

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Jean Carlos da Silva

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRATÉGIAS DE ABASTECIMENTO PARA UM
VAREJISTA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO COM BASE EM
PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA**

FLORIANÓPOLIS

2023

Jean Carlos da Silva

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRATÉGIAS DE ABASTECIMENTO PARA UM
VAREJISTA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO COM BASE EM
PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA**

Trabalho Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil com habilitação em Produção.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Ernani Vieira

FLORIANÓPOLIS

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Da Silva, Jean Carlos

Análise comparativa de estratégias de abastecimento para um varejista de materiais de construção com base em programação matemática / Jean Carlos Da Silva ; orientador, Guilherme Ernani Vieira, 2023.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Otimização. 3. Logística. 4. Programação matemática. 5. Cadeia de Suprimentos. I. Vieira, Guilherme Ernani. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. III. Título.

Jean Carlos da Silva

Análise comparativa de estratégias de abastecimento para um varejista de materiais de construção com base em programação matemática

Florianópolis, 27 de junho de 2023.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta dos seguintes membros:

Prof. Dr. Guilherme Ernani Vieira

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Carlos Manuel Taboada Rodriguez

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Dr. Dante Luiz Juliatto

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a versão final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo autor e julgado adequado por mim e pelos demais membros da banca para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Guilherme Ernani Vieira

Orientador

RESUMO

A sobrevivência das organizações reside na conquista da preferência de clientes cada vez mais exigentes, posição que assume as dimensões de entrega de valor e diminuição de custos. A logística é capaz de entregar ambos os diferenciais ao agregar agilidade e confiabilidade a cadeia de suprimentos e diminuir os custos das atividades envolvidas na cadeia. Este trabalho aborda o problema de abastecimento de produtos em lojas físicas, utilizando como caso de estudo um varejo de materiais de construção, com o objetivo de analisar diferentes estratégias de abastecimento visando a otimização dos custos logísticos. Duas novas estratégias foram propostas: a redistribuição de produtos entre as unidades e a atribuição de funções de centro de distribuição a uma das lojas físicas. A metodologia envolveu a construção de um modelo de programação matemática, a definição de um cenário de operação logística e a realização de uma análise de custo-efetividade. Os resultados obtidos foram apresentados em termos dos custos logísticos de cada estratégia, bem como de indicadores de desempenho, incluindo o nível de serviço oferecido ao cliente e medidores de eficiência operacional. Concluiu-se que a redistribuição de produtos entre as lojas pode tornar a malha logística mais flexível, mas também aumenta os custos operacionais. Por outro lado, atribuir funções de centro de distribuição a uma loja distante resulta em ganhos significativos de eficiência logística e redução de custos.

Palavras-chave: Logística, Abastecimento, Custos Logísticos, Varejo, Análise de Custo-efetividade.

ABSTRACT

The survival of organizations lies in winning the preference of increasingly demanding customers, a position that assumes the dimensions of delivering value and reducing costs. Logistics is capable of delivering both differentiators by adding agility and reliability to the supply chain and reducing the costs of activities involved in the chain. This work addresses the problem of product supply in physical stores, using a construction materials retail as a case study, with the aim of analyzing different supply strategies aiming at optimizing logistics costs. Two new strategies were proposed: product redistribution among units and assigning distribution center functions to one of the physical stores. The methodology involved the construction of a mathematical programming model, defining a logistics operational scenario, and conducting a cost-effectiveness analysis. The results obtained were presented in terms of the logistics costs of each strategy, as well as performance indicators, including the level of service offered to the customer and measures of operational efficiency. It was concluded that product redistribution among stores can make the logistics network more flexible but also increases operational costs. On the other hand, assigning distribution center functions to a distant store results in significant gains in logistics efficiency and cost reduction.

Keywords: Logistics, Supply, Logistic Costs, Retail, Cost-Effectiveness Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Receita, lucro e custos em função do número de armazéns	22
Figura 2 - Ótimos locais e global	24
Figura 3 - Enquadramento metodológico da pesquisa	30
Figura 4 - Estratégia de abastecimento A	32
Figura 5 - Estratégia de abastecimento B	33
Figura 6 - Estratégia de abastecimento C	33
Figura 7 - Visão do Solver do Microsoft Excel	35
Figura 8 - Representação do processo de abastecimento	38
Figura 9 - Classes de caminhões grande, médio e pequeno	46
Figura 10 - Mapa das lojas e CD	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenário de aplicação do modelo matemático	44
Tabela 2 - Distância em quilômetros entre lojas e CD e entre lojas	46
Tabela 3 - Custo de uma viagem entre origem e destino	47
Tabela 4 - Custo de armazenagem de item por dia	50
Tabela 5 - Capacidade de armazenagem	50
Tabela 6 - Demanda por produto nas lojas	51
Tabela 7 - Estoque inicial de itens	52
Tabela 8 - Itens transportados do CD para as lojas - Estratégia A	54
Tabela 9 - Estoque de produto nas lojas - Estratégia A	54
Tabela 10 - Itens transportados entre lojas e do CD para as lojas – Estratégia B	55
Tabela 11 - Estoque nas lojas – Estratégia B	55
Tabela 12 - Itens transportados entre lojas - Estratégia C	56
Tabela 13 - Estoque nas lojas - Estratégia C	56
Tabela 14 - Quadro de resultado das estratégias	57
Tabela 15 - Normalização das métricas de efetividade	57
Tabela 16 - Relação de custo efetividade	58
Tabela 17 - Variáveis de transporte	66
Tabela 18 - Custos de viagem, capacidades e soma dos custos de transporte	66
Tabela 19 - Variáveis de estoque.....	67
Tabela 20 - Custo unitário, estoque inicial, limites e custo total de estoque e histórico de demanda	67
Tabela 21 - Variáveis de demanda não atendida	67
Tabela 22 - Custo unitário de demanda não atendida	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CD – Centro de Distribuição

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

IPVA – Imposto Sobre Propriedade de Veículo Automotor

SKU – *Stock Keep Unit* (Unidade de Manutenção de Estoque)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	VAREJO	15
2.2	CADEIA DE SUPRIMENTOS	15
2.2.1	Gestão da cadeia de suprimentos	16
2.3	LOGÍSTICA	17
2.3.1	Logística do varejo	17
2.3.2	Custos Logísticos	18
2.3.2.1	Custos com instalações de armazenamento	19
2.3.2.2	Custos com estoque	20
2.3.2.3	Custos com transporte	21
2.3.2.4	Gestão de custos logísticos	21
2.4	OTIMIZAÇÃO	22
2.4.1	Otimização multiobjetivo	24
2.4.2	Programação matemática	25
2.5	ANÁLISE DE CUSTO-EFETIVIDADE	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	29
3.2	PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	30
3.2.1	Definição do problema	31

3.2.2	Construção do modelo matemático	31
3.2.3	Solução do modelo	32
3.2.4	Análise e interpretação dos resultados	35
4	DESENVOLVIMENTO	37
4.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	37
4.2	PROCESSO E MODELO CONCEITUAL	37
4.3	MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA	39
4.3.1	Equações do modelo	39
4.4	ESTRATÉGIAS	42
4.4.1	Estratégia A	42
4.4.2	Estratégia B	43
4.4.3	Estratégia C	43
4.5	CENÁRIO E DADOS DE OPERAÇÃO DO MODELO	44
4.5.1	Portifólio de produtos	45
4.5.2	Veículos de abastecimento	46
4.5.3	Custo de transporte	46
4.5.4	Seleção das estruturas de armazenamento	47
4.5.5	Custo de armazenagem	49
4.5.6	Capacidade de armazenagem na loja	50
4.5.7	Custo de demanda não atendida	50
4.5.8	Demanda por produto	51
4.5.9	Estoque Inicial	51
5	RESULTADOS	53
5.1	ESTRATÉGIA A	53
5.2	ESTRATÉGIA B	54

5.3	ESTRATÉGIA C	56
5.4	ANÁLISE DE CUSTO-EFETIVIDADE	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	61
	ANEXO A	66

1 INTRODUÇÃO

As expectativas dos clientes mudaram drasticamente ao longo dos anos, com a exposição a diversos produtos e serviços físicos e on-line, tornando-os mais conscientes e exigentes (PASCOE, 2009). Diante dessa mudança cultural, as organizações precisam buscar uma posição de superioridade em relação aos concorrentes em termos da preferência do cliente, o que pode ser alcançado por meio da combinação de vantagem de custo e vantagem de valor (CHRISTOPHER, 2016). Para isso, é necessário olhar para as muitas atividades que a empresa executa e buscar executá-las de forma mais eficiente e eficaz que a concorrência (PORTER, 1985).

A logística é uma atividade essencial para as organizações, responsável pelo fluxo de mercadorias do ponto de origem ao ponto de consumo (SHAPIRO e HESKET, 1985). É uma fonte importante de vantagem competitiva quando agrega agilidade e confiabilidade a esse fluxo, mas também é uma atividade que custa caro (WATERS, 2003). O atual modelo da cadeia de suprimentos, onde centros de distribuição enviam produtos para as lojas em intervalos definidos, precisa ser desafiado em um cenário de alta competitividade, onde cada vez mais, os clientes demandam mais velocidade e agilidade da cadeia (MCKINSEY & CO., 2022).

Neste cenário, empresas varejistas, como a Best Buy, estão inovando em suas cadeias de suprimentos através da implementação de estratégias que convertem suas lojas em pontos de envio, atendendo tanto pedidos online quanto suprindo a demanda de outras lojas (LI, 2020). Essa mudança operacional impacta de forma significativa tanto o tempo de espera quanto o custo de envio dos produtos, gerando uma vantagem competitiva relevante.

Diante deste contexto, o propósito deste estudo foi apresentar um método de abastecimento que combina a reposição dos estoques das lojas pelo centro de distribuição (CD) com a redistribuição de produtos entre as unidades. Com base nesse conhecimento, foram desenvolvidas duas estratégias: uma que possibilita a redistribuição de produtos entre as unidades e outra que incorpora funções semelhantes às de um centro de distribuição a uma das lojas. Além disso, procurou-se comparar a eficácia dessas estratégias em relação à estratégia convencional de abastecimento, em que o centro de distribuição é a única fonte de reposição dos estoques das lojas.

Para tanto, o processo de abastecimento, que abrange as atividades de transporte, armazenamento e reposição de produtos nas prateleiras das lojas, foi modelado por meio de programação matemática. Essa abordagem permitiu a otimização da alocação dos recursos disponíveis para cada uma das estratégias propostas. Os resultados obtidos foram então

avaliados considerando sua relação custo-efetividade, visando identificar a estratégia mais adequada e vantajosa do ponto de vista econômico, garantindo assim a eficiência operacional e o sucesso do processo de abastecimento.

Este estudo se concentra na análise econômica detalhada dos processos logísticos de abastecimento, com ênfase na eficiência e eficácia. É importante destacar que esta pesquisa se concentra exclusivamente nessas dimensões, sem levar em consideração outros critérios relevantes presentes na cadeia de suprimentos, tais como critérios ambientais, sociais, de viabilidade ou de riscos.

1.1 OBJETIVOS

Nesse tópico, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos relacionados ao problema de pesquisa desta monografia.

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar estratégias de abastecimento visando a otimização da cadeia de suprimentos e a redução dos custos logísticos para um varejo de materiais de construção.

1.2.2 Objetivos Específicos

- I. Desenvolver e aplicar um modelo de programação matemática que leve em consideração o atendimento das necessidades dos clientes por meio da seleção de rotas de abastecimento, respeitando as limitações de transporte e armazenamento das entidades logísticas;
- II. Definir um cenário de operação logística, considerando o portfólio de produtos, as formas de distribuição, a localização dos centros de distribuição e lojas, assim como as rotas e métodos de transporte e armazenamento;
- III. Analisar o custo-efetividade das estratégias propostas, com o objetivo de comparar e determinar a solução mais eficiente e economicamente viável para a operação logística de abastecimento da empresa.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura do presente trabalho consiste em seis capítulos que abrangem as diferentes etapas do estudo. O primeiro capítulo trata da introdução do tema, onde é apresentada a contextualização da problemática abordada e os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentado o referencial teórico que fundamenta o estudo, fornecendo uma revisão da literatura sobre o tema, destacando as principais teorias e conceitos envolvidos.

No terceiro capítulo, são detalhados os procedimentos metodológicos adotados para a realização do estudo, descrevendo o enquadramento metodológico e os procedimentos da pesquisa.

Os capítulos quatro e cinco abordam, respectivamente, o desenvolvimento e os resultados do estudo. No quarto capítulo, são apresentados a empresa e o processo de abastecimento, bem como o modelo de programação matemática, as estratégias adotadas, o cenário e os dados operacionais. Já no quinto capítulo, são expostos os resultados obtidos a partir da resolução do modelo para as estratégias propostas e realizada a análise custo-efetividade.

Por fim, o sexto e último capítulo discute os resultados e apresenta as principais conclusões do estudo, suas implicações e possíveis direções futuras para pesquisas subsequentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo, fundamenta-se esta monografia por meio da apresentação dos conhecimentos relacionados ao tema de estudo, baseados na literatura pertinente.

2.1 VAREJO

O varejo, de acordo com Mattar (2011), envolve a venda de produtos e serviços para consumo pessoal, familiar ou profissional. Como última etapa da cadeia de suprimentos, o varejo agrega valor aos produtos e serviços oferecidos pelo varejista, tendo como característica principal o contato direto com o consumidor.

Levy, Weitz e Grewal (2014) destacam que o varejo oferece valor ao consumidor por meio de um sortimento de produtos e serviços, venda fracionada de produtos, manutenção de estoque e prestação de serviços. Isso significa que o varejo fornece uma variedade de produtos para escolha, adquire grandes quantidades que são divididas em porções consumíveis, mantém estoques para garantir a disponibilidade de produtos próximos aos consumidores e presta serviços para aumentar o valor do produto ao cliente.

No entanto, o varejo é apenas uma parte de uma complexa rede de fornecimento, a parte que se mostra ao consumidor. O consumidor participa da última transação, mas há múltiplas outras transações entre parceiros de negócios para viabilizar os produtos, denominadas cadeia de suprimentos (AYERS; ODEGAARD, 2008). É importante ressaltar que a eficiência da cadeia de suprimentos tem impacto direto na efetividade do varejo e, conseqüentemente, na satisfação do cliente.

2.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

O conceito de cadeia de suprimentos ou *supply chain* é amplamente discutido na literatura, e pode ser entendido como um conjunto de organizações e atividades que trabalham em conjunto para levar um produto ou serviço ao consumidor final (CHRISTOPHER, 2016). O objetivo da gestão da cadeia de suprimentos é coordenar todas as atividades envolvidas para garantir que o produto chegue ao cliente final de forma eficiente e eficaz, buscando a satisfação do cliente e a redução de custos (WALTERS, 2009).

De acordo com Mentzer *et al.* (2001), a gestão da cadeia de suprimentos tornou-se fundamental para o sucesso dos negócios em um mercado globalizado e altamente competitivo. A coordenação mais estreita entre fornecedores, fabricantes e distribuidores se tornou uma necessidade para garantir a entrega de produtos de alta qualidade de forma rápida e confiável.

