao aumento do volume por rota.

Em suma, os resultados demonstram de forma inequívoca que a aplicação do modelo de otimização de transporte não apenas oferece uma economia substancial de custos, mas também promove uma rede logística mais enxuta, eficiente e fácil de gerenciar.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo principal demonstrar a aplicabilidade e o impacto da PO especificamente por meio do modelo de otimização de transporte, na gestão logística de uma empresa com múltiplas plantas e clientes. Os resultados obtidos, ao comparar o cenário real de custos de frete de 2023 com o cenário ideal determinado pelo modelo, fornecem evidências da eficácia e do valor estratégico da PO.

O estudo revelou uma discrepância significativa entre a prática operacional e a solução matematicamente ótima. O custo real total de frete incorrido pela empresa em 2023 foi de R\$ 59.434.968,00, um valor que se mostrou aproximadamente 28% superior ao custo mínimo teórico de R\$ 42.766.380,00. Esta diferença quantifica a ineficiência logística em R\$ 16.668.588,00, representando a economia potencial que poderia ter sido realizada com a implementação de um plano de transporte otimizado.

Além do impacto financeiro direto, a otimização demonstrou um efeito profundo na racionalização da malha logística. A complexidade operacional foi drasticamente reduzida, com o número de rotas necessárias caindo de 117 para apenas 51. Essa redução de 39,28% nas rotas não apenas simplifica a gestão e o monitoramento, mas também indica uma maior consolidação de volumes, o que pode gerar benefícios secundários, como maior poder de negociação com transportadoras e melhor aproveitamento da capacidade da frota.

Em suma, a pesquisa atinge seu objetivo ao comprovar que a adoção de técnicas de PO não se limita a um exercício teórico, mas se traduz em um ganho estratégico e tangível para a organização. A economia e a simplificação das rotas logísticas reforçam a conclusão de que a PO é uma ferramenta para a tomada de decisões em ambientes empresariais complexos, permitindo que a empresa opere no seu nível máximo de eficiência de custos.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. *Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas, 1993.

BARCELOS, Bartholomeo Oliveira; EVANGELISTA, Mário Luiz Santos; SEGATTO, Sara Schafer. A importância e a aplicação da pesquisa operacional nos cursos de graduação em Administração. *RACE - Revista de Administração, Contabilidade e Economia*.

CAIXETA FILHO, J. R.; MARTINS, R. S. *Gestão logística do transporte de cargas*. São Paulo: Atlas, 2009.

GAMA, M. B. *Roteirização de veículos: implementação e melhoria do método de Clarke e Wright*. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – UNIVASF, Juazeiro, 2011.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à pesquisa operacional*. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

KAWAMOTO, E. *Análise de sistemas de transporte*. 2. ed. rev. e ampl. São Carlos, agosto de 2015.

MENDES, S.; QUILLES, B. *Roteirização de transportes*. Curitiba: InterSaberes, 2022.

NOVAES, Antonio G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

OLIVEIRA, L. K. Diagnóstico das vagas de carga e descarga para a distribuição urbana de mercadorias: um estudo de caso em Belo Horizonte. *J. Transp. Lit.*, Manaus, v. 8, n. 1, p. 178–209, jan. 2014.

SCHNEIDER, Ruana Maria. *Método simplex para programação linear*. Orientadora: Melissa Weber Mendonça. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TEDESCO, G. M. I. *Metodologia para elaboração do diagnóstico de um sistema de transporte*. 2008. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TEIXEIRA, Vinícius Garcia. *Aplicação de programação linear na alocação de vagões gôndola para o transporte de ferro gusa na MRS Logística S.A.* 2011. 56 f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

VIANA, Fernando Luiz E. *Logística de transporte. Caderno Setorial ETENE*, v. 8, n. 309, 2023.