



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

WESLLEN DE OLIVEIRA BORBA

**UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA COM USO DE
SOFT CONSTRAINTS PARA PRIORIZAÇÃO DE PEDIDOS NO ÂMBITO
LOGÍSTICO: estudo de caso em uma indústria de bebidas**

Recife

2023

WESLLEN DE OLIVEIRA BORBA

**UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA COM USO DE SOFTWARES
CONSTRAINTS PARA PRIORIZAÇÃO DE PEDIDOS NO ÂMBITO LOGÍSTICO:
estudo de caso em uma indústria de bebidas**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do grau em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Raphael Harry Frederico Kramer

Recife

2023

Catlogação na fonte

Borba, Wesllen de Oliveira.

Um modelo de programação linear inteira mista com uso de soft constraints para priorização de pedidos no âmbito logístico: estudo de caso em uma indústria de bebidas / Wesllen de Oliveira Borba. - Recife, 2023.

57 : il., tab.

Orientador(a): Raphael Harry Frederico Kramer

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Produção - Bacharelado, 2023.

1. Engenharia de produção. 2. Programação linear. 3. Logística. I. Kramer, Raphael Harry Frederico. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

WESLLEN DE OLIVEIRA BORBA

**UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MITA COM USO DE SOFT
CONSTRAINTS PARA PRIORIZAÇÃO DE PEDIDOS NO ÂMBITO LOGÍSTICO:
estudo de caso em uma indústria de bebidas**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do grau em Engenharia de Produção

Aprovada em: 28/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raphael Harry Frederico Kramer (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virginio Cavalcante (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Simone Maria da Silva Lima (Examinadora Interna)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família que me apoiou em todos os momentos, inclusive quando decidi que iria sair do Rio de Janeiro para fazer o curso que sonhei, em Recife, sozinho. Foi um ponto de inflexão na minha trajetória e foi muito importante esse apoio. Então, agradeço a meus pais e ao meu irmão por estarem comigo em todos os momentos, nos bons e nos ruins.

Agradeço aos amigos que construí nesses últimos 5 anos dentro da universidade. Foram fundamentais para minha adaptação e para todos os estresses diários que tivemos ao longo dessa caminhada, foi muito gratificante ter conhecido pessoas como vocês. Em especial, quero agradecer a Guilherme Toscano e Luiza Mello por serem os meus fiéis parceiros nessa empreitada acadêmica. Estão marcados na minha vida.

Agradeço aos Professores Adiel Almeida, Eduarda Asfora e Lúcia Roselli por todo o tempo de aprendizado durante minhas pesquisas de iniciação científica no CDSID, foram fundamentais para meu amadurecimento ao longo do curso. Em especial ainda, quero agradecer ao professor Raphael Kramer, como meu orientador também na iniciação científica e agora nesse presente trabalho, sempre muito parceiro e solícito, me ajudou demais em toda caminhada, com conversas que não se limitaram ao mundo acadêmico, mas a vida em si.

Por último agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia de Produção e à Universidade Federal de Pernambuco, pelo que me proporcionaram ao longo da graduação.

RESUMO

Em uma estrutura econômica apertada pelo aumento dos preços de insumos e taxas de juros, a busca pela competitividade nas organizações passa pela vertente do aumento da produtividade, com a manutenção ou redução dos custos atuais. Nesse sentido, a logística se encontra com um grande potencial de apoiar essa empreitada por estar próxima do cliente final e em toda cadeia de suprimentos. O enfoque está ligado na conexão entre algumas das principais áreas logísticas: armazém com gestão de estoques e carregamento de pedidos, planejamento com definição e análise das demandas e transportes garantindo que o produto chegue ao seu cliente final. Buscando apoiar a tomada de decisão o estudo propõe um modelo de programação linear inteira mista para alocação de pedidos no contexto de uma indústria de bebidas. A ideia decorre da percepção de oportunidade apresentada em como a pessoa designada para definir a ordem de carregamento dos pedidos e quais pedidos seriam carregados realizava essa tarefa, sendo de maneira não estruturada e baseada em sua experiência e conhecimentos empíricos. Com um modelo matemático estruturado, buscou-se entender o quanto a organização pode se beneficiar por mudanças de gestão que considere tomadas de decisões mais embasadas, considerando as restrições de sua realidade. Os resultados obtidos indicaram que utilizar um modelo matemático estruturado para o problema, pode contribuir para ganhos de produtividade em termos de horas produtivas, pedidos carregados e volume fornecido, sem a necessidade de aumentar custo por aumento de estrutura, mostrando o potencial que se pode atingir a partir disso.

Palavras-chave: Produtividade logística; programação linear; priorização de pedidos, modelagem matemática

ABSTRACT

In a tightly constrained economic structure due to increased input prices and interest rates, the pursuit of competitiveness in organizations revolves around increasing productivity while maintaining or reducing current costs. In this regard, logistics holds great potential to support this endeavor as it is closely connected to the end customer and the entire supply chain. The focus lies in the connection between some key logistic areas: warehouse management with inventory control and order fulfillment, planning involving demand definition and analysis, and transportation ensuring product delivery to the end customer. To support decision-making, this study proposes a mixed integer linear programming model for order allocation in the context of the beverage industry. The idea stems from the realization of an opportunity presented by the person responsible for defining the order of order fulfillment and which orders would be loaded. This task was previously performed in an unstructured manner based on their experience and empirical knowledge. By using a structured mathematical model, the aim was to understand how much the organization can benefit from management changes that involve more informed decision-making, considering the constraints of its reality. The obtained results indicated that employing a structured mathematical model for the problem can contribute to productivity gains in terms of productive hours, loaded orders, and provided volume, without the need for increased costs due to expanding the structure. This demonstrates the potential that can be achieved through such an approach.

Keywords: Logistics productivity; linear programming; order prioritization; mathematical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo de tomada de decisões logísticas.....	17
Figura 2 - Medidas de Desempenho	24
Figura 3 - Modelagem de Problemas.....	25
Figura 4 - Modelagem de problemas 2.....	26
Figura 5 - Caracterizações de um modelo	27
Figura 6 - Produtividade real x modelo (%).....	48
Figura 7 - Pedidos carregado - Real x Modelo.....	49
Figura 8 - Volume carregado - Real x Modelo.....	50

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Tempo de Ciclo Total.....	36
Tabela 2 - Tempo Médio de Atendimento definido em meta.....	37
Tabela 3 - hectolitros por palete de diferentes SKUs	40
Tabela 4 - Peso dos Clusters de Pedidos conforme política interna.....	41

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Justificativa e relevância.....	11
1.2	Objetivos.....	12
1.3	Metodologia.....	13
1.4	Estrutura do trabalho.....	13
2	Fundamentação teórica	15
2.1	Importância logística.....	15
2.2	As três grandes áreas logísticas.....	17
2.2.1	Armazem	17
2.2.2	Transportes	19
2.2.3	Planejamento e controle da Produção	21
2.3	Produtividade logística	22
2.4	Modelagem matemática.....	24
2.4.1	Contexto geral	24
2.4.2	Programação linear.....	27
3	Revisão da literatura.....	30
3.1	Produtividade logística	30
3.2	Modelagem Matemática.....	32
4	Estudo de caso	34
4.1	Contexto do Problema	34
4.1.1	A organização.....	34
4.2	Descrição do Problema	34
4.2.1	Produtividade de Frotas	35
4.2.1.1	Gross Transportation Yield (GTY)	24
4.2.1.2	Tempo de ciclo total	24
4.2.1.3	Tempo média de atendimento	24
4.2.1.4	Política de ocupação dos armazens	24
4.2.1.5	Política de definição de pedidos	24
4.2.1.6	Níveis de prioridade de pedidos	24

4.2.1.7	Disponibilidade de veículos	24
5	Modelo matemático	43
5.1	Dados do problema	43
5.2	Variáveis de decisão	44
5.2.1	Penalizações	45
5.3	Modelo matemático proposto	45
6	Discussão de resultados.....	48
6.1	Produtividade real x produtividade teórica	48
7	Conclusão.....	51
7.1	Limitações do trabalho.....	51
7.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	52
	Referências	54

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo de constantes evoluções e cadeias produtivas buscando se tornar integradas em um nível que nunca se presenciou antes, a logística se apresenta como uma área chave nesse processo, trazendo rentabilidade nos serviços de distribuição aos clientes e consumidores, através de planejamento, organização e controle efetivos para as atividades de movimentação e armazenagem (Ballou, 2002).