A cadeia de suprimentos envolve uma série de atividades, desde a obtenção de matérias-primas até a entrega do produto final aos clientes, passando por fornecedores de insumos, fabricantes, centros logísticos, armazéns, empresas de transporte, atacadistas e varejistas. É importante destacar que a cadeia de suprimentos pode ir além do cliente final, incluindo a reciclagem e reutilização de materiais (WALTERS, 2009).

Portanto, a gestão eficaz da cadeia de suprimentos é um fator crítico para o sucesso dos negócios, garantindo a satisfação do cliente e a redução de custos. É essencial que as organizações envolvidas trabalhem em conjunto para coordenar todas as atividades e garantir que o produto chegue ao consumidor final de forma rápida, confiável e com qualidade (CHRISTOPHER, 2016).

2.2.1. Gestão da cadeia de suprimentos

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é uma função crucial em um ambiente global altamente competitivo, onde o fornecimento de produtos aos clientes com rapidez, eficiência e qualidade é essencial para a sobrevivência das empresas. Segundo o Council of Supply Chain Management Professionals (2013), a gestão da cadeia de suprimentos envolve planejamento e gerenciamento de todas as atividades relacionadas ao fornecimento, aquisição, conversão e gerenciamento de logística. Além disso, é uma função integradora que coordena e colabora com parceiros de negócios, como fornecedores, intermediários, fornecedores de serviços terceirizados e clientes.

De acordo com Christopher (2016), a filosofia subjacente à gestão da cadeia de suprimentos é a de planejar e coordenar o fluxo de materiais da fonte até o usuário como um sistema integrado, em vez de gerenciar o fluxo de mercadorias como uma série de atividades independentes. Essa abordagem permite que as empresas conectem o mercado, a rede de distribuição, o processo de fabricação e a atividade de compras de tal forma que os clientes sejam atendidos em níveis mais altos e ainda a um custo mais baixo. Assim, a gestão da cadeia de suprimentos visa obter vantagem competitiva por meio da redução de custos e melhoria do serviço.

Portanto, a gestão da cadeia de suprimentos é uma função essencial para a sobrevivência e sucesso das empresas, pois integra as principais funções de negócios e processos internos, coordena e colabora com parceiros de negócios e busca obter vantagem competitiva por meio da redução de custos e melhoria do serviço.

2.3 LOGÍSTICA

A logística é uma parte fundamental da gestão da cadeia de suprimentos, definida pelo Council of Supply Chain Management Professionals (2013) como a responsável por planejar, implementar e controlar o fluxo eficiente e eficaz de bens, serviços e informações do ponto de origem ao ponto de consumo, com o objetivo de atender às necessidades dos clientes. Além disso, a logística também abrange atividades como gerenciamento de frota, armazenamento, manuseio de materiais, atendimento de pedidos, projeto de redes logísticas, gerenciamento de estoque, planejamento de oferta/demanda e gerenciamento de prestadores de serviços de logística.

Para entender melhor a logística, Ross (1998) dividiu-a em duas funções distintas, mas interdependentes. A primeira função é o gerenciamento de materiais, que abrange o fluxo de entrada de informações e materiais na empresa, desde o planejamento, compra e controle de estoque, até a fabricação e entrega de produtos acabados ao canal de distribuição. A segunda função é a distribuição física, responsável pelo armazenamento e movimentação de produtos acabados através do canal de distribuição, a fim de atender aos requisitos de atendimento e entrega de pedidos aos clientes.

No gerenciamento de materiais, atividades específicas podem ser identificadas, como aquisição de produtos, incluindo gerenciamento de fornecedores, compras e recebimento, e gerenciamento de estoque, que envolve manuseio e armazenamento de materiais e entrega de mercadorias ao canal de distribuição. Já as atividades de distribuição física incluem armazenamento, transporte, manuseio e controle de produtos acabados, administração de pedidos de clientes e análise de localização do armazém (ROSS, 1998).

Em suma, a logística é uma função importante da gestão da cadeia de suprimentos que visa otimizar o fluxo de materiais e informações para atender às necessidades dos clientes de forma eficiente e eficaz, por meio de atividades que abrangem desde a aquisição de produtos até a entrega ao cliente final.

2.3.1 Logística do varejo

A logística é fundamental para o sucesso de qualquer empresa varejista, uma vez que uma coordenação eficiente das diversas atividades pode reduzir a falta de estoque e melhorar o atendimento ao cliente. Segundo Berman (2018), os principais objetivos logísticos dos varejistas são: relacionar os custos às atividades, colocar e receber pedidos com precisão,

minimizar o tempo de pedido/recebimento, coordenar remessas, ter níveis adequados de mercadorias, distribuir mercadorias para as áreas de vendas e processar pedidos de clientes.

Para Fernie e Sparks (2019), as principais atividades de gestão da logística no varejo são divididas em cinco componentes interconectados: instalações de armazenamento, estoque, transporte, unitização e embalagem, e comunicações. As instalações de armazenamento incluem armazéns, centros de distribuição e almoxarifados de lojas de varejo, que devem ser gerenciados para manter o estoque em antecipação ou reagir à demanda por produtos.

O estoque é uma preocupação constante para os varejistas, que precisam decidir em que quantidade devem manter para cada produto e sua localização para atender às mudanças de demanda. O transporte também é crucial, já que a maioria dos produtos precisa ser transportada em alguma etapa da jornada da produção ao consumo, exigindo o gerenciamento de diferentes formas de transporte, tamanhos de contêineres e veículos, além da programação e disponibilidade de motoristas e veículos (FERNIE; SPARKS, 2019).

A unitização e embalagem dos produtos também são importantes, já que os consumidores muitas vezes tomam decisões de compra com base na apresentação e embalagem dos produtos. Assim, os varejistas devem desenvolver produtos que sejam fáceis de manusear em termos logísticos, que não custem demasiado para embalar ou manusear, mas que mantenham sua capacidade de venda nas gôndolas (FERNIE; SPARKS, 2019).

Por fim, as comunicações são essenciais para levar os produtos até onde os varejistas precisam. É necessário ter informações sobre a demanda, oferta, volumes, estoque, preços e movimentos dos produtos, e os varejistas têm se preocupado cada vez mais em capturar dados em pontos apropriados do sistema e usar essas informações para ter uma operação logística mais eficiente e eficaz (FERNIE; SPARKS, 2019).

2.3.2 Custos Logísticos

A logística é uma atividade fundamental para as empresas, que pode ser um diferencial competitivo e uma fonte de receita. No entanto, os custos logísticos estão diretamente relacionados à qualidade dos serviços oferecidos aos clientes. Isso porque, para melhorar esses serviços, muitas vezes é necessário aumentar os custos logísticos (BALLOU, 2006). Além disso, a redução de custos em uma área da logística pode levar a um aumento de custos em outra área, resultando em um aumento dos custos totais de logística (MUHA, 2019).

Os processos logísticos, que incluem atividades como transporte, armazenamento, gerenciamento de estoques e processamento de informações, consomem recursos e geram custos. Em alguns setores, esses custos podem representar mais de 20% do faturamento da

empresa. Os estoques, por exemplo, geram custos relacionados à manutenção, como riscos, perdas, seguros e avarias. Além disso, os custos de armazenagem envolvem gastos com infraestrutura física, colaboradores e administração dos estoques. Já os custos de transporte estão relacionados à movimentação de bens e à infraestrutura de transporte (RODRIGUEZ et al., 2014).

Outras atividades logísticas também geram custos, como a operação de processamento de pedidos, que envolve a separação, recebimento e expedição de pedidos e relatórios de sua situação. Os custos envolvidos nessa atividade incluem mão de obra, materiais, equipamentos e uso de instalações (BALLOU, 2006). A embalagem também é um fator importante que gera custos na logística, uma vez que a maioria dos produtos é movimentada com algum tipo de embalagem. Esses custos estão relacionados à produção, montagem, desmontagem, recuperação, manutenção, reciclagem e descarte das embalagens (AMARAL, 2012).

Em resumo, a logística é uma atividade essencial para as empresas, mas também pode gerar custos significativos. A redução desses custos pode ser um desafio, uma vez que a melhoria dos serviços logísticos muitas vezes implica em um aumento dos custos. É importante, portanto, que as empresas analisem cuidadosamente seus processos logísticos e identifiquem oportunidades de redução de custos sem comprometer a qualidade dos serviços oferecidos aos clientes.

2.3.2.1 Custos com instalações de armazenamento

“A armazenagem possui como função estocar os produtos de forma a atender demandas em diferentes lugares e períodos com a qualidade devida. Seu custo influencia de forma direta a viabilidade da utilização da atividade de armazenagem.” (PÉRA et al., 2016). A maioria dos custos é fixa e indireta, proporcional à capacidade instalada, o que significa que boa parte dos custos continuará ocorrendo, independentemente da quantidade de produtos armazenados. Essa natureza indireta dificulta a alocação dos custos aos produtos e clientes, geralmente feita por meio de rateios, o que pode levar a imprecisões (LIMA, 2000).

A literatura não é conclusiva sobre qual a melhor fórmula de cálculo dos custos de armazenamento. No entanto, de acordo com Paoleschi (2014), em geral, os custos de armazenamento incluem despesas com aluguel das instalações de armazenagem (mesmo um espaço próprio possui um custo de capital imobilizado que pode ser considerado), Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), água, energia, internet, equipamentos de movimentação de materiais, segurança patrimonial, seguro, mão de obra e outros custos relacionados ao produto ou operação da empresa.

Para calcular o custo de armazenagem de um item específico, os custos somados para um período são divididos pelos dias desse intervalo de tempo para obter um coeficiente diário de custo de armazenagem. Em seguida, esse coeficiente é dividido pela cubagem da área utilizável do armazém para obter um coeficiente de custo diário por metro cúbico. Finalmente, esse coeficiente é aplicado ao estoque médio diário do item para obter o custo de armazenagem da unidade de manutenção de estoque (*Stock Keep Unit SKU*) (PAOLESCI, 2004).

Em resumo, o custo de armazenamento é uma importante consideração na gestão de estoque e na determinação da viabilidade da atividade de armazenagem. Embora a alocação dos custos seja uma tarefa desafiadora, a identificação adequada dos custos envolvidos na atividade pode ajudar a empresa a tomar decisões informadas e a otimizar seus processos de armazenagem.

2.3.2.2 Custos com estoque

A gestão de estoques é fundamental para empresas que buscam maximizar sua eficiência operacional e reduzir custos. Martelli e Dandaro (2015) definem estoques como bens físicos, que aguardam venda, transporte ou utilização, e que cumprem a função de propiciar a disponibilidade de produtos ou materiais para o consumo ou venda. Além disso, os estoques permitem a compra em lotes econômicos e a eficiência no atendimento de necessidades, proporcionando economia de escala (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

“É importante saber a diferença entre custos de estoque e armazenagem. São consideradas custos de armazenagem todas as atividades que se referem à alocação, guarda, embalagens e movimentação dos materiais. Já os custos de estoque incluem o custo dos bens adquiridos, os custos financeiros do estoque e o custo das perdas.” (PAOLESCI, 2004).

O custo dos bens adquiridos corresponde ao valor pago pela empresa compradora nas mercadorias adquiridas, multiplicado pela quantidade. Esse custo pode ser reavido quando da comercialização do bem (KOXNE, HAUSSMANN; BEUREN, 2006). Já o custo das perdas é calculado a partir do custo de aquisição da mercadoria, multiplicado pela quantidade de itens avariados.

O custo financeiro de estoque é um dos tipos de custos mais importantes, considerado como custo de oportunidade. O capital imobilizado na forma de estoques impacta diretamente na rentabilidade dos acionistas, e o custo de oportunidade refere-se a uma possível perda de rentabilidade ao optar-se por uma alternativa em detrimento de outra. Nesse sentido, é

importante avaliar o retorno que o capital investido em estoque traria se fosse investido em outro projeto da empresa (LIMA, 2003).

O custo de venda perdida é outra dimensão importante dos custos de estoque e refere-se à perda de venda devido à falta de produto para atender a demanda. Isso pode levar a um resultado negativo para a marca e à perda de clientes. Esse custo pode ser calculado pela margem de contribuição unitária do produto, utilizando o conceito de custo de oportunidade (LIMA, 2003).

Portanto, é essencial que as empresas realizem uma gestão eficiente de seus estoques, levando em consideração todos os custos envolvidos e procurando maximizar a eficiência operacional. Cabe ressaltar que os custos de estoque não foram considerados neste trabalho.

2.3.2.3 Custos com transporte

O transporte é um elemento crucial na cadeia logística, sendo o maior responsável pelos custos logísticos de uma empresa (CHOPRA; MEINDL, 2003). De acordo com Ventura e Freccia (2015), os custos de transporte se dividem em fixos, que não variam com a distância percorrida, e variáveis, que se alteram com a distância e o uso do veículo. Os autores também destacam alguns fatores que influenciam nos custos de transporte, como a distância percorrida, o volume e a densidade da carga, o acondicionamento, o manuseio, o trânsito, a carga de retorno e a especificidade do veículo.

Além disso, Amaral (2012) ressalta que a distância, o volume e a densidade são fontes de economia de escala, uma vez que, à medida que aumentam, diminuem os custos unitários. Já os custos de transporte rodoviário de cargas envolvem diversos elementos, como combustível, pneus, lubrificantes, Imposto Sobre Propriedade de Veículo Automotor (IPVA), seguros, pedágio, remuneração de capital e depreciação do veículo, além da remuneração do motorista e ajudantes. Para calcular esses custos, Ventura e Freccia (2015) indicam que os custos fixos são calculados em relação a um período, enquanto os custos variáveis são calculados em termos das variáveis que os impactam.

Em suma, compreender os custos de transporte é fundamental para garantir uma gestão eficiente da cadeia logística, levando em consideração não apenas os custos diretos, mas também os fatores que influenciam nesses custos e as formas de otimizá-los.

2.3.2.4 Gestão de custos logísticos

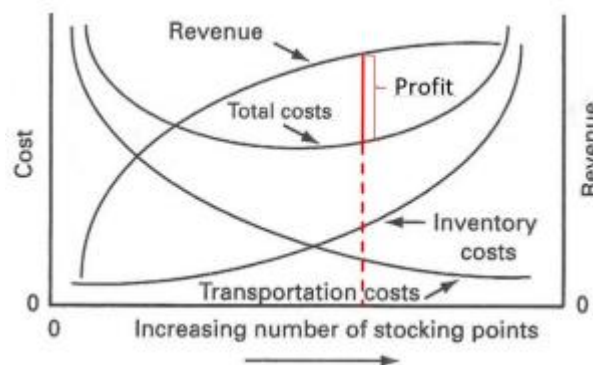
Na gestão logística, as empresas frequentemente se deparam com escolhas estratégicas que envolvem ganhos em um aspecto e perdas em outro, conhecidas como trocas compensatórias. De acordo com Chase e Jacobs (2004), essas trocas ocorrem quando o aumento de uma ou várias variáveis de custos logísticos propiciam a redução de outras variáveis ou ainda, o aumento do nível de serviço oferecido ao cliente e vice-versa.

Por exemplo, aumentar os custos com embalagem pode resultar em melhorias na armazenagem e no manuseio dos bens, mas também pode elevar os custos totais da empresa. (RUSHTON; CROUCHER; BAKER, 2002). Da mesma forma, a centralização dos estoques pode reduzir os custos de armazenagem, mas aumentar os custos com transporte (AGARWAL, 2013).