A grande questão é que ao passo que a tecnologia e os meios de comunicação e gestão avançam, as demandas dos clientes cobram maior produtividade das indústrias que na tentativa de suprir tais necessidades tem cada vez mais direcionado seu foco para os problemas logísticos, que não se limitam a distribuição do produto ou serviço. A logística está presente em todas as áreas, conectando toda a organização desde o planejamento da produção até o *Last mile*, que seria a última etapa do gerenciamento da cadeia de suprimentos onde ocorre o transporte para o cliente final. Nesse sentido a logística integrada vem ganhando força buscando mostrar que principalmente transportes e armazém, duas das áreas que crescem de forma considerável ano a ano, não são mundos diferentes e independentes, são mundos que devem conversar entre si, buscando a melhor forma de gestão que amplifique os resultados de uma organização quanto à produtividade da planta do armazém quanto produtividade da frota.

Nesse sentido, buscando reduzir custos logísticos e aumentar a produtividade como um todo, entendendo que é necessário um maior controle daquilo que será demandado, tornando o processo mais ágil e previsível, faz-se necessária a existência de uma visibilidade maior de informações entre as áreas logísticas, que possibilitem uma cadeia produtividade mais integrada. Em específico a integração entre armazém e transportes, tende a beneficiar de forma considerável dos ganhos de produtividade quando se é avaliado que para o armazém ter o conhecimento do próximo pedido que será carregado, por qual caminhão será carregado, tudo isso, com uma certa antecedência possibilita a organização para que seu tempo de atendimento seja mais eficiente. Já para o Transporte, essa informação passada ao armazém devolve para frota ganho de quilometragem em um dia, com menos tempo parado para carga e descarga.

1.1 Justificativa e Relevância

O presente estudo possui uma relevância significativa no contexto organizacional, uma vez que visa atender as necessidades de uma empresa específica, alinhado a obtenção de resultados através de um aumento na produtividade logística, em um contexto de escassez de

recursos financeiros resultante da recuperação econômica lenta pós-pandemia. A pesquisa abordará dois aspectos primordiais: a satisfação do cliente, por meio de redução do tempo de entrega e por consequência uma busca por maior quantidade de hectolitros fornecido por dia, e a redução de custos, por meio da diluição dos custos fixos pelo maior fornecimento.

Através da análise detalhada dos dados coletados ao longo da pesquisa, será possível entender os benefícios que podem ser obtidos com a integração estruturada dos setores logísticos de uma organização. Afinal, a evolução contínua das demandas de produtos e serviços exige uma evolução concomitante da logística, de modo que esta possa acompanhar as tendências do mercado.

Além disso, o estudo contribuirá para o aprimoramento do conhecimento científico acerca da utilização de pesquisa operacional na gestão logística, ao explorar os desafios enfrentados pelas organizações no que se refere à tomada de decisão na cadeia de suprimentos. Dessa forma, espera-se que os resultados do estudo possam oferecer subsídios para a elaboração de estratégias eficazes de gestão na área de transportes da organização, que possam ser aplicadas ou adaptadas em diferentes contextos organizacionais, e contribuam para o aumento da competitividade e lucratividade das empresas.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste estudo é compreender e identificar o processo de integração entre armazém, transportes e planejamento da produção, especialmente no que se refere à demanda, carregamento e entrega de pedidos, a partir da idealização de um modelo matemático que buscará apoiar as estratégias da organização nos aspectos de redução do tempo de entrega, aumento de fornecimento e diluição dos custos associados a essa demanda, por meio de uma tomada de decisão mais assertiva. Para alcançar esse objetivo, este trabalho propõe os seguintes objetivos específicos:

- aprofundar o conhecimento teórico em produtividade logística e modelagem matemática aplicada;
- coletar e analisar dados referentes aos processos de alocação de pedidos, a fim de identificar critérios e lacunas dentro do modelo de tomada de decisão atual;
- criar um modelo matemático para melhor alocação de pedidos diários no contexto de transporte da fábrica para os centros de distribuição;
- identificar os possíveis ganhos de produtividade advindos do modelo matemático e integração entre as áreas logísticas, por meio da análise de tempo médio de atendimento, ocupação dos centros de distribuição e tipos de pedido.

1.3 Metodologia

A presente pesquisa utilizará o método fenomenológico, partindo da descrição direta da experiência como ela é, considerando a particularidade do objeto de estudo, dentro da realidade de uma organização em específico. Ainda se utilizará na pesquisa a classificação quanto a finalidade como aplicada. Conforme apresentado por Gil (2008), a ideia é de que esse formato de pesquisa tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências do conhecimento e é essa ideia que está como base do trabalho uma vez que existe um interesse prático de uma organização em aspectos mais específicos e inerentes de processos da própria organização.

Ao avaliar em termos do objetivo, o trabalho pode ser entendido com seu enfoque voltado ao âmbito exploratório, buscando conhecer melhor o processo e elaborar certas hipóteses, a partir do estudo de caso, uma vez que a base do assunto do trabalho possui poucos ou nenhum estudo sendo mais específico da organização alvo, realizando dessa forma levantamentos bibliográficos e estudo de caso em si (Gil, 2008). No que tange à natureza da pesquisa, o projeto adota em uma vertente que aborda aspectos quantitativos, concentrando-se em aspectos numéricos e estatísticos para analisar o fenômeno estudado, buscando mensurar um conjunto de variáveis que torne possível uma modelagem matemática.

Quando se analisa o estudo quanto aos dados, trata-se de uma modelagem em pesquisa operacional, utilizando técnicas matemáticas para que seja possível descrever o funcionamento do objeto de estudo (Berto & Nakano, 2000). Seguindo nessa linha, como técnica de pesquisa será utilizada a documentação direta, uma vez que conforme Marconi & Lakatos (2003), no presente estudo foram realizados levantamento de dados no próprio local e encontrados a partir de pesquisas de campo.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em sete capítulos: introdução, fundamentação teórica, revisão da literatura, estudo de caso, modelo matemático proposto, discussão de resultado e conclusão. O primeiro capítulo, trata da justificativa e relevância da pesquisa, seus objetivos e metodologia aplicada. Em seguida, no segundo capítulo, foi realizado uma fundamentação teórica sobre os conceitos centrais abordados, apresentando os principais conceitos relacionados ao tema, como logística e modelos matemáticos lineares. O capítulo 3 tem o objetivo de elaborar uma revisão da literatura, analisando trabalhos recentes que discutem temas como produtividade logística, métodos de apoio a decisão no contexto logístico e modelagens matemáticas com restrições suaves. O quarto capítulo introduz a empresa estudada, suas principais características e a

aplicação. No capítulo cinco temos a descrição do modelo matemático proposto para resolução do problema apresentado no capítulo anterior. O capítulo 6 apresenta uma breve discussão dos resultados encontrados e no último capítulo, serão apresentadas as conclusões obtidas no estudo em questão, trazendo também suas principais limitações e propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo os principais conceitos utilizados neste trabalho são devidamente descritos. O conteúdo encontra-se dividido em duas seções: teoria logística e modelagem matemática. A primeira parte contém os aspectos principais relacionados às principais áreas da logística, sua importância e métricas avaliativas. A segunda parte apresenta os componentes relacionados às definições acerca da modelagem matemática.

2.1 Importância Logística

De uma forma clara e objetiva, Ballou (2006) apresenta a importância logística atrelada a sua capacidade de criação de valor em diversas frentes, atuando tanto para o cliente e fornecedores quanto de forma generalizada todas aquelas que de certa forma são *stakeholders*. Tal valor que se imputa é apresentado de forma primária a partir de variáveis como tempo e lugar, isto é, para Ballou (2006), serviços e produtos não possuem valor ao cliente final a não ser que estejam disponíveis quando e onde ele demande.

Para Christopher (2009), a logística, em termos da gestão de cadeia de abastecimento, é capaz de realizar a gestão das relações entre os canais de fornecimento e distribuição, apresentando assim um maior valor com um custo menor em toda cadeia.

Sua importância tem sido tão destacada ao passar dos anos que segundo (Bowersox & Closs, 2007, p.19), “É difícil imaginar a realização de qualquer atividade de produção ou de marketing sem o apoio logístico”, afinal tal área, hoje, é responsável pela integração de todas as atividades da cadeia de suprimentos, ligando o processo produtivo como um todo, seguindo as necessidades da organização.

Buscando elucidar as principais áreas de impacto e atuação da logística, Ballou (2006) propõe uma tabela detalhada sobre as mesmas e as decisões atreladas em cada um dos níveis organizacionais. O quadro 1 adaptado abaixo, traz sete áreas de decisão que variam desde a definição da localização de instalações, até o serviço direto ao cliente, quando se pensa, por exemplo, em *last mile*.

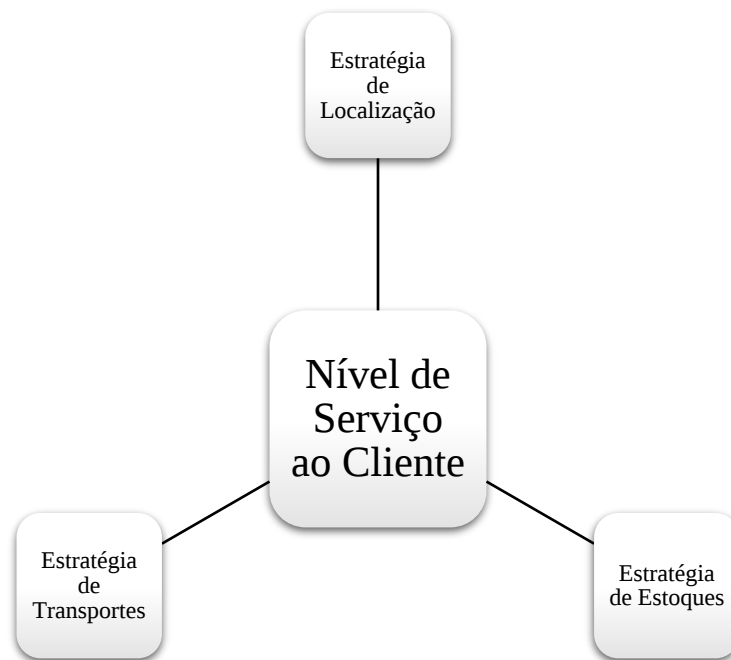
Quadro 1: Exemplos de Processos de decisão estratégica, tática e operacional

NÍVEL DE DECISÃO			
Área da Decisão	Estratégia	Tática	Operacional
Localização das Instalações	Quantidade, área e localização de armazéns, plantas e terminais	-	-
Estoques	Localização de estoque e normas de controle	Níveis dos estoques de segurança	Quantidade e momento de reposição
Transportes	Seleção de Modal	<i>Leasing</i> de equipamento periódico	Roteamento e Despacho
Processamento de Pedidos	Projeto do Sistema de entrada, transmissão de pedidos e processamento	-	Processamento de pedidos, atendimento de pedidos pendentes
Serviço aos Clientes	Padrões de procedimentos	Regras de priorização dos pedidos de clientes	Preparação das Remessas
Armazenagem	Seleção de material de deslocamento, layout da instalação	Escolhas de espaços sazonais e utilização de espaços privados	Separação de pedidos e reposição de estoques
Compra	Desenvolvimento de relação fornecedor-comprador	Contratação, seleção de fornecedores, compras antecipadas	Liberação de pedidos e apressar compras

Fonte: Ballou (2006)

Pode-se observar dessa maneira como a logística é mais ampla do que apenas os transportes de materiais e produtos, é uma rede que integra toda a organização por meio de diversas áreas buscando definir quatro grandes problemas: nível de serviço, estoques, transportes e localização de instalações, conforme figura 1 (Ballou, 2006).

Figura 1 - Triângulo de tomada de decisões logísticas



Fonte: Ballou (2006)

2.2 As três grandes áreas logísticas

2.2.1 Armazém

Duas das principais áreas de gestão da logística de uma organização são o armazém e o transporte. Para Viana (2000), o armazém possui um objetivo principal de utilizar o espaço nas três dimensões da forma mais eficiente possível, estabelecendo agilidade na movimentação dos materiais da carga até a descarga. Nesse sentido, alguns pontos devem ter maior atenção:

- Definição do local: considerando as peculiaridades de armazenamento necessária;
- Definição de layout;
- Política de preservação de materiais;
- Segurança patrimonial contra furtos e incêndios;
- Melhor utilização do espaço;
- Produtividade dos recursos;

- Ocupação.

Para Pozo (2007), o armazém se responsabiliza pelo processo de administração dos espaços necessários para alocação de materiais, considerando fatores como tamanho, capacidade, arranjo físico, equipamentos de movimentação e recursos. Além disso, o armazém tem suas atividades atreladas também a recepção, entrega, estocagem e conservação.

Avaliando os processos de estocagem, Chiavenato (2005) reitera que na ótica de produtos acabados existem custos em duas óticas, a primeira em capital de giro parado e o segundo os custos atrelados a manutenção desses produtos em boas condições no estoque. Em uma representação numérica, Chiavenato (2005) ainda propõe o custo de armazenagem calculado conforme Equação 1:

$$\text{Custo de Armazenagem} = \frac{Q}{2} \times T \times P \times i \quad (1)$$

Onde:

- Q representa a quantidade estocada no período considerado;
- T o tempo de armazenamento;
- P o preço unitário;
- i a taxa de armazenamento em percentual do preço unitário.

Entretanto, Chiavenato (2005) ainda aborda que o custo de armazém possui uma parte fixa e outra variável, de forma que a parte fixa não possui relação direta com a quantidade e sim com o tempo de estocagem. Nesse sentido, uma nova equação é proposta:

$$\text{Taxa de Armazenagem} = \frac{A \times Ca}{C \times P} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- A representa a área ocupada;
- Ca o custo anual do metro quadrado de armazenamento;
- C o consumo anual do material;
- P o preço unitário do material.

Outro ponto que é abordado na literatura ao se falar da gestão de armazéns, está relacionado ao desperdício/indisponibilidade logística onde Ching (2006), traz a definição de que as perdas podem ser entendidas como qualquer coisa que não seja uma quantidade irrisória

de recursos e que é de fato essencial para agregação de valor ao produto. Buscando evitar tais desperdícios e fortalecer a movimentação de informações, um sistema pode ser adotado como *Warehouse Management System* (WMS), beneficiando o armazém em aspectos como o aumento da precisão da informação de estoques, aumento da velocidade e qualidade das operações como o *picking*, e aumento de produtividade dos *QLPs* e equipamentos (Banzato, 1998). Buscando entender os principais benefícios, Franklin (2003) aprofunda apontando fatores como:

- Ganho de acuracidade de inventário;
- Aumento de produtividade do armazém;
- Melhoria na utilização dos espaços físicos;
- Controle da jornada de trabalho aprimorada;
- Melhoria na gestão de mão de obra.

Sendo esse sistema de extrema importância para uma maior integração entre as áreas logísticas, principalmente entre armazém e transportes.

2.2.2 Transportes

Ao considerar a logística não apenas uma geradora de custo e incrementá-la como vantagem competitiva, é importante prestar grande atenção aos custos associados. Nesse sentido, o transporte tende a representar até dois terços dos custos logísticos totais (Ballou, 2006). Dada tal importância, diversos aspectos são considerados nas decisões que envolvem a distribuição da produção. Razzolini (2011) e Bowersox & Closs (2007) apresentam algumas das principais responsabilidades do time de transportes como:

- Definição do modal: avaliação de qual forma será melhor para o carregamento do pedido, considerando particularidades como o tipo de produto carregado, distância e restrições do trecho, tarifas, demanda semanal, disponibilidade de frota e entre outros diversos fatores.

O principal modal na indústria brasileira é o rodoviário, onde, de acordo com o levantamento da Empresa de Planejamento e Logística (EPL), no Anuário Estatístico de Transportes de 2019, aponta que no Brasil existe uma malha rodoviária de mais de 80 mil quilômetros, sendo tal modal responsável por cerca de 65% do transporte de cargas do país, segundo o Relatório Executivo do Plano Nacional de Logística 2025. Conforme Monteiro e Bezerra (2003), existem ainda os seguintes modais: dutoviário utilizados principalmente para gasoduto; ferroviário, com cerca de 30 mil quilômetros de malha ativa no Brasil, segundo a EPL; aeroviário e aquaviários.