A gestão logística deve ter uma visão mais ampla, considerando as trocas compensatórias entre as atividades e a cadeia como um todo. Como destacado por Amaral (2012), a redução de um custo pode levar ao aumento de outros custos ou à diminuição do serviço oferecido ao cliente. É fundamental analisar minuciosamente as atividades logísticas para agregar valor à cadeia e ao cliente (MARTINS, 2008).

A figura 1 ilustra como a maximização da receita requer uma análise combinada da troca compensatória entre os custos de transporte e os custos de armazenagem. Como afirmam Chase e Jacobs (2004), trocas compensatórias são uma realidade geral na gestão logística, e uma empresa não consegue se destacar em todas as dimensões competitivas sem recursos abundantes. A escolha estratégica é influenciada por incompatibilidade entre atividades ou pela necessidade de um mesmo recurso. Por isso, é necessário um cuidadoso equilíbrio entre as trocas compensatórias para atingir os objetivos da organização.

Figura 1 – Receita, lucro e custos em função do número de armazéns.



Fonte: MARTINS (2018).

2.4 OTIMIZAÇÃO

A otimização pode ser definida como o processo de encontrar a melhor solução possível para um problema, sujeito a um conjunto de restrições. Em outras palavras, busca-se tomar a melhor decisão dentro de um determinado domínio, a partir da maximização ou minimização de uma função matemática de valor real chamada "função objetivo". Esta função é geralmente uma combinação linear de variáveis de decisão, que são os parâmetros que o usuário do modelo tem o poder de controlar (CONEJO, 2006).

De acordo com Chong e Zak (2013), um problema de otimização pode ser descrito como:

$$\begin{aligned} & \min \text{ ou } \max f(x) \\ & \text{sujeito a: } x \in \Omega \end{aligned} \tag{1}$$

onde $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ é a função objetivo, o vetor $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in \mathbb{R}^n$ é um n-vetor de variáveis independentes, chamadas de variáveis de decisão e Ω é um subconjunto de \mathbb{R}^n , chamado de conjunto de restrições ou espaço possível de solução.

Na análise de um problema de otimização, é necessário identificar parâmetros que estão fora do controle do projetista e identificar as variáveis de decisão, cujos valores se deseja conhecer (SILVA et al., 1996). As restrições definem a "região de viabilidade" do problema, que é um conjunto de soluções viáveis. Essas restrições geralmente representam limitações de recursos disponíveis ou exigências e condições que devem ser cumpridas no problema. A região de viabilidade deve incluir muitas decisões possíveis para que o problema de otimização faça sentido. Se nenhuma decisão ou apenas uma decisão for possível, o problema de otimização não tem interesse prático (CONEJO, 2006).

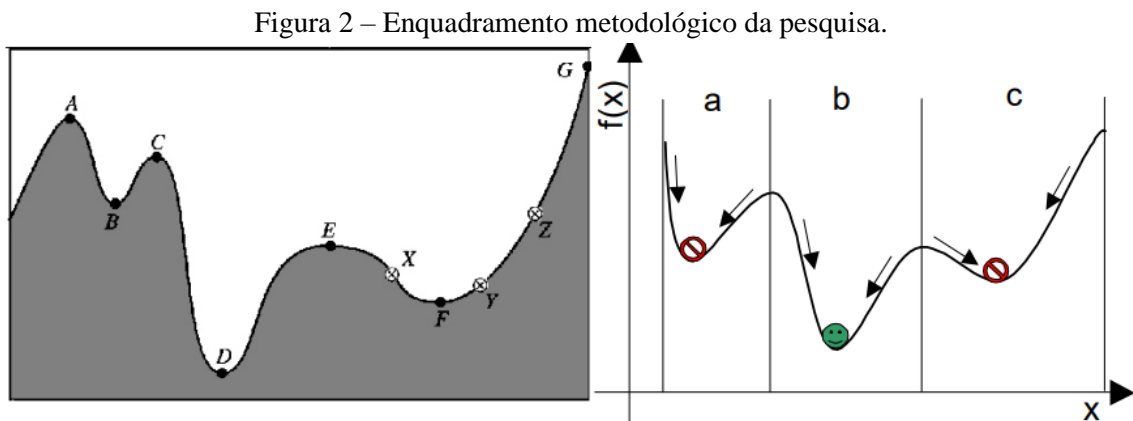
A região de viabilidade é formalmente definida por meio de condições de igualdade e desigualdade, que são chamadas de restrições do problema. Cada uma dessas condições é expressa matematicamente através de uma função de valor real das variáveis de decisão. Um problema de otimização linear pode ser representado por um objetivo linear e restrições lineares, como por exemplo:

$$\begin{aligned} \max z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{Sujeito a: } &x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

(2)

onde c_j , a_{ij} e b_i são constantes conhecidas. No entanto, muitos problemas práticos não podem ser representados pelo modelo de programação linear, o que deu origem à programação não linear. Problemas não lineares apresentam maior dificuldade de serem resolvidos, pois a solução ótima pode ocorrer em um ponto interno ou na fronteira do conjunto factível. Além disso, um ótimo local pode não ser global, tornando o problema mais difícil, como mostrado na Figura 2. A maioria das técnicas computacionais para programação não linear visa encontrar uma solução local do problema (SINHA, 2006).



Fonte: <https://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/ProgramacaoNaoLinear.pdf> (2023).

2.4.1.1 Otimização multiobjetivo

Considere o cenário de escolhas de investimento em um processo industrial, onde o lucro deve ser maximizado e as emissões ambientais devem ser minimizadas. Este é um exemplo de um problema de otimização multiobjetivo, onde não existe um mínimo ou máximo ótimo, mas sim um conjunto de soluções possíveis, conhecido como soluções de Pareto. Descobrir ou aproximar o conjunto de soluções possíveis e fazer uma seleção entre elas é o principal tópico da otimização multiobjetivo e da tomada de decisão multicritério (EMMERICH; DEUTZ, 2018).

Na maioria dos problemas de engenharia, é necessário otimizar uma série de objetivos conflitantes, onde cada objetivo possui sua própria função objetivo. O problema é formalmente apresentado como:

$$\min \text{ ou } \max f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_l(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{bmatrix}$$

sujeito a: $x \in \Omega$

(3)

onde a função $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^l$ e $\Omega \subset \mathbb{R}^n$. O objetivo é encontrar uma variável de decisão que satisfaça as restrições dadas e otimize uma função vetorial cujos componentes são funções objetivo (CHONG; ZAK, 2013).

Na logística, um exemplo de problema de otimização multiobjetivo é a seleção de fornecedores. Nesse caso, a escolha consiste em quais fornecedores serão selecionados e de quanto será o pedido a cada um dos fornecedores escolhidos. Os fatores a serem avaliados são o custo total, a taxa de rejeição de produtos, a taxa de entrega atrasada e o grau de flexibilidade do fornecedor. A seleção dos fornecedores é realizada pela melhor combinação desses critérios. Outro exemplo na logística é o projeto da cadeia de suprimentos, que envolve a localização, quantidade, capacidade e o tipo dos armazéns, centros de distribuição e outras estruturas. Os objetivos são minimizar os custos da cadeia de suprimentos e maximizar o nível de flexibilidade e o nível de serviço ao cliente (TRISNA et al., 2016).

2.4.2 Programação matemática

Antes de iniciar o processo de otimização em um problema, é necessário construir um modelo que seja capaz de abordar as decisões de maneira precisa e formal (CONEJO, 2006). Um modelo é uma estrutura construída propositalmente para exibir algumas características de um objeto, mantendo apenas aquelas que são relevantes para o objetivo da modelagem. Os modelos podem ser concretos ou abstratos, sendo que estes últimos são geralmente matemáticos, utilizando simbolismo algébrico para espelhar os relacionamentos internos do objeto modelado (WILLIAMS, 2013).

Dentre os modelos mais utilizados em pesquisa operacional e ciências de gestão, encontra-se o programa matemático, que é um modelo matemático envolvendo um conjunto de relações matemáticas, leis físicas e restrições de marketing. Seu uso se tornou tão bem-sucedido que passou a ser utilizado como uma ferramenta de planejamento de forma rotineira (WILLIAMS, 2013).

A modelagem de um problema de pesquisa operacional e, em particular, de programação matemática envolve três aspectos fundamentais: a definição das decisões a serem

tomadas, as restrições que limitam as escolhas das decisões e os objetivos que determinam preferências na escolha de decisões. Uma solução factível (ou viável) para o modelo é uma escolha para os valores das variáveis que satisfaz todas as restrições. Uma solução ótima é uma solução factível que minimiza a função objetivo. Pode-se ter uma ou múltiplas soluções ótimas para um modelo, todas com o mesmo valor da função objetivo. Um método ótimo (ou exato) para um modelo de otimização é aquele que gera uma solução ótima (ARENALES *et al.*, 2007).

Um exemplo de problema logístico é o de transporte e distribuição de produtos dos centros de produção aos mercados consumidores, onde se deseja transportar os produtos de modo que o custo total seja o menor possível, aplicável aos mais variados tipos de produtos: petróleo, equipamentos, máquinas, produção agrícola e energia elétrica (ARENALES *et al.*, 2007).

Existem diferentes classificações para problemas de programação matemática, dependendo das variáveis e da natureza matemática da função objetivo, e das restrições. Se as variáveis envolvidas são contínuas e tanto a função objetivo quanto as restrições são lineares, o problema é denominado “problema de programação linear”. Se alguma das variáveis envolvidas for inteira ou binária, enquanto as restrições e a função objetivo forem lineares, o problema é denominado “problema de programação linear inteira mista”. Analogamente, se a função objetivo ou qualquer restrição for não linear e todas as variáveis forem contínuas, o problema é denominado “problema de programação não linear”. Se, adicionalmente, qualquer variável for inteira, o problema correspondente é denominado “problema de programação não linear inteira mista” (CONEJO, 2006).

Problemas de programação linear são rotineiramente resolvidos, mesmo que envolvam centenas de milhares de variáveis e restrições. Isso se deve ao fato de que existe uma classe de algoritmos eficientes para resolver problemas de programação linear, como o Método Simplex e seus aprimoramentos. Esses métodos têm sido implementados em softwares especializados, como o CPLEX, Gurobi e MOSEK, tornando a resolução de problemas de programação linear uma tarefa bastante acessível. Por outro lado, os problemas de programação não linear são mais complexos e exigem um tratamento mais específico. Embora a teoria matemática por trás da programação não linear seja bem desenvolvida, a solução prática de problemas desta ainda é um desafio, principalmente quando há restrições de igualdade e desigualdade e a função objetivo não é linear. Já os problemas de programação linear inteira mista e programação não linear inteira mista apresentam maior dificuldade computacional, pois envolvem a otimização simultânea de variáveis inteiras e contínuas. Por isso, são geralmente mais difíceis de resolver e exigem algoritmos mais sofisticados. No entanto, a resolução de problemas de programação

inteira mista tem sido bastante explorada nas últimas décadas, e existem diversos softwares especializados, como o CPLEX e o Gurobi, amplamente utilizados na prática (Conejo, 2006).

Este trabalho consiste em um problema de programação não linear, o que exige uma análise específica anterior a tentativa de resolução do problema.

2.5 ANÁLISE DE CUSTO-EFETIVIDADE

A análise de custo-efetividade é uma abordagem microeconômica que compara cursos alternativos de ação em termos de custos e consequências (Drummond et al., 1997). Essa análise envolve a consideração sistemática de alternativas de decisão que levam em conta tanto os custos quanto as consequências envolvidas. Trata-se de uma ferramenta que auxilia na tomada de decisões, visando identificar os meios mais eficientes para atingir objetivos específicos no campo empresarial. A análise de custo-efetividade está estreitamente relacionada à análise de custo-benefício, pois ambas envolvem avaliações econômicas do uso alternativo de recursos e mensuram os custos de maneira similar. No entanto, a análise de custo-benefício é utilizada apenas em situações em que os resultados podem ser expressos em termos monetários (Levin, 1995).

O objetivo da análise de custo-efetividade na logística é determinar qual estratégia ou combinação de estratégias pode alcançar objetivos específicos com o menor custo. Parte-se do pressuposto de que diferentes alternativas estão associadas a diferentes custos e resultados logísticos. Ao selecionar aquelas com menor custo para um determinado resultado, a empresa pode utilizar seus recursos de forma mais eficaz. Os recursos economizados ao adotar abordagens mais custo-efetivas podem ser direcionados para expandir operações ou outras iniciativas logísticas e empresariais relevantes (Levin, 1995).

Antes de iniciar a análise de custo, é necessário identificar o problema de decisão, determinar como mensurar a efetividade, quais alternativas estão sendo consideradas e quais são seus efeitos. Após a formulação do problema, é necessário avaliar a efetividade das alternativas, para o que são necessárias dimensões claras e medidas apropriadas de efetividade. É importante destacar que a avaliação da efetividade é separada da avaliação dos custos (Robinson, 1993).

Os custos de uma intervenção são definidos como o valor dos recursos que a sociedade precisa renunciar para realizar a intervenção. Esses recursos são denominados "ingredientes" da intervenção, e é o valor social desses ingredientes que constitui o custo total (Robinson, 1993).

A medida mais comum de custo-efetividade é a razão custo-efetividade, que representa a relação entre a efetividade de uma alternativa e seu custo. Ao calcular essa razão para cada alternativa, é possível determinar qual delas oferece os melhores resultados em termos de custo. Em princípio, a alternativa com menor custo por ganho de desempenho seria a mais desejável (Levin, 1983).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são descritos os procedimentos de execução do trabalho. Primeiramente, é realizado o enquadramento metodológico do estudo em termos de área, natureza, abordagem, tipo de coleta de dados e metodologia de pesquisa. Em seguida, são apresentados detalhadamente os procedimentos utilizados na execução do trabalho.

“A importância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de embasamento científico adequado, geralmente caracterizado pela busca da melhor abordagem de pesquisa a ser utilizada para endereçar as questões da pesquisa, bem como seus respectivos métodos e técnicas para seu planejamento e condução. O resultado é o desenvolvimento de trabalhos melhor estruturados que podem ser replicados e aperfeiçoados por outros pesquisadores visando, acima de tudo, a busca do desenvolvimento da teoria, por meio de sua extensão ou refinamento ou, em última instância, da proposição de novas teorias, contribuindo assim para a geração de conhecimento” (CAUCHICK MIGUEL, 2007).

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

O estudo realizado no âmbito da engenharia de produção, com a caracterização de área e subárea pela ABEPRO, envolveu conhecimentos da logística e utilização de modelos matemáticos para resolver problemas reais. De acordo com Arenales et al. (2007), este trabalho se enquadra na área de Pesquisa Operacional, com subárea em Modelagem, Simulação e Otimização, que visa auxiliar nos processos de decisão em situações que envolvem a alocação eficiente de recursos escassos.

O estudo apresenta natureza aplicada, com o objetivo de gerar conhecimentos práticos para solucionar problemas específicos, neste caso, o problema de distribuição de produtos do ponto de armazenagem até o ponto de consumo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

A abordagem utilizada neste estudo é quantitativa, como definido por Cauchick Miguel et al. (2012), que tem como objetivo traduzir os conceitos contidos no problema de pesquisa e suas soluções provisórias em variáveis mensuráveis, dados que serão coletados e analisados. As informações correlacionadas ao problema são de natureza quantitativa, como custos, distâncias e propriedades gerais dos produtos.