- Cotação de Fretes: convencionalmente a organização não possui frota própria ou sua frota é dimensionada abaixo da demanda, de forma que se faz necessário a contratação de transportadoras parceiras para certos pedidos, processo esse que demanda a cotação de fretes.
- Roteirização: com a definição do modal para certo trecho, existe a necessidade de definir o rotograma que melhor se adeque, considerando aspectos como distância, tempo, restrições de via, pedágios, riscos de roubos e furtos, minimizando os custos. Esse aspecto é tratado na literatura como roteamento de veículos, a partir de modelagens matemáticas que buscam otimizar certos objetivos como minimização de custos, considerando algumas restrições como todos os clientes serem atendidos (Arenales *et. al.*, 2007, p.195).
- Programação de embarque: surge da necessidade de definição dos prazos para realização dos procedimentos obrigatórios para que o pedido seja entregue dentro do planejamento do cliente, sem atrasos. Nesse tópico são abordadas priorizações de pedidos, horário de recebimento dos clientes, paradas de descanso dos motoristas, definição do equipamento que será utilizado naquele pedido e entre outros pontos a serem avaliados. Nesse caso, há possibilidade de adaptação de um problema de *Scheduling* (Arenales *et. al.*, 2007, p. 215), onde, se definiria a sequência de embarques, designando para os veículos disponíveis
- Dimensionamento de cargas: aqui apresenta-se o clássico problema de *tradeoff* entre maximizar o peso e maximizar a quantidade de produtos em um mesmo pedido, alocando em uma carreta ou container, sendo apresentado na literatura na sua forma genérica como empacotamento de mochilas ou *bin packing* (Arenales *et. al.*, 2007, p. 39).
- Rastreamento de embarque: uma das principais responsabilidades da equipe de transportes, o rastreamento busca apresentar a localização em tempo real das cargas, principalmente via sistema de rastreo GPS presente nos equipamentos de transporte. Esse ponto agrega tanto ao cliente, para saber por onde anda seu pedido, quanto para a organização para entender o tempo levado no trajeto e possíveis motivos de atraso. Além disso, há de forma bastante contundente o fator segurança da carga presente, como enfatiza Kouri (2007) acerca da vantagem do rastreamento nas suas funcionalidades quanto a segurança, sendo completos a ponto de possuírem sensores e atuadores acoplados aos veículos, identificando estado de ignição do veículo, abertura de portas,

alarme do botão de pânico do motorista em casos de assaltos e indicação de desvios de rotas são alguns dos exemplos.

2.2.3 Planejamento e Controle da Produção

A busca pela melhoria contínua da produtividade e sustentabilidade tem sido uma preocupação crescente nas organizações fabris. Com sistemas de produção cada vez mais flexíveis e com foco na redução de *lead time* e estoques, é fundamental que a empresa possua uma estrutura eficiente para comandar, coordenar e controlar todo o processo produtivo (Lustosa et al. 2008). A capacidade de adaptar-se rapidamente às mudanças de demanda e ao desenvolvimento de novos produtos é essencial para garantir a sobrevivência da organização no mercado competitivo atual. Dessa forma, a gestão eficaz dos processos produtivos é um fator crítico de sucesso para as empresas que buscam se manterem relevantes e competitivas em seus setores.

Ao longo do tempo, foram criados vários sistemas de gestão da produção com o objetivo de ajudar a planejar e controlar os processos de manufatura, abrangendo desde o gerenciamento de materiais, equipamentos e pessoas até a coordenação com fornecedores e distribuidores (Corrêa e Giansesi, 1993). Dentre esses há um destaque para o *Material Requirements Planning* (MRP) e *Manufacturing Resource Planning* (MRP II). Conforme Slack et al. (2009), o MRP busca minimizar o investimento em inventários, a partir da obtenção do material certo, na quantidade certa e no momento certo. Dessa forma, seus principais objetivos são:

- Diminuição de custos de estoque;
- Diminuição de improdutividade por falta de materiais;
- Diminuição do custo de materiais e transporte;
- Controle de produtos perecíveis.

Com esses objetivos, o autor ainda apresenta que as funções do MRP estão alinhadas com a ajuda a produção e compras apenas do que é necessário, no momento necessário e geração de ordens de produção e solicitação de compras a partir de previsão de venda.

Para Correa et al. (2007), a diferença entre o MRP II e MRP está atrelado ao tipo de decisão de planejamento em que cada um atua. Em sua visão, o MRP atua em decisões de *o que, quanto* e *quando* produzir e comprar, enquanto o MRP II carrega consigo decisões também referentes à *como* produzir, isto é, a partir de quais recursos. Dessa forma, segundo o autor, dentre as principais funções do MRP II temos:

- Planejamento da produção;
- Planejamento das necessidades;

- Calendário geral de produção;
- Planejamento das necessidades dos materiais, conforme MRP;
- Compras.

Dessa forma, o planejamento e controle da produção são essenciais para o bom funcionamento da cadeia de gestão de suprimentos, sendo atuante nos resultados logísticos das áreas de armázen e transportes, e de forma externa, suas decisões afetarão em algum momento a percepção de qualidade do nível de serviço oferecido pela logística da organização.

2.3 Produtividade Logística

Ao se estabelecer condições numéricas para entendimento dos processos logísticos, o ponto mais comum de ser medido é a partir de indicadores de produtividade. De uma forma geral, um conjunto de indicadores são planejados para que, de forma conjunta, consigam expressar as principais dimensões de desempenho, uma vez que o desempenho logístico pode ser entendido como algo multidimensional que está envolto de diversos objetivos e apenas um indicador não é suficiente para sua medição.

Tal multidimensionalidade está atrelada exatamente às diversas áreas que a logística possui (planejamento, armazenagem e transportes), de forma que alguns indicadores estão atrelados às atividades logísticas e outros sobre funções logísticas e até desempenho organizacional (Chow, 1994).

De acordo com Ballou (2006), os principais indicadores de desempenho envolvem processamento dos pedidos, precisão na documentação, transporte, disponibilidade de estoque e produtos, danos aos produtos, tempo de processamento de produção e armazenamento. O autor ainda sugere que outras métricas podem ser utilizadas, desde que sejam adaptadas ao sistema logístico operado pela empresa.

Em específico, ao analisar o indicador de produtividade na ótica de transportes, quando existe uma baixa aderência à métrica, problemas podem ser apontados em planejamento de rotas, gestão de recursos ou na própria eficiência operacional (Lee, 2004). Para Carpinetti (2016), pode-se definir da forma mais genérica possível, com a fórmula apresentada abaixo pela Equação 3.

$$Produtividade = \frac{Saídas}{Entradas} \quad (3)$$

Adequando para o contexto logístico, de forma usual, pode-se pensar por exemplo na produtividade das frotas onde, as entradas seriam o número de caminhões disponíveis no dia e as saídas a quantidade pedidos carregados naquele dia, fornecendo assim um indicador de *Pedidos Carregados por Frota*.

Nesse sentido, Carpinetti (2016) apresenta ainda o conceito de eficiência que está ligado a produtividade, mas busca uma métrica diferente representada pela Equação 4.

$$Eficiência = \frac{Capacidade\ Real}{Capacidade\ Efetiva} \quad (4)$$

Para essa avaliação, as horas totais de viagem disponíveis para aquele dia seria então a capacidade efetiva, considerando que cada frota possui vinte e quatro horas disponíveis, e o somatório das horas produtivas naquele dia forneceria então a capacidade real.

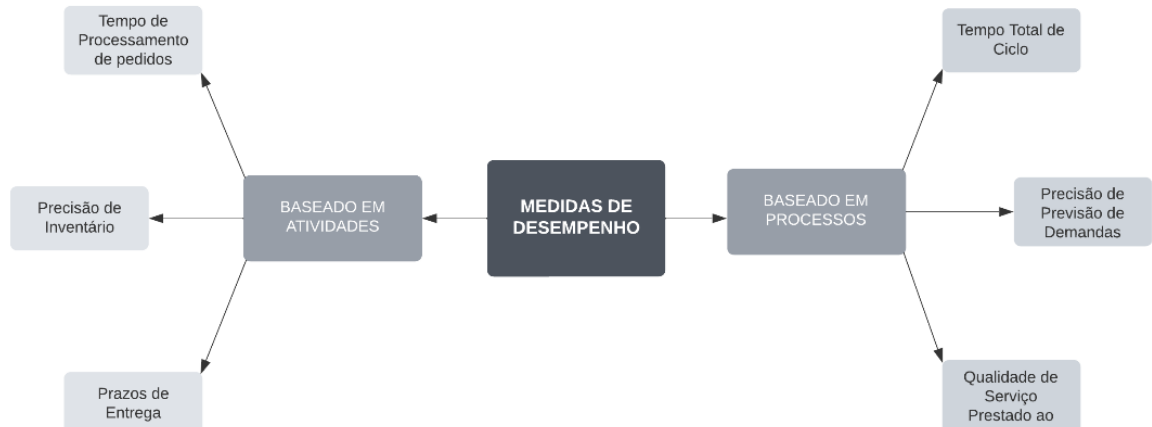
Sob olhar de Bowersox & Closs (2001), o termo de indicadores de produtividade é substituído por medidas de desempenho que são avaliadas a partir de duas principais vertentes, sendo elas as medidas baseadas em atividades e as medidas baseadas em processos.

As medidas de desempenho baseadas em atividade avaliam o desempenho de atividades específicas da cadeia de suprimentos, como tempo de processamento de pedidos, tempo de ciclo de produção e precisão do inventário. Essas medidas ajudam a identificar oportunidades de melhoria em atividades específicas, otimizar a eficiência e reduzir custos.

As medidas de desempenho baseadas em processos, por outro lado, avaliam o desempenho de todo o processo da cadeia de suprimentos, incluindo as atividades que compõem o processo. Isso inclui a avaliação de atividades inter-relacionadas, como o tempo total de ciclo de pedido, a precisão das previsões de demanda e a qualidade do serviço prestado ao cliente. Essas medidas ajudam a identificar oportunidades de melhoria em todo o processo da cadeia de

suprimentos, otimizando a eficiência e a eficácia geral do sistema. A Figura 2 traz a representação dessas duas vertentes.

Figura 2 - Medidas de Desempenho

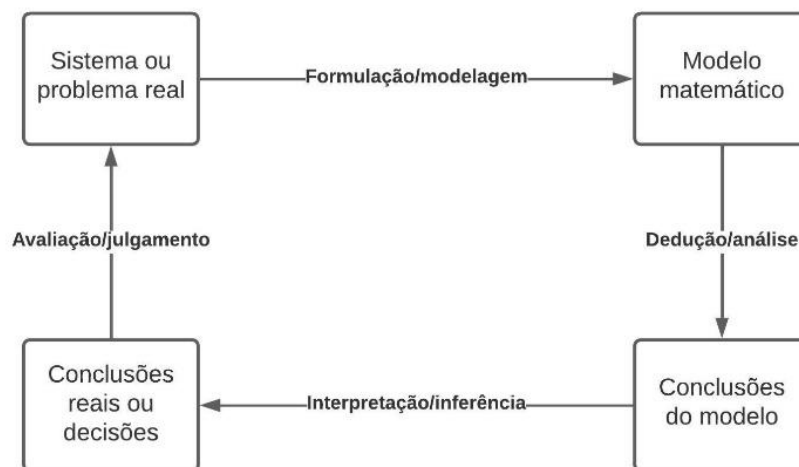


Fonte: Bowersox & Closs (2001)

2.4 Modelagem Matemática

2.4.1 Contexto geral

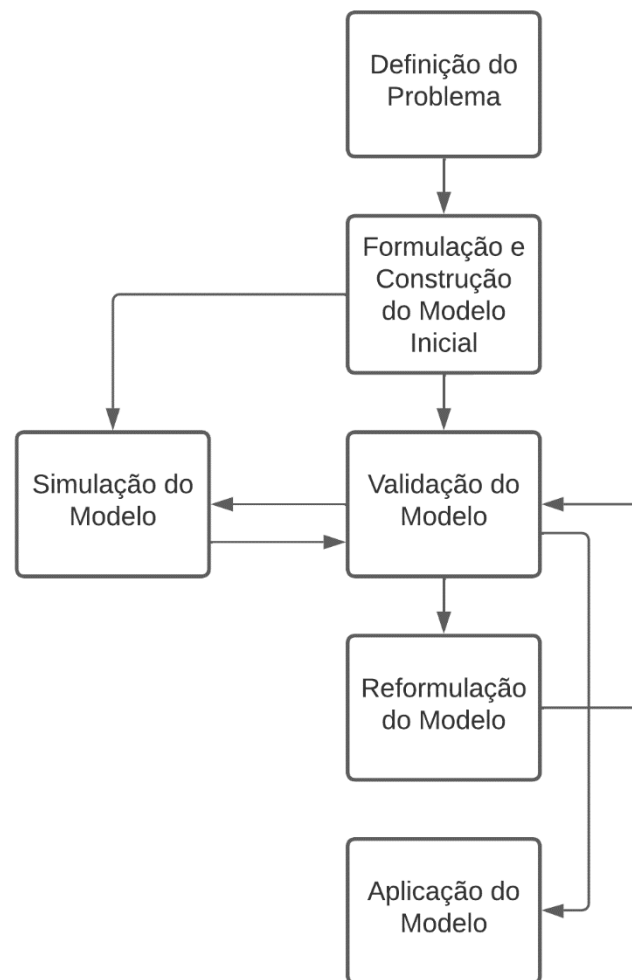
A modelagem matemática é uma abordagem que consiste em representar um sistema ou processo real de forma quantitativa, isto é, a partir da observação, buscar leis que os regem permitindo a descrição por relações matemáticas e assim originando os modelos matemáticos (Arenales *et. al.*, 2007). Ainda segundo os autores, em uma formulação do modelo matemático, diversas simplificações são passíveis de serem realizadas frente ao problema real de forma que a validação do modelo está dependente da solução ter coerência com o a ideia original. A Figura 3 representa a modelagem de um problema conforme autor.

Figura 3 - Modelagem de Problemas

Fonte: Arenales et al. (2007)

Goldbarg & Luna (2005), apresentam um resumo do processo de modelagem, enfatizando que para tornar o problema mais concreto, é necessário expressá-lo em elementos tangíveis, incluindo objetivos, variáveis de decisão e níveis de detalhe. Além disso, em sua perspectiva, o sucesso de um modelo matemático de otimização depende de elementos que vão além do conteúdo estritamente técnico, como a percepção da equipe de elaboração do modelo, que requer uma capacidade cognitiva avançada. Dessa forma, Goldbarg & Luna (2005) expressam que fórmulas ou equações do modelo não existem prontas na natureza, necessitando serem identificadas ou criadas, sendo por muitas vezes necessário processos menos rigorosos como intuição, experiência, criatividade e poder de síntese. A Figura 4 traz a estruturação de um modelo conforme autores.

Figura 4 - Modelagem de problemas 2



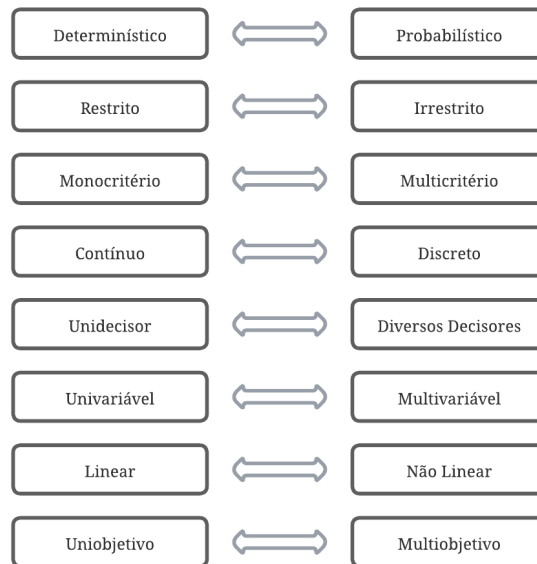
Fonte: Goldbarg & Luna (2005)

Hillier & Lieberman (2006) seguem uma linha de pensamento próxima aos autores anteriores, entendendo que na maioria das vezes nos deparamos com problemas práticos descritos de forma vaga e imprecisa, sendo necessário o estudo cuidadoso do sistema, desenvolvendo um enunciado mais bem definido para o problema a ser resolvido, algo que segue a linha de expressar os elementos tangíveis abordado por Goldbarg & Luna (2005). Ao se modelar matematicamente um problema de negócios Hillier & Lieberman (2006) apresentam os fatores básicos necessários. Por exemplo, as n decisões que devem ser resolvidas, são representadas pelas variáveis de decisão $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ onde seus valores devem ser determinados. Possuindo tais variáveis, se é elaborada a medida de desempenho que melhor explicará o problema, sendo representada por uma função matemática, com as variáveis de decisão, sendo denominada de *função objetivo*. Em todos os problemas podem existir restrições aos valores que são atribuídos a tais variáveis de decisão, essas, são denominadas de equações

de restrição do modelo e por último, constantes que se apresentem dentro do modelo são chamadas de parâmetros do modelo.

Um modelo de otimização possui diversas caracterizações possíveis que podem ser apresentadas em dualidades (Goldbarg & Luna, 2005). A Figura 5 traz essa comparação.

Figura 5 - Caracterizações de um modelo



Fonte: Goldbarg & Luna (2005)

2.4.2 Programação linear

Um dos modelos mais conhecidos na literatura quando se trata de modelagem matemática e otimização combinatória, a programação linear, é uma técnica matemática amplamente utilizada na pesquisa operacional e na tomada de decisões em empresas e governos. O objetivo é otimizar um sistema com restrições, limitações e objetivos bem definidos. De acordo com Goldbarg & Luna (2005), a programação linear busca determinar a melhor alocação de recursos limitados para maximizar lucros ou minimizar custos, sujeita a um conjunto de restrições lineares. Essas restrições podem incluir limitações de capacidade de produção ou de demanda de mercado.