A coleta dos dados foi realizada na fonte primária, diretamente na organização estudada. Conforme descrito por Mattar (2005), dados primários são pesquisados para atender

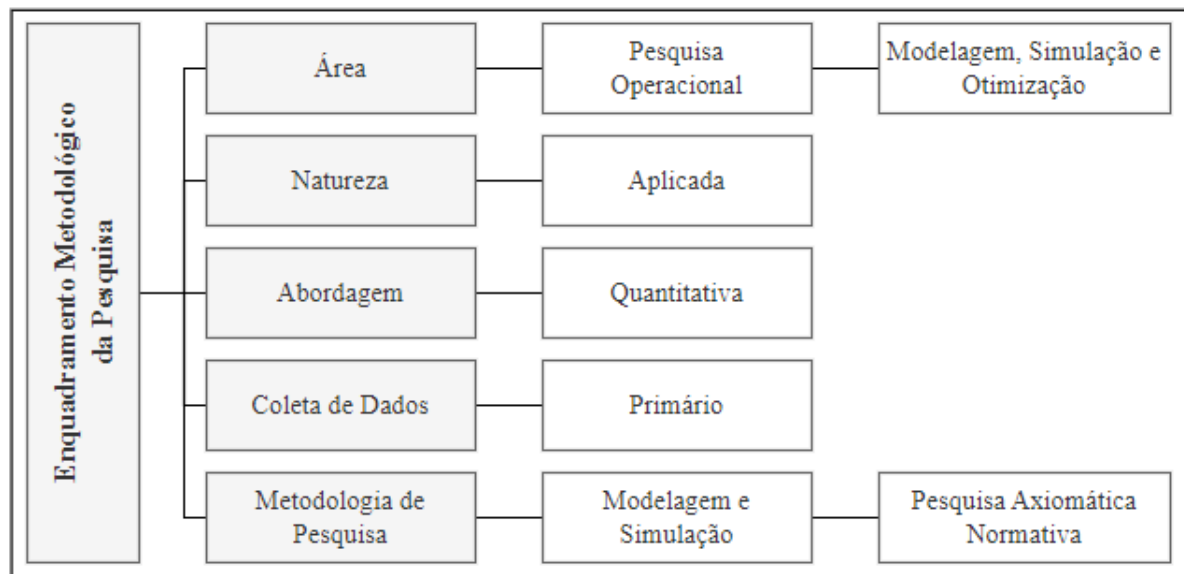
às necessidades específicas do estudo e não passam por manipulação ou tratamento de qualquer forma.

A metodologia de pesquisa utilizada neste estudo foi a modelagem e simulação, que segundo Berto e Nakano (1999), corresponde à representação matemática do funcionamento de um sistema ou parte dele por meio de um conjunto de equações denominado modelo. A simulação, por sua vez, é a aplicação do modelo matemático por meio de técnicas computacionais e simula o comportamento do sistema modelado (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

O estudo também pode ser classificado como pesquisa axiomática normativa, que tem como objetivo propor novos modelos de otimização ou modificar modelos existentes, buscando encontrar uma solução ótima para um problema ou comparar estratégias que abordam um mesmo problema (CAUCHICK MIGUEL et al., 2012).

O enquadramento metodológico da pesquisa é apresentado na Figura 3, resumindo o método utilizado no desenvolvimento desta monografia.

Figura 3 – Enquadramento metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Na pesquisa operacional, o primeiro passo é definir o problema a ser estudado, que inclui a delimitação dos objetivos e decisões envolvidos, bem como a construção de um modelo conceitual do sistema. Segundo Hillier e Lieberman (2006), o modelo conceitual é uma representação simplificada do problema real, onde são descritas as hipóteses e limitações sob as quais ele funciona.

Em seguida, as informações coletadas são usadas na construção de um modelo matemático, que pode ser feito por meio de relações matemáticas ou lógicas de simulação. Esse modelo é então resolvido com a ajuda de métodos de solução e algoritmos, além de serem executados testes para avaliar a consistência e desempenho do modelo matemático e sua implementação computacional. A etapa seguinte é a validação do modelo, que avalia se o modelo proposto descreve adequadamente o sistema real, considerando as limitações e hipóteses assumidas na primeira etapa. Por fim, é realizada a implementação da solução, que consiste na tradução dos resultados obtidos com o modelo em conclusões ou decisões (CAUCHICK MIGUEL et al., 2012).

3.2.1 Definição do problema

Na primeira fase deste estudo, o escopo do problema foi delimitado como o processo logístico de abastecimento de uma loja de materiais de construção, onde um veículo é responsável por abastecer o estoque da loja a partir do centro de distribuição. Como uma estratégia alternativa, foi proposto utilizar as lojas físicas do varejista como pontos de redistribuição de produtos para repor o estoque de outras lojas. Além disso, foi elaborada outra estratégia que consiste em uma loja receber produtos diretamente do fornecedor e abastecer o estoque de outras unidades. O objetivo em questão ficou definido como a avaliação dessas estratégias e a determinação de qual seria a mais eficiente em relação à redução dos custos logísticos envolvidos na operação de abastecimento.

Para atingir esse objetivo, um modelo conceitual do problema foi desenvolvido. Esse modelo é uma abstração do processo real que descreve o comportamento do sistema, considerando apenas algumas variáveis relevantes. No modelo conceitual, são consideradas as atividades de transporte, distribuição e armazenamento de produtos, além das especificações e limitações das instalações de armazenamento, dos meios de transporte e do processo de abastecimento. O objetivo foi garantir a disponibilidade dos produtos na quantidade, local e prazo corretos ao menor custo possível.

3.2.2 Construção do modelo matemático

As informações e o modelo conceitual desenvolvidos na etapa anterior foram utilizados para o desenvolvimento do modelo de otimização. Cada atividade do processo foi relacionada a uma parcela independente no modelo, sendo uma para expressar o transporte, uma segunda para o armazenamento e uma terceira para uma relação do modelo com o

atendimento da demanda. Além disso, estabeleceu-se uma relação da atividade com seu respectivo custo, de modo que o resultado do modelo fosse apresentado em termos monetários.

No entanto, alguns custos adicionais do processo de movimentação de produtos, como os custos fiscais e de avaria, foram desconsiderados devido à sua baixa representatividade e à dificuldade em mensurá-los.

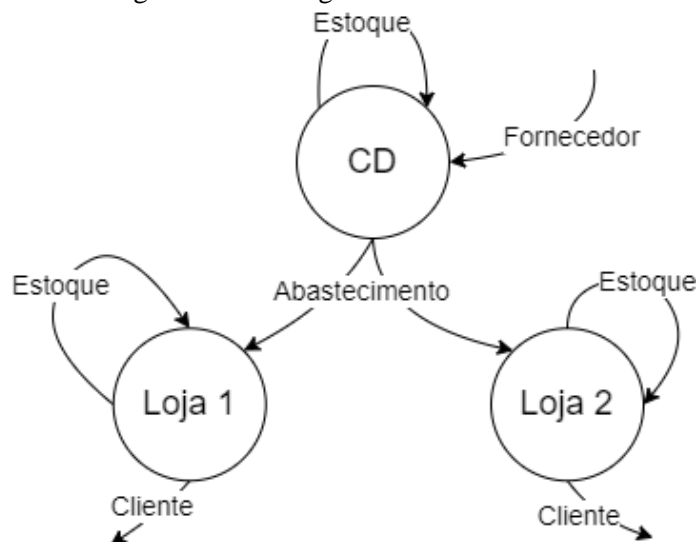
Por fim, devido às características do processo de abastecimento, a modelagem precisou incluir não linearidades e restrições relacionadas às limitações dos transportadores e dos locais de armazenagem. Além disso, foram estabelecidas condições de não negatividade e de não fracionamento das variáveis, de forma a tornar o modelo compatível com a realidade do problema em questão.

3.2.3 Solução do modelo

Nesta etapa, foram primeiramente definidas as características de cada uma das estratégias de abastecimento, assim como as alterações necessárias no modelo devido a condições e restrições específicas associadas à execução de cada estratégia, sendo:

- Estratégia A: o abastecimento das lojas é realizado exclusivamente pelo centro de distribuição. O modelo considera somente as rotas entre a loja e o CD, como demonstra a Figura 4;

Figura 4 – Estratégia de abastecimento A.

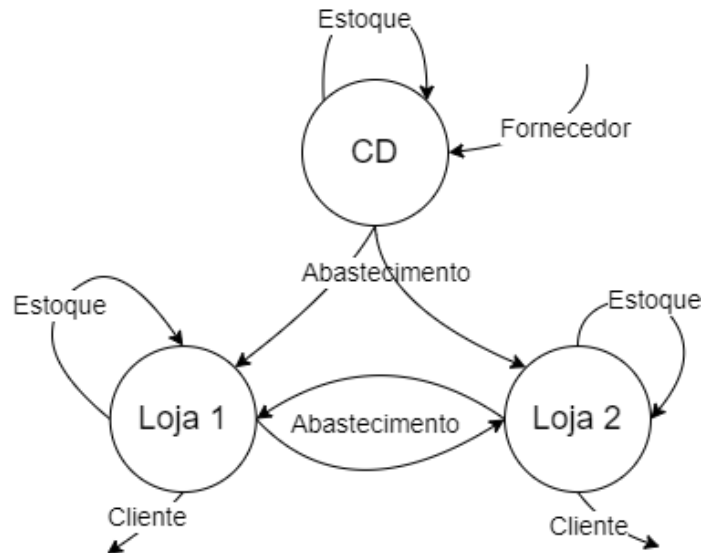


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

- Estratégia B: o abastecimento das lojas é realizado tanto pelo centro de distribuição quanto por outras lojas, de modo que o estoque dessas unidades é utilizado para redistribuição do estoque entre as unidades. O modelo de abastecimento tem a

flexibilidade de usar rotas tanto entre o centro de distribuição e as lojas quanto entre as próprias lojas, como pode ser visto na Figura 5.

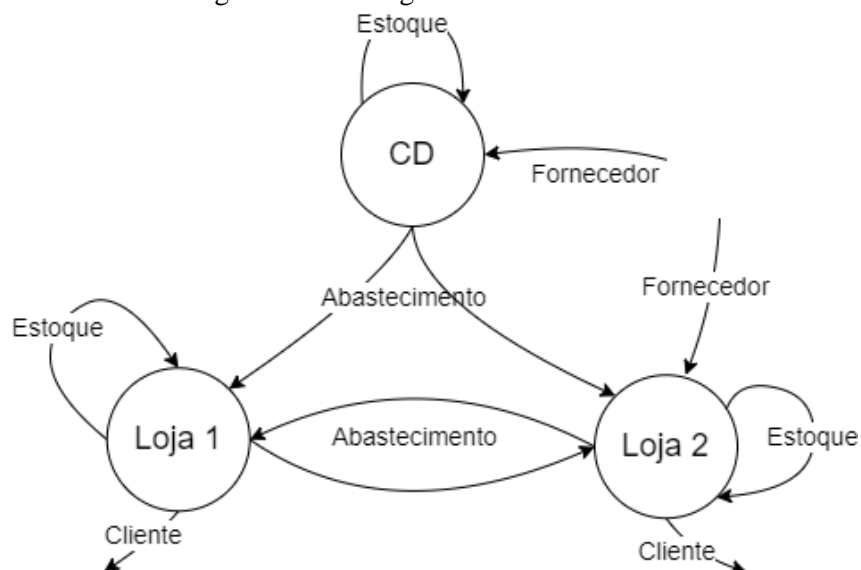
Figura 5 – Estratégia de abastecimento B.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

- **Estratégia C:** esta estratégia representa uma extensão da estratégia anterior (Estratégia B), adicionando o recebimento direto por uma das lojas de produtos por parte do fornecedor, em intervalos predefinidos. Além do abastecimento pelo centro de distribuição e outras lojas, esta remessa extra de produtos serve como uma alternativa as unidades para reduzir a dependência do abastecimento pelo centro de distribuição. A Figura 6 ilustra como a Loja 2 recebe produtos diretamente do fornecedor da mesma forma que o centro de distribuição.

Figura 6 – Estratégia de abastecimento C.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em seguida, foi desenvolvido o cenário de aplicação do modelo, que consiste em uma representação simplificada da situação real. Nesse cenário, foram estabelecidos parâmetros, variáveis e restrições relevantes para o problema em questão, com o objetivo de aplicar o modelo matemático e obter soluções que permitam avaliar e comparar estratégias. Os elementos essenciais do problema, como a quantidade e as características dos centros de distribuição, lojas, tipos de veículos de abastecimento, portfólio de produtos e período de tempo em dias, foram definidos no cenário de aplicação.

O cenário foi criado levando em conta as limitações do método de solução utilizado, resultando em um número limitado de períodos para a execução do modelo. Essas decisões foram tomadas para garantir a viabilidade computacional e considerar as limitações do método escolhido. Devido a essas restrições, apenas uma parte da estrutura da empresa foi incluída no cenário, porém as situações mais desfavoráveis para a malha logística foram consideradas, a fim de obter resultados representativos na avaliação das estratégias propostas.

Ainda nesta etapa, seguindo o cenário proposto, procedeu-se à coleta de informações relacionadas ao processo de abastecimento e suas entidades, tais como as dimensões e localizações dos locais de armazenamento, além dos históricos de vendas e custos. Os dados utilizados como referência para este levantamento são do mês de setembro de 2022 e refletem as condições vigentes na empresa neste período. É importante destacar que, devido à natureza sensível das informações, os dados gerais utilizados na construção dos dados inseridos no modelo foram mencionados, mas seus valores foram omitidos, sendo apresentados no trabalho apenas os valores necessários para resolver o modelo.

Posteriormente, o modelo foi solucionado para cada uma das estratégias, seguindo as especificações do cenário estabelecido, com o objetivo de encontrar a solução ótima para cada situação. O modelo foi implementado no Microsoft Excel e resolvido utilizando o Microsoft Solver, um suplemento do Excel que permite encontrar o valor ideal, considerando as restrições e limitações estabelecidas. A Figura 7 apresenta a tela de apresentação do Solver. No Solver, foi utilizado o método de solução Evolutionary, adequado para resolver problemas não-lineares mais complexos, fornecendo uma solução ótima global. O Solver é capaz de lidar com problemas que envolvam até 200 variáveis de decisão, 100 restrições implícitas e 400 restrições simples (como limites inferiores e superiores e/ou restrições de inteiro nas variáveis de decisão).

Figura 7 – Visão do Solver do Microsoft Excel.

Definir Objetivo:

Para: Máx. Mín. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

- \$AF\$4:\$AK\$8 <= \$J\$17
- \$AN\$4:\$BA\$8 >= 0
- \$AO\$4:\$AO\$8 <= \$AN\$19
- \$AQ\$4:\$AQ\$8 <= \$AP\$19
- \$AS\$4:\$AS\$8 <= \$AR\$19
- \$AU\$4:\$AU\$8 <= \$AT\$19
- \$AW\$4:\$AW\$8 <= \$AV\$19
- \$AY\$4:\$AY\$8 <= \$AX\$19
- \$BS\$4:\$AE\$8 <= \$J\$19
- \$B\$4:\$AK\$8 = número inteiro

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Botões: Adicionar, Alterar, Excluir, Redefinir Tudo, Carregar/Salvar, Opções

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.4 Análise e interpretação dos resultados

Como etapa final, os resultados obtidos pela resolução do modelo para cada uma das estratégias foram organizados e comparados para determinar a solução mais eficiente e economicamente viável para a operação logística de abastecimento da empresa. Essa comparação foi realizada por meio de uma análise de custo-efetividade.