Segundo Hillier & Lieberman (2006), a programação linear é uma das principais ferramentas da pesquisa operacional e é frequentemente utilizada em problemas de alocação de recursos, como a distribuição de produtos em diferentes mercados ou a programação de produção em uma fábrica. A programação linear é uma técnica essencial para otimização de sistemas complexos com restrições e objetivos bem definidos.

Arenales et. al. (2007) destacam que a programação linear pode ser aplicada em diversos campos, como finanças, logística e engenharia. Dentro da programação linear, algumas

avanzadas se apresentam como a programação inteira, que permite considerar soluções com valores inteiros para as variáveis de decisão, de forma que é uma técnica bastante utilizada em situações que as soluções devem ser inteiras, como em problemas de alocação de recursos limitados.

Algumas características são existentes em um modelo para que sejam considerados como uma programação linear. Goldberg & Luna (2005) apresentam as quatro principais características da seguinte forma:

- Proporcionalidade: garante que o comportamento da função objetivo ou restrições seja consistente em todas as escalas.
- Não negatividade: as variáveis de decisão devem ser maiores ou igual a zero. Esta restrição é necessária para garantir que as soluções viáveis sejam fisicamente realizáveis e possíveis de serem implementadas.
- Aditividade: garante que a função objetivo e as restrições possam ser somadas de forma simples, isto é, o custo total é a soma dos fatores associados a cada atividade.
- Separabilidade: garante que seja possível realizar a identificação de forma separada o custo atrelado às operações de cada atividade.

Para base de exemplificação Golberg & Luna (2005), formulam uma forma algébrica geral para o problema de programação linear, conforme abaixo:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = d_i \quad i = p+1, p+2, \dots, m \quad (7)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (8)$$

$$x_j \in \mathbb{R}, \quad j = q+1, q+2, \dots, n \quad (9)$$

Sendo:

$M = \{1, 2, \dots, m\}$ – Conjunto dos índices das restrições do problema;

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ – Conjunto dos índices das variáveis.

$M_1 \subset M$ e $N_1 \subset N$;

$A = \{a_{ij}\}$ – Matriz de restrições;

$a_j \equiv j$ -ésima coluna A ;

$x = (x_j), j \in N$ / vetor coluna de n componentes;

$c = (c_j), j \in N$ / vetor linha de n componentes;

$d = (d_i), i \in M$ / vetor coluna de m componentes;

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura foi desenvolvida através de publicações disponíveis na base de dados *Science Citation Index*, mantido pelo *Clarivate Analytics*. Dessa forma, os artigos considerados para leitura nessa pesquisa foram publicados em periódicos e disponibilizados através da *Web of Science Core Collection*. Este capítulo tem como objetivo identificar e atualizar os conhecimentos sobre a produtividade logística, e modelagem matemática, trazendo seus impactos dentro das organizações que buscaram aplicar pontos mais estruturados para solução de seus problemas partindo de modelagens em pesquisa operacional.

3.1 Produtividade logística

Ao se transcorrer sobre a busca incessante de aumento de produtividade logística, diferentes abordagens são propostas na literatura. Vendela Santén (2017) traz a perspectiva do aumento de produtividade logística a partir do ajuste do fator de carga no transporte rodoviário, buscando realizar um incremento de peso a cada pedido. É argumentado que muitos dos caminhões operam abaixo de sua capacidade de carga, resultando em uma ineficiência operacional e com impactos ambientais negativos. De modo a aumentar a taxa de ocupação dos caminhões, as organizações do estudo atuaram em três frentes: embalagens, carregamento e reservas. Com o ajuste de embalagem de lotes e uma melhor distribuição do procedimento de pré-carga, com aumento de funcionário disponíveis para a função, foi possível o aumento do fator de carga e consequentemente uma redução nos custos logísticos de transporte.

Em uma análise abordando outros aspectos de impulsão de produtividade logística, Prem Chhetri, et al. (2018), propõe um estudo de percepção do impacto da realização de treinamento nos colaboradores perante as ferramentas necessárias para o bom funcionamento do processo logístico, avaliando a partir de entrevistas qualitativas quais os principais pontos levados em consideração para o maior aproveitamento dos treinamentos. Foi-se constatado que para que o treinamento tenha de fato um impacto no aumento da produtividade logística, faz-se necessário uma integração entre diferentes pontos: O aumento de desempenho por meio do aumento do conhecimento e habilidades; o aumento da autoconfiança por meio da satisfação no trabalho e a economia de custos a partir da percepção dos funcionários da valorização da saúde e segurança. Apresentando dessa forma uma nova interação entre produtividade e treinamento não limitada ao viés de conhecimento.

Pensando no avanço pandêmico da COVID-19 que esteve ao redor do mundo entre 2019 até o presente momento, Yanfang Qin & Hongrui Lui (2022), abordam em sua pesquisa a

produtividade a partir visualização da cadeia de suprimentos quando se pensa no comércio em seu canal eletrônico/digital e o entendimento e identificação de gaps no processo de entrega para que assim buscassem opções de como melhorar todo o processo da cadeia de suprimentos do comércio digital a partir da utilização do Mapa do Fluxo de Valor (MFV). Com essa ferramenta como base da pesquisa, foi possível ter uma maior clareza de todo o processo e identificação dos gaps e assim aplicação de métodos como os cinco porquês para a clareza das causas raízes do problema, sendo possível assim realizar propostas de melhoria para ganhos na produtividade logística.

Ainda em uma visão de produtividade a partir da utilização do Mapa do Fluxo de Valor, Naga Jasti & Aditya Sharma (2014), apresentam a conexão com a metodologia de manufatura enxuta buscando analisar todo o fluxo de materiais e informações de uma cadeia produtiva no campo automotivo, objetivando assim entender os impactos positivos que a ferramenta pode incrementar no processo atuando em indicadores como nível de estoque do processo, atuando em uma melhor gestão dos materiais disponíveis, lead time, com a identificação de possíveis atividades redundantes ou que não possuem agregação de valor à etapa e Quadro de Lotação de Pessoal (QLP), contribuindo para redução do centro de custo com uma melhor definição de todo o sistema e o entendimento real das pessoas necessárias para o funcionamento, mantendo toda a qualidade esperada.

Seguindo para um caminho de análise de riscos, a partir da complexidade que se é apresentada na gestão de armazéns nas indústrias, Rudiah Hanafiah, et al. (2022) propõe um modelo de matriz de riscos realizando um estudo sobre as principais categorias e fatores de risco que impactam negativamente no desempenho produtivo do armazém, integrando tal matriz com o método matemático de votação de borda e a técnica *Analytical Hierarchy Process* (AHP), para que assim, se chegue naqueles fatores que demandam a maior atenção da gestão do armazém em busca da mitigação dos riscos atrelado aos processos e aumentos de produtividade a nível de carga e descarga de caminhões, e alimentação das linhas produtivas.

Buscando entender um pouco mais da produtividade logística a partir do pilar armazém, Felix Chan & Hing Kai Chan (2011), trazem a ideia de incremento de produtividade por meio da utilização das ruas de armazenagem baseadas em classes, tal qual o procedimento de Curva ABC, identificando os principais produtos que são demandados diariamente, alocando-os em posições que contribuam para diminuição do tempo total de coleta do produto e distância percorrida no armazém. A partir disso é possível ganhar produtividade no tempo médio de atendimento a partir de um *picking* mais bem realizado.

Ao se analisar a produtividade logística em contexto de inovação para ganho de desempenho, Wong et al. (2015) apresenta a utilização do *Data Envelopment Analysis* (DEA), proposto inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), um método não paramétrico, que no artigo é utilizado para medição da Produtividade Total dos Fatores (PTF) e inovação, no setor logístico da Malásia, em específico, *Third-Party Logistics* (3PL). Segundo Messa (2013), PTF tem como objetivo medir a eficiência com que a economia utiliza todos os seus recursos para produzir bens e serviços. De acordo com essa definição, a variação desse indicador é influenciada pelo avanço tecnológico da economia. Wong et al. (2015), apresenta dessa forma um incremento ao PTF ao incluir o critério inovação e traz sua aplicação ao setor logístico, avaliando de forma direta o impacto de uma inovação no desempenho da organização. Em seus resultados, Wong et al. (2015) pode identificar que o aumento de investimento por meio de patrimônio é capaz de reduzir os custos de forma que as organizações que 3PL devem investir e permanecer saudáveis financeiramente para que seja possível acelerar o processo de inovação em uma estrutura de custos mais competitiva. Outro ponto importante identificado, traz a representação de que no trabalho realizado não foram identificados significância estatística entre inovação e produtividade, compreendendo assim que inovação não é sinônimo de desempenho.

3.2 Modelagem Matemática

A modelagem matemática está presente em diversos estudos de pesquisa operacional e busca resolver problemas reais que surgem em diferentes contextos e ambientes. Ferreira, Morabito e Rangel (2010), apresentam um estudo para resolução de programação de lotes de produção em uma fábrica de refrigerantes considerando aspectos como tempo e custo de preparação. Utilizando-se de uma modelagem de programação inteira mista para o problema de *one-stage one-machine lot scheduling model* – P1S1M. Por conta da dificuldade computacional, foi aplicada uma heurística de relaxamento de restrições para ajudar na solução do modelo. Como resultados, após 14 diferentes estratégias de relaxamento de restrições, combinadas com o software de otimização CPLEX, foi obtida uma solução 47,2% melhor que a solução que a fábrica utilizava, mostrando o impacto positivo que a modelagem pode trazer para esse ambiente.

Em um outro contexto, Perez-Salazar, Singh e Toriello (2022), revisitam um clássico problema da otimização combinatória, o de empacotamento, entretanto faz uma abordagem particular para alocação de máquinas virtuais em servidores na nuvem. A ideia apresentada traz o empacotamento sequencial de itens on-line em compartimentos homogêneos de capacidade

unitária, sendo a entrada desses itens uma sequência de variáveis aleatórias. Como produto do trabalho, é proposto um algoritmo heurístico *Budgeted Greedy* (ALG), para controle de risco de estouro das capacidades dos compartimentos, com objetivo está atrelado a minimização do custo total esperado.

Inarejos, Hoto e Maculan (2019) propõem um modelo de otimização linear inteira mista para o *Knapsack Problem*, conhecido como problema da mochila, com uma variação de compartimentalização. A ideia do estudo está baseada na proposição desse modelo linear frente à proposto original do problema que demandava uma modelo não linear. Com os testes realizados, foram identificadas vantagens computacionais consideráveis para o modelo linear proposto, com resultados do problema semelhantes ao modelo original, sendo considerada assim um avanço no estudo do problema.

Sabo, Pop e Horvat-Marc (2020), trazem a problemática de roteamento de veículos, partindo para um problema mais particular com roteamento de veículos seletivos, isto é, divisão de clusters de clientes que deverão ser atendidos, considerando que um cliente pode pertencer a mais de um cluster de atendimento. A partir de uma modelo de programação inteira mista, ao realizar a comparação dos resultados, com o problema genérico, pode-se observar uma melhora significativa na obtenção do número de soluções ótimas, com tempo médio de esforço computacional menor.

4 ESTUDO DE CASO

Em meio às necessidades de avanços tecnológicos e produtivos apresentados em grande parte pela pandemia iniciada em 2020, com custos mais elevados em toda cadeia produtiva, a logística pode emergir como um ponto focal no que tange a oportunidade de crescimento, sendo olhada de perto por grandes organizações nacionais e multinacionais em busca de oportunidade de alavancar seu nível de serviço com maior produtividade, buscando assim reduzir seus custos.

4.1 Contexto do Problema

4.1.1 A organização

O estudo foi realizado em uma organização líder de mercado na América Latina, no ramo industrial de bebidas, com base em uma fábrica em específico dessa organização, situada no estado de Sergipe, no Nordeste brasileiro, com áreas de atendimento focadas nos municípios dos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia, com momentos esporádicos de atendimento em outros estados das regiões Norte e Nordeste.

Na busca de ganhos de produtividade no transporte, nos principais canais de distribuição, denominados CED, CMP, ASVD e Revendas, listados abaixo,

- CED: Trecho Fábrica – Centro de Distribuição (CDD);
- CMP: Trecho Fábrica – Fábrica;
- ASVD: Trecho Fábrica - Autosserviço de Venda Direta (ASVD – grandes redes de Supermercados);
- Revenda: Trecho Fábrica – Revenda.

Buscou-se um maior entendimento das três grandes áreas da logística que necessitam de uma maior integração, sendo elas: *Transportes*, *Planejamento* e *Armazém*. Para a identificação da melhor forma de realizar a dinâmica proposta, o estudo levou em consideração uma fábrica de médio porte, localizado no Nordeste, com uma média diária de 60 pedidos ao dia entre cargas e descargas e entre frotas próprias e terceiras, que tem a possibilidade de atendimento mapeado de mais de 60 trechos entre Norte e Nordeste, nos diferentes canais.

4.2 Descrição do problema

Com a clareza da responsabilidade de cada área, o grande desafio que se apresenta consiste na realização de um aumento da produtividade da frota sem que os custos estoure o planejamento, a partir de uma melhor integração entre o que está sendo *demandado de SKUs* –

Stock Keeping Unit - (Unidade de Manutenção de Estoque), o que o *armazém* possui e a *capacidade de entrega de transportes*. A ideia principal é de que os pedidos que a fábrica possui conhecimento para o dia seguinte (D+1), já estejam alinhados em três pontos: primeiro, o armazém possuir de estoque ou estar em produção e o segundo, o centro de distribuição estar de fato necessitando do produto atrelado ao pedido e por último a disponibilidade de frotas que permitirá carregar a quantidade de pedidos demandados.

A grande questão é que diversas vezes ocorrem dois principais gargalos. O primeiro ocorre no armazém pela falta de identificação de qual ordem de carregamentos dos pedidos, o que torna o procedimento de *apontamento (Picking)* no sistema de qual SKU o operador de empilhadeira deverá buscar no armazém e o procedimento de *Pré-carga (Daytona)* mais demorados, uma vez que é necessário esperar a tomada de decisão do supervisor ou coordenador de transportes para saber qual pedido será carregado no momento. O segundo gargalo de carregamento surge por improdutividade da frota, por paradas acima dos tempos meta estabelecidos, por tomadas de decisões menos assertivas do que o desejado, que tornam o tempo médio de viagem (TMV) maior do que o esperado, impossibilitando o carregamento total da grade de pedidos do dia.

A proposta do estudo é abordar o aumento da produtividade logística, em especial no transporte, a partir de um mapeamento mais assertivo da priorização dos pedidos do dia, possibilitando o armazém realizar *daytona* do pedido para que quando o caminhão esteja na fábrica, rapidamente seja carregado e despachado, diminuindo assim o tempo médio de atendimento do armazém (TMA Origem). Essa ideia se expande para o tempo médio de atendimento do CDD (TMA Destino), que ao ser levado em consideração fatores como Ocupação do CDD e capacidade de descarga por turno, pode se organizar para solicitar, caso seja necessário, que um outro pedido não vá para o CDD naquele momento, evitando chegadas em comboio ou até mesmo na análise da fábrica levar em consideração tais fatores para diminuir o nível de prioridade do pedido. Dessa forma, buscar-se-á então, mitigações dos problemas que se traduzam em um número mais aderente ao que se é estipulado como ideal para horas de viagem de um determinado trecho.

4.2.1 Produtividade de Frotas

4.2.1.1 *Gross Transportation Yield (GTY)*

Para a quantificação da produtividade diária da frota própria da organização, utiliza-se o indicador *GTY* que o percentual de horas que a frota está em movimento. O indicador pode ser calculado conforme Equação 10.

$$GTY = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{N \times 24 \times d} \quad (10)$$

Onde,

- N representa o número de frotas dimensionadas;
- d representa o número de dias do mês;
- m representa o número de pedido carregados no dia;
- x_i representa as horas meta do trecho executado.

4.2.1.2 Tempo de Ciclo Total

O Tempo de Ciclo Total (TCT) considera o tempo de uma frota sair da fábrica de origem até retornar para essa mesma fábrica, englobando o tempo médio de atendimento na origem (TMA Origem), o tempo médio de viagem na ida (TMV Ida), o tempo médio de atendimento no destino (TMA Destino) e o tempo médio de viagem na volta (TMV Volta), todos definidos por meta.

Os TMVs de ida e volta são calculados com base em uma métrica interna da organização que define que para os veículos da cervejaria, que carregam algumas toneladas a cada pedido, considera-se uma média histórica de velocidade de 40 km/h. Tomando esse valor como base, utiliza-se de forma convencional os rotogramas definidos para cada trecho, com sua distância em quilômetros e então realiza-se a divisão entre a distância e a velocidade média definida, para assim obter os TMVs de cada possível trecho. Já o TMA origem e TMA destino são definidos conforme apresentado na Seção 4.2.1.3 a seguir. A Tabela 1 abaixo apresenta alguns exemplos de TCTs de trechos com origem na fábrica de estudo e destino em CDDs variados.