Além dos custos de implementação das estratégias, que incluem os custos de transporte, armazenagem e demanda não atendida, os seguintes indicadores de desempenho foram considerados na avaliação das estratégias: nível de serviço, ocupação média dos veículos, número de viagens realizadas e distância percorrida pelos veículos.

O nível de serviço refere-se à capacidade de atender às necessidades e expectativas dos clientes, como disponibilidade de produtos, precisão de pedidos e condições de entrega. A ocupação média dos veículos avalia a eficiência do transporte, medindo a proporção do espaço do veículo utilizado em relação à sua capacidade total. O número de viagens indica a quantidade de viagens necessárias para realizar as entregas, e uma menor quantidade indica um uso mais eficiente dos recursos de transporte. A distância percorrida durante o transporte dos produtos também é avaliada, buscando-se minimizá-la para reduzir custos e tempo de entrega.

Para determinar a relação de custo-efetividade, cada métrica foi normalizada utilizando a técnica de normalização min-max. Isso permitiu transformar os valores de cada métrica em uma escala entre 0 e 1, condição necessária ao seu agrupamento. Após a normalização, os valores das métricas foram somados para cada estratégia.

Finalmente, o custo de cada estratégia em reais foi dividido pela soma dos valores normalizados das métricas, resultando no índice de custo-efetividade para cada estratégia. Esse índice permitiu identificar qual estratégia foi a mais eficiente em termos do custo de cada unidade de efetividade no processo de abastecimento.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo discorre sobre a execução do estudo, seguindo os procedimentos delineados no capítulo anterior. Inicialmente, são fornecidos detalhes sobre a empresa selecionada como objeto de estudo, incluindo sua estrutura e operações logísticas relacionadas ao abastecimento. Em seguida, é apresentado o modelo conceitual do processo logístico. Posteriormente, são fornecidos detalhes sobre o modelo de programação matemática desenvolvido, juntamente com as estratégias de abastecimento consideradas. Por fim, é descrito o cenário de aplicação do modelo e são apresentados os dados coletados, necessários para a resolução do problema proposto.

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

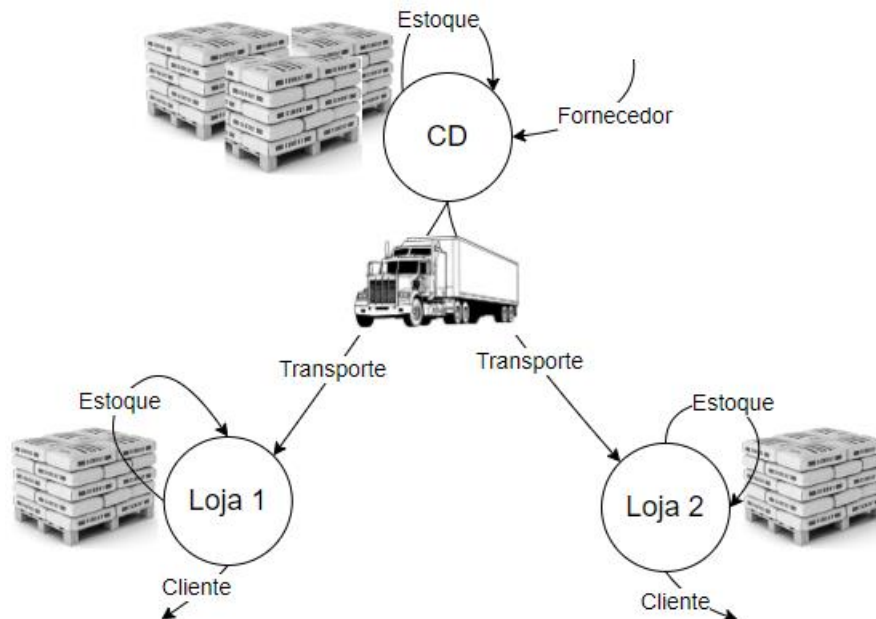
O presente estudo foi conduzido em uma empresa varejista de grande porte que opera no mercado de materiais de construção e decoração, com foco em uma loja modelo do tipo home center. As lojas desse formato são caracterizadas por serem grandes e oferecerem uma ampla variedade de produtos, que vão desde materiais básicos como cimento, areia e tijolos até produtos de acabamento, como revestimentos, pisos, tintas e acessórios para banheiros e cozinhas, tornando-se uma opção completa para os consumidores que procuram construir ou reformar uma casa ou apartamento.

A empresa possui um vasto portfólio de mais de 20 mil SKU, além de possuir um dos maiores e mais completos estoques de produtos disponíveis para pronta entrega. A organização também conta com três centros de distribuição, um em cada estado da região sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), e possui 26 lojas distribuídas por 20 cidades diferentes. O faturamento bruto mensal da empresa proveniente da venda de produtos atinge a casa dos milhões de reais.

4.2 PROCESSO E MODELO CONCEITUAL

O processo logístico da empresa compreende o recebimento de produtos em grandes quantidades dos fornecedores em seus centros de distribuição, onde são armazenados e fracionados para abastecimento dos estoques das lojas de acordo com sua demanda de vendas. As lojas, por sua vez, mantêm estoques para atender às necessidades dos clientes com produtos a pronta entrega. O desafio logístico nesse processo é garantir que os produtos estejam disponíveis nas lojas sem sobrecarregar seus estoques, minimizando a quantidade de viagens entre o centro de distribuição e as lojas. O processo é ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Representação do processo de abastecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base na descrição do processo logístico e na formulação do problema apresentado na introdução deste trabalho, foi desenvolvido um modelo conceitual.

Este modelo considera que a demanda por um produto surge na loja a partir dos clientes, e que estes produtos são armazenados em estoque na loja para atender à demanda imediata. Para evitar a falta de produtos nas prateleiras, a loja precisa ser abastecida continuamente com novos produtos, que são armazenados em grandes quantidades no centro de distribuição. O transporte dos produtos até a loja gera custos logísticos, como transporte, armazenamento, emissão de notas fiscais e possíveis danos aos produtos durante a movimentação. É importante considerar também o custo decorrente da falta de atendimento à demanda dos clientes.

Uma alternativa para o abastecimento da loja a partir do centro de distribuição é a redistribuição dos produtos entre as lojas, a fim de equilibrar os estoques de acordo com a demanda de venda. Em outras palavras, uma loja pode ser abastecida por outra loja. Esta hipótese implica na criação de novas rotas de transporte e altera a dinâmica de armazenagem, o que pode afetar o agregado dos custos logísticos.

É relevante destacar que tanto a loja quanto o veículo de transporte possuem limitações em relação à quantidade de itens que podem armazenar e transportar, respectivamente. Essas limitações devem ser levadas em conta no processo de abastecimento, a fim de evitar a superlotação do estoque da loja e a sobrecarga do veículo de transporte. É necessário, portanto,

realizar um planejamento adequado da capacidade de armazenamento e transporte, considerando as restrições envolvidas, para garantir uma operação logística eficiente e eficaz.

4.3 MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Considerando que o processo de abastecimento é composto por atividades independentes e interligadas, um modelo matemático foi desenvolvido em três partes distintas. A primeira parte descreve a atividade de transporte, a segunda a atividade de armazenagem e a terceira e última parte se relaciona com a demanda e o cliente. Para simplificar o modelo, foram desconsideradas as componentes fiscais e de avaria dos produtos.

A parte do transporte destaca a quantidade de mercadorias transportadas de uma origem genérica para um destino também genérico. A parte da armazenagem corresponde a uma média entre o estoque de bens em um local no início e no fim de um período, considerando as saídas e entradas de mercadorias no estoque. A parte final se dedica a contabilizar os pedidos que não puderam ser atendidos e foram perdidos por falta de estoque. A representação matemática dessas atividades resultou em não-linearidades no modelo.

Considerando o critério estabelecido para este estudo, em que a performance das estratégias seria medida em termos monetários, cada parte do modelo foi relacionada a um fator de custo, de modo que o resultado foi uma função de otimização multiobjetivo de custos logísticos. Quanto às restrições, o modelo descreve as limitações de transporte do veículo e a capacidade de armazenagem do local, além de não permitir a negatividade e o fracionamento dos produtos.

4.3.1 Equações do modelo

A primeira equação do modelo de programação matemática representa a parcela relacionada ao custo de transporte:

$$C_T = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{L+C} \sum_{j=1}^L [a^{i,j} \min(x_t^{i,j}, l)] \quad (4)$$

Nessa equação, C_T representa o custo de transporte total. $x_t^{i,j}$ é a quantidade enviada da origem i para o destino j no período t , $a^{i,j}$ o custo da viagem da origem i para o destino j , $\sum_{j=1}^L$ o somatório dos j destinos até o total das L lojas, $\sum_{i=1}^{L+C}$ o somatório das i origens até o total das L lojas somados aos C centros de distribuição e $\sum_{t=1}^T$ o somatório dos t períodos, de 1

até o total de T dias. A expressão em (1), $\min(x_t^{i,j}, l)$ é uma não-linearidade, uma condição binária, que identifica se algum item é enviado, independentemente da quantidade enviada.

A equação em questão envolve a variável de decisão $x_t^{i,j}$ e a expressão $\min(x_t^{i,j}, l)$. Essa lógica é utilizada para determinar a quantidade de produto transportada e para avaliar se ocorrerá o transporte ou não. Em termos mais simples, se pelo menos um produto for transportado, o custo total da viagem será computado.

A segunda equação do modelo é relacionada ao custo de armazenagem:

$$C_A = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{L+C} \left(b^k \frac{y_t^k + w_t^k}{2} \right) \quad (5)$$

sendo y_t^k o estoque no local k no início do período t , w_t^k o estoque no local k no fim do período t , b^k o custo de armazenagem no local k , $\sum_{k=1}^{L+C}$ o somatório dos k locais até o total das L lojas somados aos C centros de distribuição, e $\sum_{t=1}^T$ o somatório dos t períodos até o total T de períodos. A operação $\frac{y_t^k + w_t^k}{2}$ calcula o estoque médio no local k no período t .

A terceira equação do modelo representa a demanda não atendida:

$$C_D = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L (c^k z_t^k) \quad (6)$$

Nessa equação, C_D representa o custo da demanda não atendida total. z_t^k é a demanda não atendida no local k no período t , c^k é o custo por demanda não atendida local k . $\sum_{k=1}^L$ representa a soma sobre os k locais, que vai de 1 até o total de L lojas. $\sum_{t=1}^T$ representa a soma sobre os t períodos, que vai de 1 até o total de T períodos. Esta equação contabiliza a quantidade de pedidos que não puderam ser atendidos e foram perdidos por falta de estoque, valorando essa perda.

A função objetivo do modelo consiste na minimização da soma de C_T , C_A , C_D :

$$\begin{aligned} \min M = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{L+C} \sum_{j=1}^L [a^{i,j} \min(x_t^{i,j}, l)] + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{L+C} \left(b^k \frac{y_t^k + w_t^k}{2} \right) \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L (c^k z_t^k) \end{aligned}$$

com $i = 1, 2, \dots, C + L$, $j = 1, 2, \dots, L$, $t = 1, 2, \dots, T$, $k = 1, 2, \dots, L + C$ (7)

sujeito a:

$$\begin{aligned}
y_t^k &\geq 0 \\
0 &\leq w_t^k \leq E^k \\
0 &\leq x_t^{i,j} \leq M^{i,j} \\
x_t^{i,j} &\in Z
\end{aligned}$$

sendo E^k a capacidade máxima de estoque na loja k e $M^{i,j}$ a capacidade máxima transportada no veículo da origem i para o destino j .

Em (7) $x_t^{i,j}$ é a variável de decisão do modelo, ou seja, é uma incógnita no problema definido e representa um conjunto de todos os valores possíveis dentro do domínio estabelecido, cuja natureza exata depende da solução do modelo.

Quanto a y_t^k , é a variável dependente que se refere ao estoque no início do período, onde o estoque ao fim do período anterior e os itens recebidos de outros locais são entradas, enquanto como saída há os itens que são enviados a outros locais, sendo calculada por:

$$y_t^k = w_{t-1}^k + \sum_{i=1}^{L+C} \sum_{j=1}^L (x_t^{i,j} - x_t^{j,i}) \quad (8)$$

onde w_{t-1}^k o estoque no local k ao fim do período anterior, $x_t^{i,j}$ a quantidade enviada da origem i para o destino j no período t e $x_t^{j,i}$ a quantidade enviada do destino j para a origem i no período t , sendo j a loja para qual o estoque está sendo calculado, $\sum_{j=1}^L$ o somatório dos j destinos até o total das L lojas e $\sum_{i=1}^{L+C}$ o somatório das i origens até o total das L lojas somados aos C centros de distribuição. Esta expressão contabiliza a entrada e a saída de produtos por abastecimento e soma ao estoque residual do período anterior para retornar o estoque na loja no início do período.

Outra variável dependente em (7) é z_t^k , sendo calculada por:

$$z_t^k = \max((D_t^k - y_t^k), 0) \quad (9)$$

sendo D_t^k a demanda do local k período t . Esta expressão retorna o valor máximo entre zero e o resultado da subtração da demanda pelo estoque ao início do período, sendo uma não linearidade que identifica se o estoque da loja é capaz de atender a demanda e caso não, contabiliza quantas unidades de produtos deixaram de ser comercializadas por falta de estoque.

Por fim, há em (7) a variável dependente w_t^k , que corresponde ao estoque ao fim do período e tem como entrada o estoque ao início do mesmo período e a demanda perdida, que

tem seu conceito explicado nas seções seguintes, e como saída a demanda atendida, sendo a variável calculada por:

$$w_t^k = y_t^k - D_t^k + z_t^k \quad (10)$$

expressão que contabiliza o estoque ao fim do período pela subtração do estoque y_t^k pela demanda D_t^k e soma a demanda não atendida z_t^k . Uma vez que o estoque w_t^k não pode ser negativo, por definição de que a demanda não atendida é perdida, z_t^k é somado a expressão.

4.4 ESTRATÉGIAS

As estratégias definidas neste trabalho referem-se aos métodos de abastecimento dos estoques das lojas de um varejista de materiais de construção. Cada estratégia implica em condições específicas relacionadas a rotas de transporte, tipos de caminhões utilizados e configurações de estoque, com o objetivo de otimizar o abastecimento das lojas e atender às demandas dos clientes. Além da estratégia atualmente empregada pelo varejista, nomeada como Estratégia A, foram propostas duas outras estratégias, denominadas estratégias B e C, respectivamente.

4.4.1 Estratégia A

A Estratégia A adota o abastecimento das lojas exclusivamente pelo CD. Nessa estratégia, cada loja com demanda é suprida apenas pelo CD, resultando em um número limitado de rotas para a entrega dos produtos até o ponto de consumo. Atualmente, essa é a estratégia adotada pela empresa. Nessa condição, os caminhões do CD são responsáveis pelo abastecimento, enquanto as lojas não possuem caminhões próprios.

Para a Estratégia A, o modelo é definido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \min M_{EA} = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^L [a^{i,j} \min(x_t^{i,j}, I)] + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{L+C} \left(b^k \frac{y_t^k + w_t^k}{2} \right) \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L (c^k z_t^k) \end{aligned}$$

$$\text{com } i = 1, 2, \dots, C, j = 1, 2, \dots, L, t = 1, 2, \dots, T, k = 1, 2, \dots, L + C \quad (11)$$

A mudança em relação ao modelo base ocorre na parcela relacionada ao transporte, mais especificamente no segundo somatório $\sum_{i=1}^C$ para o qual i vai de 1 até C , em vez de $L+C$, indicando que o CD é a única origem de produtos nessa estratégia.

4.4.2 Estratégia B

Na Estratégia B, o abastecimento das lojas é realizado tanto pelo CD quanto por outras lojas, permitindo que o estoque dessas unidades seja utilizado para suprir o estoque de outras unidades. O modelo de abastecimento possui flexibilidade para utilizar rotas tanto entre o CD e as lojas, quanto entre as próprias lojas. Essa estratégia possibilita que uma loja com demanda receba um item diretamente do CD ou de outra loja, abrindo várias rotas possíveis para o produto chegar do CD ao ponto de consumo. Nessa condição, os caminhões do CD são do tipo caminhões grandes, enquanto as lojas possuem caminhões pequenos para realizar a redistribuição de estoque entre as unidades.

Para a Estratégia B, o modelo não sofre alteração e é definido como:

$$\begin{aligned} \min M_{EB} = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{L+C} \sum_{j=1}^L [a^{i,j} \min(x_t^{i,j}, I)] + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{L+C} \left(b^k \frac{y_t^k + w_t^k}{2} \right) \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L (c^k z_t^k) \end{aligned}$$

$$\text{com } i = 1, 2, \dots, C + L, j = 1, 2, \dots, L, t = 1, 2, \dots, T, k = 1, 2, \dots, L + C \quad (12)$$

4.4.3 Estratégia C

A Estratégia C propõe uma abordagem mais audaciosa, em que o movimento de itens entre as lojas é permitido, mas uma das lojas é transformada em um ponto de recebimento, armazenamento e expedição dos itens para atender a própria demanda e a de outras lojas. O objetivo é reduzir a distância percorrida pelos itens do CD até a região onde as lojas estão localizadas. Nessa configuração, os caminhões do CD são caminhões grandes, a loja selecionada para o recebimento direto do fornecedor possui caminhões médios, enquanto as demais lojas possuem caminhões pequenos para realizar o ressuprimento entre as unidades.

Para a Estratégia C, o modelo não sofre alteração e é definido como:

$$\begin{aligned} \min M_{EB} = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{L+C} \sum_{j=1}^L [a^{i,j} \min(x_t^{i,j}, 1)] + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{L+C} \left(b^k \frac{y_t^k + w_t^k}{2} \right) \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L (c^k z_t^k) \end{aligned}$$

$$\text{com } i = 1, 2, \dots, C + L, j = 1, 2, \dots, L, t = 1, 2, \dots, T, k = 1, 2, \dots, L + C \quad (13)$$

As alterações ocorrem na loja selecionada, denominada Loja 2, que tem sua capacidade de estoque aumentada. No entanto, uma limitação dessa estratégia é que a loja selecionada recebe carregamentos diretos do fornecedor apenas para atender a demanda das outras lojas em relação a um único SKU, devido a restrições de espaço. Apenas o CD possui a estrutura necessária para receber a grande diversidade de SKUs entregues pelos vários fornecedores da empresa, armazenar e abastecer as lojas.

4.5 CENÁRIO E DADOS DE OPERAÇÃO DO MODELO

Com o objetivo de resolver os modelos matemáticos apresentados anteriormente, foi necessário atribuir valores numéricos às expressões genéricas. Nesta seção, descreveremos em detalhes como esses valores foram obtidos. Devido às limitações do método de solução utilizado, o Solver do Excel, algumas decisões precisaram ser tomadas e serão abordadas nesta seção.

Considerando as restrições do Solver, que suporta até 200 variáveis de decisão, 100 restrições implícitas e 400 restrições simples, apenas uma parte da estrutura da empresa foi considerada neste estudo. Foram selecionadas as lojas localizadas na região norte de Santa Catarina, juntamente com o CD em São José. Além disso, o período de operação considerado foi de uma semana útil. Com a presença de um centro de distribuição, seis lojas e cinco dias, como ilustrado na Tabela 1, o modelo resultou em um total de 180 variáveis de decisão e 280 restrições.

Tabela 1 – Cenário de aplicação do modelo matemático.

CENÁRIO DE APLICAÇÃO DO MODELA MATEMÁTICO		
Centros de Distribuição	Lojas	Períodos
1	6	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.5.1 Portfólio de produtos

No portfólio de produtos comercializados pela empresa, há uma ampla variedade de mercadorias, que são agrupadas nas categorias de construção, tintas, revestimentos, eletrodomésticos, banho & cozinha, casa & decoração e sacada & jardim, que juntas representam mais de 20 mil SKUs. A diversidade dos produtos não se restringe apenas à sua aplicação, mas também inclui características físicas como peso e volume. Existem produtos pequenos e leves, produtos grandes e leves, produtos grandes e pesados, e produtos que não são tão grandes, mas muito pesados. Além disso, o valor de venda de cada produto não está

relacionado às suas características físicas. Por exemplo, um item pode ser pequeno e ter um alto valor de venda, como uma torneira de metal, ou pode ser grande e pesado, mas ter um baixo valor, como o cimento. Para um varejista a margem de revenda, diferença entre o valor de aquisição e o de venda, do produto é mais importante do que o seu valor absoluto.

As características físicas dos produtos tornam a armazenagem e a movimentação da mercadoria complexas e onerosas. Nesse sentido, o cálculo da margem de venda, descontados os custos logísticos, é um indicativo da rentabilidade da comercialização desses produtos. Dada a complexidade de analisar todas as possibilidades de itens a serem abastecidos, neste estudo optou-se por utilizar o pior caso, que é representado pelo cimento. O cimento é um item pesado (50 kg), que ocupa um espaço médio considerável (36 litros ou 0,036 m³), tem baixo valor de venda (R\$ 35,00) e uma pequena margem de contribuição (7,5%). Além disso, o cimento é quase uma *commodity*, fornecida sem diferenciação pela concorrência. No entanto, trata-se de um item fundamental para um varejista de materiais de construção, devido à sua alta demanda. O cimento corresponde a 3,3% do faturamento total da empresa, destacando-se como o produto de maior volume de vendas.

Outro aspecto importante para entender por que vale a pena distribuir e comercializar cimento é o fato de que ele é um item essencial nas fases iniciais de uma obra. Ter cimento disponível nas lojas é crucial para atrair e manter os clientes nas fases iniciais da obra, de modo a construir um relacionamento, para posteriormente comercializar itens mais lucrativos, necessários nas demais fases da obra. Diante desses fatos, o cimento é um produto indispensável no portfólio, porém, a negociação com o fornecedor e a logística de distribuição podem afetar a receita proveniente de sua comercialização.

4.5.2 Veículos de abastecimento

A empresa em análise possui uma variedade de veículos para o transporte de mercadorias. No entanto, com o objetivo de simplificar, foram consideradas três categorias de veículos, denominados caminhões grandes, médios e pequenos, conforme ilustrado na Figura 9. Cada categoria é definida com base nos limites de peso e volume de carga estabelecidos pelo fabricante.

Para a categoria de caminhões grandes, o limite de carga é de 8.000 kg ou 160 sacos de cimento. Para os caminhões médios, o limite é de 6.000 kg ou 120 sacos de cimento. Já para os caminhões pequenos, o limite é de 1.500 kg ou 30 sacos de cimento. As restrições volumétricas da carroceria não foram consideradas, uma vez que os limites de peso foram atingidos muito antes das limitações de espaço.

Figura 9 – Classes de caminhões grande, médio e pequeno.



Fonte: Compilação do autor (2023).

4.5.3 Custo de transporte

Inicialmente, foram obtidas as distâncias entre cada par de locais de interesse. Essas distâncias foram calculadas com base nas melhores rotas rodoviárias que ligam os pontos de origem e destino, registradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Distância em quilômetros entre lojas e CD e entre lojas.

DISTÂNCIA ENTRE LOJAS E CD (KM)							
	CD	Loja 1	Loja 2	Loja 3	Loja 4	Loja 5	Loja 6
Loja 1	56	-	28	36	88	87	129
Loja 2	80	28	-	8	72	74	114
Loja 3	90	36	8	-	57	56	104
Loja 4	138	88	72	57	-	7	54
Loja 5	135	87	74	56	7	-	49
Loja 6	183	129	114	104	54	49	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em seguida, foram coletados dados referentes aos veículos utilizados, incluindo a autonomia dos veículos e os custos de manutenção e remuneração do motorista. Esses dados foram analisados para as três categorias de veículos consideradas no estudo.

A autonomia média de cada veículo, expressa pelo consumo médio de combustível por quilômetro percorrido, multiplicada pelo custo do combustível, resultou no custo de combustível por quilômetro rodado. A empresa adquire o combustível para abastecer sua frota, portanto, o custo contabilizado corresponde ao valor pago pela empresa ao fornecedor.

Outra informação coletada refere-se aos gastos com manutenção da frota ao longo de um ano. Esses dados foram estratificados por categoria de veículo e, quando divididos pela quilometragem percorrida no período considerado, resultaram no custo médio de manutenção por quilômetro rodado.

Por fim, foram registradas as remunerações dos motoristas habilitados que operam os veículos. Esse valor foi dividido pelo número de dias trabalhados no mês de setembro, resultando no custo diário para a alocação do colaborador na tarefa de transporte.

Com base nas distâncias calculadas, que foram multiplicadas por dois para considerar o percurso de ida e volta, e considerando o custo de combustível por quilômetro rodado, o custo médio de manutenção por quilômetro rodado e a diária do motorista, foi possível estimar o custo total de uma viagem. Esses valores estão apresentados na Tabela 2, sendo que, para essa tabela específica, os cálculos consideraram caminhões grandes para as saídas do CD e caminhões pequenos para as saídas das lojas.

Tabela 3 – Custo de uma viagem entre origem e destino.

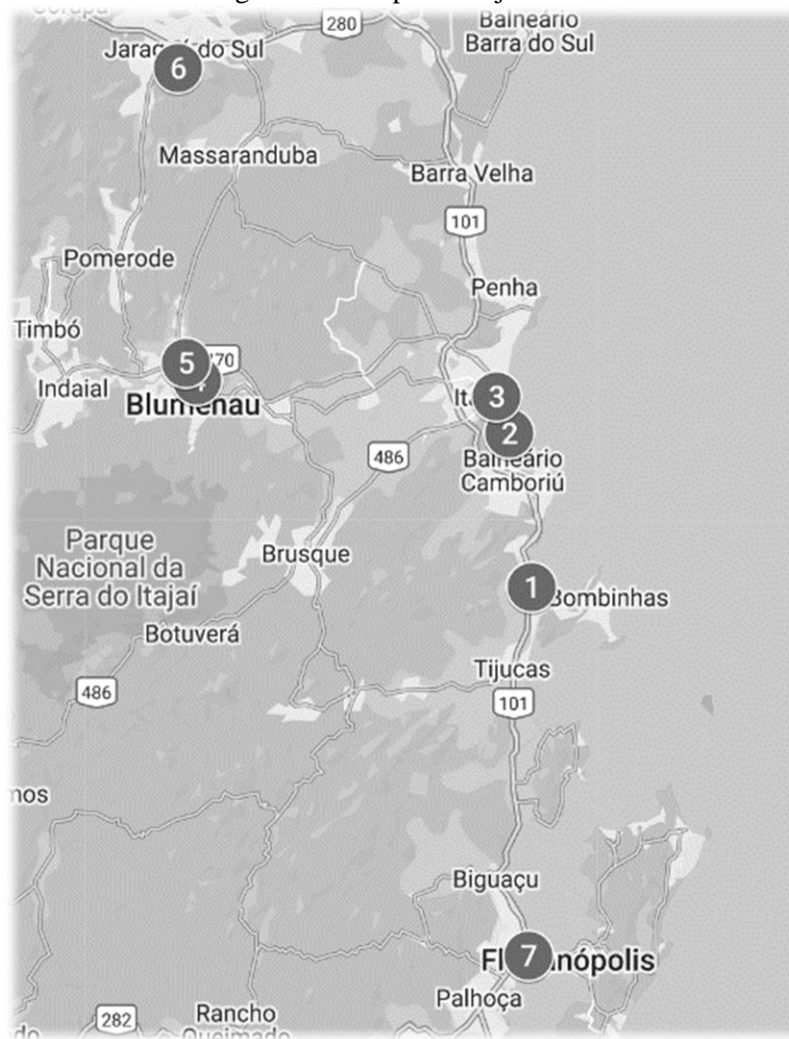
CUSTO POR VIAGEM							
	CD	Loja 1	Loja 2	Loja 3	Loja 4	Loja 5	Loja 6
Loja 1	R\$ 300,44	-	R\$ 103,10	R\$ 113,32	R\$ 179,73	R\$ 178,45	R\$ 232,09
Loja 2	R\$ 371,48	R\$ 103,10	-	R\$ 77,56	R\$ 159,29	R\$ 161,85	R\$ 212,93
Loja 3	R\$ 401,08	R\$ 113,32	R\$ 77,56	-	R\$ 140,14	R\$ 138,86	R\$ 200,16
Loja 4	R\$ 543,16	R\$ 179,73	R\$ 159,29	R\$ 140,14	-	R\$ 76,28	R\$ 136,30
Loja 5	R\$ 534,28	R\$ 178,45	R\$ 161,85	R\$ 138,86	R\$ 76,28	-	R\$ 129,92
Loja 6	R\$ 676,36	R\$ 232,09	R\$ 212,93	R\$ 200,16	R\$ 136,30	R\$ 129,92	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.5.4 Seleção das estruturas de armazenamento

A empresa em questão possui uma estrutura logística composta por três centros de distribuição localizados nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, abrangendo a região sul do Brasil. Além disso, a organização possui 26 lojas localizadas em 20 cidades distintas. No entanto, devido às limitações do método de otimização utilizado neste trabalho, apenas uma parte da estrutura da empresa foi considerada. Especificamente, foram incluídos no estudo o centro de distribuição situado na cidade de São José e a região norte de Santa Catarina, onde estão localizadas as lojas nas cidades de Porto Belo (uma unidade), Itajaí (duas unidades), Blumenau (duas unidades) e Jaraguá do Sul (uma unidade). Para uma melhor compreensão da distribuição geográfica das lojas e do CD, o mapa apresentado na Figura 10 ilustra suas respectivas localizações.

Figura 10 – Mapa das lojas e CD.



Fonte: Elaborado pelo autor no Google My Maps (2023).

Seguindo o mapa da Figura 3, as instalações da empresa são nomeadas para este trabalho como segue:

1. Loja 1;
2. Loja 2;
3. Loja 3;
4. Loja 4;
5. Loja 5;
6. Loja 6;
7. CD.

4.5.5 Custo de armazenagem

O custo de armazenagem foi determinado por meio da alocação proporcional dos custos de ocupação e manutenção da estrutura em relação aos itens armazenados. O processo de obtenção desse custo é detalhado a seguir.

Inicialmente, foi necessário identificar a quantidade de espaço ocupado por cada item na estrutura de armazenagem. Para isso, considerou-se a área total da estrutura construída em cada loja, bem como a área específica destinada ao estoque. A partir dessa área de estoque, foi reservado um espaço para movimentação e acesso, correspondente a 20% da área total, e o restante foi dividido pela área ocupada por um pallet padrão (1,2m²). Essa análise permitiu determinar a quantidade de espaços/pallet disponíveis em cada estoque e, conseqüentemente, a proporção do espaço da estrutura ocupada por cada espaço/pallet. Cada unidade de área (espaço/pallet) comporta um determinado volume de itens. A divisão da ocupação do espaço da estrutura de uma unidade de área pela média de ocupação dessa unidade pelos itens resultou na proporção do espaço da estrutura ocupado por cada item armazenado.

Em seguida, foram identificados os custos relacionados à estrutura da loja, divididos em custos de ocupação do espaço e manutenção do mesmo. O custo de ocupação da estrutura compreende a soma de aluguel, condomínio, IPTU e outros custos específicos de cada loja. Já o custo de manutenção abrange despesas como energia elétrica, manutenção e limpeza.

Os custos de mão de obra não foram incluídos nesse cálculo, uma vez que de forma global a maior parte dos custos relacionados aos colaboradores das lojas está associada ao pagamento de comissões aos vendedores. Por não ser possível identificar para cada loja o número de colaboradores envolvidos na movimentação de produtos e seus respectivos salários, esta parcela não foi alocada aos custos dos itens.

Por fim, o custo total de ocupação e manutenção da estrutura foi dividido pela proporção que cada item ocupa desse espaço. Esse valor foi então dividido pelo número de dias do mês de referência, resultando no custo diário de armazenagem por item. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Custo de armazenagem de item por dia.

CUSTO DE ARMAZENAGEM (RS/DIA)					
1	2	3	4	5	6
0,06	0,04	0,08	0,06	0,07	0,06

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para o CD, o custo diário de armazenagem por item encontrado foi muito próximo de zero, sendo assim foi considerado zero. Essa justificativa se baseia no fato de que o CD está localizado em uma área destinada ao armazenamento em grande volume e com menor valorização imobiliária. Portanto, quando analisado individualmente para um único item, o custo diário de armazenagem se dilui a valores insignificantes.

4.5.6 Capacidade de armazenagem na loja

Para realizar esse cálculo, foram utilizadas as mesmas informações de capacidade de espaço mencionadas anteriormente. A capacidade de armazenamento foi levantada para cada loja e considerada em termos de espaço por pallet, sendo que cada pallet comporta até 40 sacos de cimento. Foi identificado o número de espaços pallets destinados aos cimentos em cada loja e acrescido um valor adicional de 20 espaços (equivalente à metade de um pallet), como margem de segurança, levando em conta que as lojas possuem espaços para manobras e transbordo.

Tabela 5 – Capacidade de armazenagem.

CAPACIDADE DE ARMAZENAGEM					
1	2	3	4	5	6
420	420	100	60	60	140

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quanto ao CD, foi adotado um valor de capacidade padrão comparativamente maior, uma vez que as restrições do CD são significativamente superiores às das lojas. Além disso, o CD atende a várias outras lojas que não foram mencionadas neste estudo, e definir um limite específico para ele não traria ganhos significativos para a pesquisa. Portanto, considera-se que o estoque do CD é infinitamente maior do que o das lojas.

4.5.7 Custo de demanda não atendida

Existem dois conceitos na literatura que abordam a insuficiência de estoque no atendimento à demanda e a resposta subsequente do consumidor. O primeiro conceito, proposto por Nahmias e Smith (1994), indica que, para itens básicos, a falta de disponibilidade do produto resulta na perda da venda, sendo a demanda absorvida pela concorrência. O segundo conceito, apresentado por McGavin et al. (1993), estabelece que a demanda não atendida gera atraso, criando uma fila de espera a ser atendida no momento em que o estoque é repostado. Para este estudo, optou-se por adotar a primeira abordagem, na qual a demanda é perdida quando

não há estoque disponível para atendê-la, uma vez que a concorrência oferece o mesmo item a um preço semelhante.

No entanto, há uma penalidade para a empresa toda vez que ocorre uma falta de estoque, e neste estudo, o custo de demanda não atendida busca representar essa penalidade. A definição desse custo é inspirada no conceito de custo de oportunidade, que é o custo associado a uma determinada escolha, medido em termos da melhor oportunidade perdida (MORGENSTERN, 1927). Neste contexto, o custo de demanda não atendida corresponde ao valor da melhor oportunidade que é renunciada quando se opta por não atender a essa demanda. Essa melhor oportunidade seria a venda do produto, enquanto a alternativa seria não atender a essa demanda.

4.5.8 Demanda por produto

A demanda do produto foi determinada com base nos registros de vendas de cimento nas lojas selecionadas durante o mês de setembro de 2022. Para esse período, as vendas foram agrupadas por dia da semana, e uma média diária foi calculada para determinar a demanda média diária por loja. Ao longo de cinco dias consecutivos, de segunda-feira a sábado, foram registrados um total de 962 itens vendidos nas seis lojas. Esses valores são apresentados na Tabela 6. Esses dados de vendas foram inseridos no modelo como parte das informações necessárias para a sua solução.

Tabela 6 – Demanda por produto nas lojas.

Período	DEMANDA DO PRODUTO					
	1	2	3	4	5	6
1	5	11	31	0	2	5
2	21	29	57	5	0	64
3	9	147	45	22	7	47
4	18	66	13	9	18	59
5	28	14	71	8	12	139

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.5.9 Estoque Inicial

Na prática, as lojas costumam armazenar em seus estoques uma quantidade de itens que excede a demanda média de uma semana típica. No entanto, adotar esses valores no modelo resultaria no suprimento total da demanda apenas com o estoque existente, o que inviabilizaria a análise e as conclusões do estudo, pois o modelo não precisaria tomar nenhuma decisão.

Por outro lado, zerar completamente o estoque também não reflete a realidade. Portanto, foi adotado um valor mínimo que permite ao modelo ter um ponto de partida

representativo, mas que não exerce grande influência nas decisões de abastecimento. Esses valores mínimos correspondem a 20% do histórico de demanda levantado e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 7 – Estoque Inicial de itens.

ESTOQUE INICIAL					
1	2	3	4	5	6
16	54	44	9	8	63

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5 RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados decorrentes da resolução dos modelos para cada uma das estratégias, bem como a análise de custo-efetividade realizada. É importante ressaltar que, ao minimizar os modelos considerando as condições do cenário estabelecido, os resultados obtidos são considerados ótimos, representando a melhor utilização dos recursos disponíveis para cada estratégia, dentro das restrições estabelecidas. É relevante destacar que todas as restrições foram atendidas, o que indica que o modelo foi solucionado para todas as estratégias, resultando em valores factíveis.

Os resultados encontrados correspondem aos custos logísticos da operação de abastecimento durante um período de apenas uma semana. Esses valores foram também extrapolados para um ano completo (52 semanas) com o objetivo de fornecer uma compreensão real do impacto da região analisada para a empresa.

Além dos resultados diretos obtidos por meio dos modelos, foram calculados quatro indicadores de desempenho: nível de serviço, ocupação média dos veículos, número de viagens realizadas e distância percorrida pelos veículos. Esses indicadores foram utilizados na execução da análise de custo-efetividade.

5.1 ESTRATÉGIA A

A Estratégia A adota o abastecimento exclusivo das lojas a partir do CD. No cenário estabelecido, as seis lojas atendem à demanda dos clientes a partir de seus estoques, que são abastecidos unicamente pelo CD por meio de caminhões grandes. Atualmente, essa é a estratégia adotada pela empresa.

No que diz respeito ao transporte dos produtos do CD para as lojas, a minimização do modelo resultou em um número reduzido de viagens, buscando utilizar a capacidade máxima dos caminhões e cumprir todas as restrições, visando a redução dos custos de transporte. As quantidades enviadas são apresentadas Tabela 8, e o custo total do transporte durante o período foi de R\$4.276. Foram realizadas 9 viagens, totalizando uma distância percorrida de 1.125 Km, com uma ocupação média dos veículos de 53%.

Tabela 8 - Itens transportados do CD para as lojas - Estratégia A.

		TRANSPORTE					
O		7					
T	D	1	2	3	4	5	6
1		0	0	0	0	0	0
2		65	0	89	0	0	112
3		0	133	0	35	31	0
4		0	80	84	0	0	0
5		0	0	0	0	0	139

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quanto ao armazenamento dos produtos nas lojas, a minimização do modelo manteve apenas os níveis de estoque suficientes para atender à demanda, conforme pode ser observado na Tabela 9, o que contribuiu para a redução dos custos de armazenagem, totalizando R\$70 para o período considerado. A demanda foi completamente atendida, alcançando um nível de serviço de 100%, o que não gerou nenhum custo associado à demanda não atendida.

Tabela 9 – Estoque de produto nas lojas - Estratégia A.

		ESTOQUE											
Loja		1		2		3		4		5		6	
T	D	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W
1		16	11	54	43	44	13	9	9	8	6	63	58
2		76	55	43	14	102	45	9	4	6	6	170	106
3		55	46	147	0	45	0	39	17	37	30	106	59
4		46	28	80	14	84	71	17	8	30	12	59	0
5		28	0	14	0	71	0	8	0	12	0	139	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O modelo otimizado para a Estratégia A resultou em custos logísticos de R\$4.345, sendo que 98,4% desses custos correspondem ao transporte, 1,6% aos custos de armazenagem e 0% aos custos relacionados à demanda não atendida. Extrapolando esses valores para um ano, os custos logísticos totais seriam de R\$225.954.

5.2 ESTRATÉGIA B

Na estratégia B, o abastecimento das lojas é realizado tanto pelo CD quanto por outras lojas, permitindo a redistribuição de estoques entre elas. Nessa estratégia, é possível movimentar produtos do CD para as lojas e entre as próprias unidades, utilizando caminhões grandes e caminhões pequenos, respectivamente.

No que diz respeito ao transporte dos produtos, nem todas as rotas possíveis foram utilizadas. Além das saídas a partir do CD, outras três lojas tiveram seus estoques redistribuídos, conforme apresentado na Tabela 10. O custo de transporte resultante foi de R\$4.033, sendo realizadas 14 viagens, totalizando uma distância percorrida de 1.340 Km, com uma média de ocupação dos caminhões de 87%.

Tabela 10 - Itens transportados entre lojas e do CD para as lojas – Estratégia B.

TRANSPORTE												
O		1		2		3		7				
T	D	5	6	5	6	4	1	2	3	4	5	6
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		0	26	0	30	0	118	153	145	0	0	0
3		1	0	30	0	30	0	150	0	0	0	0
4		0	26	0	30	5	0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	139

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em relação ao armazenamento dos produtos nas lojas, a minimização do modelo utilizou boa parte da capacidade de armazenamento disponível, conforme mostrado na Tabela 11, resultando em um custo de armazenagem de R\$77 para o período considerado. A demanda foi completamente atendida, alcançando um nível de serviço de 100%, o que não gerou nenhum custo associado à demanda não atendida.

Tabela 11 – Estoque nas lojas – Estratégia B.

ESTOQUE													
Loja		1		2		3		4		5		6	
T	D	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W
1		16	11	54	43	44	13	9	9	8	6	63	58
2		103	82	166	137	158	101	9	4	6	6	114	50
3		81	72	257	110	71	26	34	12	37	30	50	3
4		46	28	80	14	21	8	17	8	30	12	59	0
5		28	0	14	0	71	0	8	0	12	0	139	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O modelo otimizado para a Estratégia B resultou em custos logísticos de R\$4.109, sendo que 98,1% desses custos correspondem ao transporte, 1,9% aos custos de armazenagem e 0% aos custos relacionados à demanda não atendida. Extrapolando esses valores para um ano, os custos logísticos totais seriam de R\$213.672.

5.3 ESTRATÉGIA C

De maneira semelhante à estratégia anterior que envolve rotas do CD e entre as lojas, a Estratégia C adiciona o recebimento direto de produtos do fornecedor por uma das lojas, a Loja 2, em intervalos predefinidos. Essa estratégia busca criar uma alternativa de abastecimento ao CD.

No que diz respeito ao transporte, a minimização do modelo resultou no uso quase exclusivo da Loja 2 como origem para os abastecimentos, sem recorrer aos estoques do CD em nenhum momento, conforme apresentado na Tabela 12. O custo de transporte associado foi de R\$1.527. Foram realizadas 8 viagens, totalizando uma distância percorrida de 522 Km, com uma taxa média de ocupação dos veículos de 62%.

Tabela 12 - Itens transportados entre lojas - Estratégia C.

		TRANSPORTE					
O		2		3			
T	D	1	3	4	5	6	6
1		0	0	0	0	0	0
2		65	78	0	0	120	0
3		0	106	35	31	0	11
4		0	0	0	0	120	0
5		0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Por outro lado, ao utilizar a Loja 2 como ponto de recebimento de remessas do fornecedor e armazenamento desses produtos, reflete-se em um custo de estocagem de R\$148, aproximadamente o dobro em comparação às outras estratégias. A Tabela 13 apresenta a situação dos estoques. Mais uma vez, a demanda foi completamente atendida, alcançando um nível de serviço de 100%, o que não gerou nenhum custo associado à demanda não atendida.

Tabela 13 – Estoque nas lojas - Estratégia C.

		ESTOQUE											
Loja		1		2		3		4		5		6	
T		Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W
1		16	11	840	829	44	13	9	9	8	6	63	58
2		76	55	566	537	91	34	9	4	6	6	178	114
3		55	46	365	218	129	84	39	17	37	30	125	78
4		46	28	98	32	84	71	17	8	30	12	198	139
5		28	0	32	18	71	0	8	0	12	0	139	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O modelo de otimização aplicado à Estratégia C resultou em custos logísticos no valor de R\$1.675, sendo que 91,2% desses custos foram atribuídos ao transporte, 8,8% aos custos de armazenagem e não houve custos relacionados à demanda não atendida. Caso esses valores sejam extrapolados para um ano, estima-se que os custos logísticos totais atinjam R\$87.100.

5.4 ANÁLISE DE CUSTO-EFETIVIDADE

Após a resolução do modelo para as estratégias, os resultados obtidos (Tabela 14) foram utilizados na construção de uma análise de custo-efetividade, uma ferramenta que avalia a relação entre os custos logísticos e os resultados alcançados, por meio de um índice de custo-efetividade. Esse índice permite determinar qual das estratégias é mais efetiva para a operação da empresa.

Tabela 14 – Quadro de resultado das estratégias

CUSTO X MÉTRICAS DE EFETIVIDADE					
Estratégia	Custo	Nível de serviço	Ocupação do Veículo	Distância Percorrida	Viagens
A	R\$ 4.345	100%	53%	1125 Km	9
B	R\$ 4.109	100%	87%	1340 Km	14
C	R\$ 1.675	100%	62%	522 Km	8

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O índice de custo-efetividade é calculado dividindo o custo em reais por um fator de efetividade. Como diferentes variáveis foram consideradas como métricas de efetividade e possuem unidades ou escalas diferentes, foi aplicada uma normalização min-max. Essa normalização transforma os valores originais em uma escala de 0 a 1, onde o valor mínimo é mapeado para 0 e o valor máximo é mapeado para 1. Os valores intermediários são ajustados proporcionalmente dentro desse intervalo, como mostrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Normalização das métricas de efetividade

NORMALIZAÇÃO DAS MÉTRICAS DE EFETIVIDADE					
Estratégia	Nível de Serviço	Ocupação do Veículo	Distância Percorrida	Viagens	Total
A	1	0,53	0,26	0,83	2,62
B	1	0,87	0	0	1,87
C	1	0,62	1	1	3,62

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base no fator de efetividade de cada estratégia, foi calculada a razão de custo-efetividade para obter o índice de custo-efetividade. Esse índice representa o valor em reais por

unidade de efetividade, sendo que valores menores indicam custos mais baixos por unidade de efetividade. Os índices encontrados para cada estratégia estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Relação de custo efetividade

RELAÇÃO CUSTO EFETIVIDADE			
Estratégia	Custo	Efetividade	Custo-efetividade
A	R\$ 4.345	2,62	1658
B	R\$ 4.109	1,87	2197
C	R\$ 1.675	3,62	463

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base no índice de custo-efetividade, foi identificado que a Estratégia C apresentou o menor valor, mostrando-se a mais efetiva em termos de utilização dos recursos investidos no processo de abastecimento. A Estratégia A obteve um valor intermediário de custo-efetividade, enquanto a Estratégia B foi considerada a menos efetiva em termos de aproveitamento dos recursos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a realizar uma análise comparativa entre o método de abastecimento feito unicamente pelo centro de distribuição e o método que utiliza, além do CD, as lojas físicas como pontos de envio de produtos para outras unidades, visando o ganho de eficiência e a redução de custos da operação logística de abastecimento de um varejista de materiais de construção. Para tanto foram propostas duas novas estratégias de abastecimento, uma que possibilita a redistribuição de produtos entre as unidades e outra que incorpora funções semelhantes às de um centro de distribuição a uma das lojas.

Os resultados da análise revelaram que a Estratégia C foi a mais econômica, com um custo anual de R\$87.100,00, sendo 59% menor que a Estratégia B e 61% menor que a Estratégia A. Em termos de efetividade, a Estratégia A alcançou 66%, a Estratégia B alcançou 47% e a Estratégia C alcançou 90%, tornando a Estratégia C a mais eficiente tanto em relação ao atendimento ao cliente quanto às operações logísticas de abastecimento. Além disso, a Estratégia C obteve o menor índice de custo-efetividade, com um valor de R\$ 463 por unidade de efetividade, o que representa uma redução de 72% em relação à Estratégia A e 79% em relação à Estratégia B, ou seja, é a estratégia que demanda menos recursos por unidade de efetividade. Globalmente, a Estratégia C demonstrou ser a melhor alternativa para o processo de abastecimento da empresa.

Em geral, concluiu-se que a redistribuição de produtos entre as lojas pode tornar a malha logística mais flexível, porém, isso também aumenta os custos operacionais da empresa. Por outro lado, atribuir funções de centro de distribuição a uma loja localizada em uma região distante do armazém principal resulta em ganhos significativos de eficiência logística para todas as unidades dessa região e reduz consideravelmente os custos da operação de abastecimento.

Além disso, este trabalho apresentou um modelo de programação matemática, um cenário de operação logística e uma análise de custo-efetividade. O modelo foi eficaz ao representar as características do processo de abastecimento, embora tenha se tornado complexo devido às não-linearidades. O cenário de operação foi limitado em termos do número de períodos e lojas/CDs devido às restrições do método de resolução do modelo. No entanto, ao selecionar as condições mais desfavoráveis e obter dados de qualidade da empresa, os resultados obtidos com o modelo atenderam às expectativas. A análise de custo-efetividade forneceu uma avaliação fundamentada na relação entre o consumo de recursos e os resultados, contribuindo para a avaliação das estratégias. No entanto, é importante ressaltar que essa análise

considerou apenas métricas de efetividade relacionadas ao nível de serviço, ocupação média dos caminhões, número de viagens e distância percorrida.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de um modelo que considere não apenas os custos, mas também o tempo de entrega, avaliando se as estratégias propostas permitem atender a demanda de uma loja em menor tempo, a partir de outra loja mais próxima. Além disso, sugere-se a utilização de linguagens de programação como Python ou Matlab para a resolução do modelo, permitindo a análise de períodos mais longos ou malhas logísticas mais extensas, o que trará maior robustez e confiabilidade às conclusões deste estudo. Por fim, recomenda-se complementar a análise de custo-efetividade com considerações estratégicas e operacionais adicionais, bem como uma avaliação dos riscos e incertezas associados a cada estratégia. A combinação desses elementos fornecerá uma base mais sólida para a tomada de decisão por parte da empresa.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, Sonakshi. **Application of evolutionary algorithm for deriving hierarchical inventory policies in supply chain**. 2013. Tese de Doutorado. Indian Institute of Technology Bombay, Bombay, 2013.
- AMARAL, Juliana V. **Trade-offs de custos logísticos**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ARENALES, Marcos *et al.* **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- AYERS, James B.; ODEGAARD, Mary A. **Retail supply chain management**. New York: Auerbach Publications, 2008.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BERMAN, Barry; EVANS, Joel R.; CHATTERJEE, Patrali. **Retail management: A strategic approach**. 13. ed. Harlow: Pearson, 2018.
- BERTO, Rosa M. V. S.; NAKANO, Davi N. A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 1999.
- BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C. Modeling and Simulation: Operations Management Research Methodology Using Quantitative Modeling . **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BURNS, Tiffany *et al.* Beyond the distribution center. **McKinsey & Co. Article**, 6 Jun. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/beyond-the-distribution-center>. Acesso em: 4 Dez. 2022.
- CAUCHICK MIGUEL, Paulo A. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevir, 2012.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, p. 216-229, 2007.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHRISTOPHER, Martin. **Logistics & supply chain management**. 4. ed. Dorchester: Pearson, 2016.

CONEJO, Antonio J. *et al.* **Decomposition techniques in mathematical programming: engineering and science applications**. Heidelberg: Springer, 2006.

DANDARO, Fernando; MARTELLI, Leandro L. Planejamento e controle de estoque nas organizações. **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 2, 2015.

DRUMMOND, Michael; O'BRIAN, Bernie; STODDART, Greg; TORRANCE, George. **Methods for the economic evaluation of health care programmes**. 2. ed. Oxford: Oxford Medical Publications, 1997.

EMMERICH, Michael T. M.; DEUTZ, André H. A tutorial on multiobjective optimization: fundamentals and evolutionary methods. **Natural computing**, v. 17, n. 3, p. 585-609, 2018.

FERNIE, John; SPARKS, Leigh. **Logistics and retail management: emerging issues and new challenges in the retail supply chain**. 5. ed. Croydon: Kogan Page, 2019.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Plageder, 2009.

JACOBS, F. Robert; CHASE, Richard B. **Operations and Supply Chain Management**. 14 ed. New York: Mac Graw-Hill, 2014.

KOXNE, Daniele C.; HAUSSMANN, Darclê C. S.; BEUREN, Ilse M. **Um estudo do controle e dos custos dos estoques: o caso de uma empresa comercial varejista importadora**. III Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2006.

LEVIN, Henry M. Cost-effectiveness analysis. **International encyclopedia of economics of education**, v. 2, p. 381-386, 1995.

LEVIN, Henry M. **Cost-effectiveness: A primer**. SAGE Publications, 1983.

- LEVY, Michael; WEITZ, Barton A.; GREWAL, Dhruv. **Retailing management**. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- LI, Rong. Reinvent retail supply chain: Ship-from-Store-to-Store. **Production and operations Management**, v. 29, n. 8, p. 1825-1836, 2020.
- LIMA, Maurício P. **Estoque**: custo de oportunidade e impacto sobre os indicadores financeiros. Rio de Janeiro: Centro de Estudos em Logística-CEL-COPPEAD-UFRJ, 2003.
- LIMA, Maurício P. Os custos de armazenagem na logística moderna. **Centro de Estudos em Logística-CEL**. 2020. Disponível em: <http://www.centrodelogistica.com.br/new/fs-busca.htm>. Acesso em: 04 Dez. 2022.
- MARTINS, Alexandra M. N. A. S. **Trade-offs de custos logísticos**. 2018. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2018.
- MATTAR, Fauze N. **Administração de varejo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- MATTAR, Fauze N. **Pesquisa de marketing**: metodologia, planejamento. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- MCGAVIN, Edward J.; SCHWARZ, Leroy B.; WARD, James E. Two-interval inventory-allocation policies in a one-warehouse N-identical-retailer distribution system. **Management Science**, v. 39, n. 9, p. 1092-1107, 1993.
- MENTZER, John T. *et al.* Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.
- MORGENSTERN, Oscar. Friedrich von Wieser, 1851-1926. **The American Economic Review**, v. 17, n. 4, p. 669-674, 1927.
- MUHA, Robert. An overview of the problematic issues in logistics cost management. **Pomorstvo**, v. 33, p. 102-109, 2019.
- NAHMIA, Steven; SMITH, Stephen A. Optimizing inventory levels in a two-echelon retailer system with partial lost sales. **Management Science**, v. 40, n. 5, p. 582-596, 1994.
- OLIVEIRA, Marcela Maria Eloy Paixão; SILVA, Rafaella Machado Rosa da. **Gestão de estoque**. Cuiabá: Instituto Cuiabano de Educação, 2014.

PAOLESCHI, Bruno. **Cadeia de suprimentos**. São Paulo: Editora Érica, 2014.

PASCOE, Michelle. The 21st century customer experience. **LinkedIn article**. 6 mai. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/21st-century-customer-experience-michelle-pascoe-csp/>. Acesso em: 4 Dez. 2022.

PÉRA, Thiago G.; DA ROCHA, Fernando V.; CAIXETA FILHO, José V. Gestão da armazenagem. **AgroANALYSIS**, v. 36, n. 9, p. 26-27, 2016.

PORTER, Michael E. **Competitive advantage: creating and sustaining superior performance**. New York: The Free Press, 1985.

ROBINSON, Ray. Cost-effectiveness analysis. **British Medical Journal**, v. 307, n. 6907, p. 793-795, 1993.

RODRIGUEZ, Carlos M. T. *et al.* Custos logísticos: Um método para apuração e análise. **Revista Mundo Logística**, v. 42, n. 1, p. 37-48, 2014.

ROSS, David F. **Competing through supply chain management: creating market-winning strategies through supply chain partnerships**. New York: Springer Science & Business Media, 1997.

RUSHTON, Alan; CROUCHER, Phil; BAKER, Peter. **The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain**. Kogan Page Publishers, 2022.

SHAPIRO, Roy D.; HESKETT, James L. **Logistics strategy**. St. Paul: West, 1985.

TRISNA, Trisna et al. Multi-objective optimization for supply chain management problem: A literature review. **Decision Science Letters**, v. 5, n. 2, p. 283-316, 2016.

VENTURA, Claudinei; FRECCIA, Eduardo. Custos no transporte rodoviário de cargas. **Maiêutica-Estudos Contemporâneos em Gestão Organizacional**, v. 3, n. 1, 2015.

VITASEK, Kate. Council of Supply Chain Management Professionals. **Supply Chain Management Terms and Glossary**. 2013.

WATERS, Donald. **Supply chain management: An Introduction to Logistics**. 2. ed. London: Red Globe Press, 2009.

WILLIAMS, H. Paul. **Model building in mathematical programming**. 4. ed. Chichester: Wiley, 2013.

ANEXO A – Aplicação dos modelos no Excel

Para executar a otimização dos modelos utilizando o Solver, foi necessário transcrever as equações matemáticas no software Excel. Para cada fator de custo, como transporte, armazenagem e demanda não atendida, foram criadas tabelas contendo as variáveis, os custos, as restrições e os valores iniciais. Além disso, foi criado um campo onde o resultado final foi registrado, ou seja, a soma dos custos obtidos a partir dos valores das variáveis multiplicados pelos custos correspondentes.

A Tabela 17 mostra as variáveis independentes que representam as quantidades transportadas de uma origem “O” para um destino “D”, no período “T”. Os valores são ilustrativos, uma vez que cada cenário apresentou resultados diferentes.

Tabela 17 – Variáveis de transporte.

O		TRANSPORTE																																			
		1					2					3					4					5					6					7					
T	D	2	3	4	5	6	1	3	4	5	6	1	2	4	5	6	1	2	3	5	6	1	2	3	4	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	153	145	0	0	0
3		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	30	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	139

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quanto a Tabela 18, esta apresenta os custos de viagem entra cada destino e origem, as capacidades dos veículos de transporte e a soma dos custos.

Tabela 18 – Custos de viagem, capacidades e soma dos custos de transporte.

4033	Custo Viagem							Capacidade
	a	1	2	3	4	5	6	
1	-	103	113	180	178	232	300	Toco
2	103	-	78	159	162	213	371	160
3	113	78	-	140	139	200	401	HR
4	180	159	140	-	76	136	543	30
5	178	162	139	76	-	130	534	
6	232	213	200	136	130	-	676	

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Já a Tabela 19 apresenta as variáveis de estoque, sendo o estoque no início do período “Y” e o estoque ao fim do período “W”, para as seis lojas e o CD.

Tabela 19 – Variáveis de Estoque

ESTOQUE														
T	1		2		3		4		5		6		7	
	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W	Y	W
1	16	11	54	43	44	13	9	9	8	6	63	58	100000	100000
2	103	82	166	137	158	101	9	4	6	6	114	50	99584	99584
3	81	72	257	110	71	26	34	12	37	30	50	3	99434	99434
4	46	28	80	14	21	8	17	8	30	12	59	0	99434	99434
5	28	0	14	0	71	0	8	0	12	0	139	0	99232	99232

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 20 traz o custo de estoque em R\$/dia, o estoque inicial em cada local, as limitações de estoque em cada um destes espaços e o histórico de demanda para cada loja nos cinco períodos considerados. A soma dos custos também é apresentada.

Tabela 20 – Custo unitário, estoque inicial, limites e custo total de estoque e histórico de demanda.

76,56	Custo de Estoque (R\$/dia)						
	0,06	0,04	0,08	0,06	0,07	0,06	0
	Estoque Inicial W°						
	16	54	44	9	8	63	100000
	Limite de Estoque						
420	420	100	60	60	140	100000	
Histórico de Demanda D							
5	11	31	0	2	5		
21	29	57	5	0	64		
9	147	45	22	7	47		
18	66	13	9	18	59		
28	14	71	8	12	139		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 21 mostra as variáveis dependentes de demanda não atendida para cada loja.

Tabela 21 – Variáveis de demanda não atendida.

DEMANDA NÃO ATENDIDA						
T	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 22 apresenta o custo unitário da demanda não atendida e a soma dos custos de mesma natureza para as cinco lojas.

Tabela 22 – Custo unitário de demanda não atendida.

0	Custo de Demanda não Atendida					
	35	35	35	35	35	35

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).