Tabela 1 - Tempo de Ciclo Total

Unidade Origem	Unidade Destino	TCT
Fábrica Sergipe	CDD Aracaju	5:51:00
Fábrica Sergipe	CDD Caruaru	23:01:48
Fábrica Sergipe	CDD Maceió	17:03:08
Fábrica Sergipe	CDD Belém	92:42:29
Fábrica Sergipe	CDD Fortaleza	47:55:23

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

4.2.1.3 Tempo Médio de Atendimento

Ao realizar a priorização de pedidos, é essencial considerar o status atual do destino, especialmente o tempo médio de atendimento (TMA) do local em questão, seja em termos diários, semanais ou mensais. Para aumentar a precisão na tomada de decisão quanto ao envio de frotas, normalmente é avaliado o TMA diário.

Na organização, é definida anualmente uma meta de TMA para cada origem e destino, e com base nessa meta, outras metas de indicadores são estabelecidas, como é o caso do indicador de produtividade. Para o ano de 2023, a meta de TMA considera os tempos em que a frota passa carregando na origem, descarregando no destino, e considera ainda, o tempo de espera para atendimento em cada local. Esses valores são definidos com base em dados históricos de carga e descarga de cada unidade no ano anterior. Na Tabela 2 abaixo, apresentamos alguns exemplos de TMAs definidos como meta para determinadas unidades.

Tabela 2 - Tempo Médio de Atendimento definido em meta

Unidade	TMA Meta
CDD Aracaju	3:06:08
Cervejaria Maranhão	7:01:31
CDD Fortaleza	2:56:22
CDD Campina Grande	2:56:14
Cervejaria Teresina	3:05:05

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

Buscando tomar a melhor decisão no momento de definir quais pedidos serão carregados, o gap entre o TMA real da unidade e o TMA meta deve ser levado em consideração, uma vez que o cálculo do TCT leva em consideração o TMA meta e se ele é menor que o real, isso significa que o ciclo real, será maior e dessa forma presenciaremos uma improdutividade no trecho. Essa visualização de que uma fábrica empurrar para um CDD com ocupação elevada, como é o caso de Caruaru, pode ocasionar um TMA destino maior que o TMA meta, uma vez que a movimentação do armazém tende a estar mais restrita pela alta ocupação, tornando então esse CDD uma escolha ruim para direcionar uma frota em termos de produtividade na visão da fábrica.

4.2.1.4 Política de Ocupação dos armazéns

A política de ocupação dos armazéns de destino, é baseada em dois fatores: sua capacidade máxima e o estoque liberado para vendas. Internamente, a organização compreende que as vendas possuem uma dinâmica diária flutuante, com possíveis picos. Por esse motivo, idealiza-se uma ocupação meta acima de 90% para todos os armazéns dos centros de

distribuição. Caso a ocupação esteja abaixo desse patamar, a pressão sobre a produtividade se direciona às fábricas.

Quadro 2: Ocupação dos Centros de Distribuição

Unidade	Capacidade (hl)	Estoque (hl)	Vendas D+0 (hl)	% Ocupação	Empurrada D+0 (hl)	Empurrada D+1 (hl)
CDD Aracaju	14090	11521	846	82%	1307	1961
CDD Salvador	59615	50941	5973	85%	6356	4576
CDD Caruaru	15320	14686	1832	114%	1585	1683
CDD Feira de Santana	24902	21505	3101	86%	1599	2605
CDD Maceió	36235	27532	2532	76%	3214	3123

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

No Quadro 1 temos uma exemplificação de alguns centros de distribuição com sua capacidade, seu estoque liberado, vendas no dia atual, percentual de ocupação, empurrada da fábrica para o CDD no dia atual e empurrada da fábrica para o CDD no dia seguinte, todos em hectolitros. Além disso, com base nas informações extraídas do Quadro 2, obtém-se também a capacidade residual conforme Equação 11.

$$\bar{C}_j = C_j - u_j + S_j - d_j + \bar{d}_j - \sum_{i \in Q_j} q_i \quad (11)$$

Onde,

- $\bar{C}_j$ representa a capacidade residual, em hectolitros, de j;
- C_j representa a capacidade total, em hectolitros, de j;
- u_j representa a ocupação atual, em hectolitros, da capacidade de j;
- S_j representa as vendas do dia atual, em hectolitros, do local j;
- d_j representa as entregas do dia atual, em hectolitros, programadas para o local j;
- $\bar{d}_j$ representa a quantidade média de hectolitros não entregues realizadas historicamente.
- q_i representa a quantidade demandada de todos os pedidos i, para o destino j no dia seguinte.

Nesse caso, em exceção do CDD Caruaru, os demais possuem uma ocupação abaixo dos 90%, sendo necessário priorizá-los no carregamento fabril, de alguma forma. Além disso, cada CDD possui uma média histórica de “furo de pedidos”, isto é, dado os carregamentos das fábricas para os CDDs, diariamente, uma parte dos pedidos planejados por algum motivo não é entregue, sendo denominado internamente o indicador de furo. Esse percentual não entregue

deve ser considerado ao se realizar projeções de ocupação dos CDDs. Na tabela abaixo temos a representação do furo durante o mês de fevereiro de 2023 para alguns dos centros.

Quadro 3: Análise de não entrega de pedidos programados em um mês

Unidade	Programado (hl)	Carregado (hl)	Furo (hl)	Furo Linearizado (hl)	% Furo
CDD Aracaju	26262,9	24297,3	1965,6	72,8	7,48%
CDD Maceió	43585,5	31945,9	11639,7	431,1	26,71%
CDD Caruaru	41656,6	39021,4	2635,2	97,6	6,33%
CDD Salvador	87147	60657,8	26489,3	981,1	30,40%
CDD Barreiras	18658,3	14476,1	4182,2	154,9	22,41%

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

Essa visualização mostra que uma fábrica empurrar para um CDD com ocupação elevada, como é o caso de Caruaru, pode ocasionar um TMA destino maior que o TMA meta, uma vez que a movimentação do armazém tende a estar mais restrita pela alta ocupação, tornando então esse CDD uma escolha ruim para direcionar uma frota em termos de produtividade na visão fábril.

4.2.1.5 Política de definição de pedidos

Assim como existe uma política de estoque para cada centro de distribuição e fábricas, existe uma política de definição de pedidos baseada na política de estoque de cada CDD, a nível *SKU*. Isto é, o time de *Transport Management System* (TMS) analisa a ocupação de cada produto existente na organização e que possui demanda no destino, para que assim possa alocar os produtos em um pedido, buscando a maior quantidade de hectolitros possíveis, dentro das especificações de peso máximo do caminhão.

Dentro de um conjunto de mais de 100 produtos diferentes, cada um com um peso por paleta possivelmente distinto, é importante considerar que cada pedido poderá conter uma quantidade variada de hectolitros em um mesmo peso em quilogramas. Em outras palavras, ao lidar com diferentes *SKUs*, é necessário estar ciente de que a quantidade de produto em um paleta pode variar dependendo do *SKU* e que a quantidade de hectolitros de um *SKU* pode não corresponder diretamente à quantidade de quilogramas em um pedido. Na Tabela 3 temos uma exemplificação dessa diferença de hectolitros, considerando diferentes embalagens, variando entre garrafas de vidro, latas de alumínio e garrafas plásticas.

Tabela 3 - hectolitros por paleta de diferentes SKUs]

Descrição Produto	HL/paleta
CERVEJA VIDRO 1L A	6,43
REFRIGERANTE LATA 350ML A	8,79
REFRIGERANTE PET 1L	12,24
CERVEJA LATA 350ML A	8,49
CERVEJA LATA 269ML A	11,83
CERVEJA VIDRO 300ML A	6,21

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

Com a informação de ocupação a nível SKU nos destinos, inicia-se então o processo de alocação dos pedidos, identificando a disponibilidade dos produtos em diversas origens, levando em consideração restrições definidas em orçamento e em malha. Isto é, ao se modelar a demanda anual, é estabelecido, no cálculo do orçamento, no nível mais específico possível quem deverá carregar um determinado produto para determinado destino de forma a minimizar os custos dessa operação e mensalmente o time de planejamento realiza conforme as demandas reais, a malha de fornecimento que direciona aqueles produtos prioritários para carregamento.

Dessa forma, o time do TMS extrai todas essas informações e realiza a alocação, do pedido nas origens definidas em malha. O orçamento, tomando a decisão entre o pedido ser carregado pela frota própria da companhia ou por caminhões terceirizados, denominados de *spots*. Essa decisão, é uma decisão de custos, onde, se deve alocar na cervejaria que for financeiramente menos custosa para a organização realizar o trecho.

4.2.1.6 Níveis de prioridade de pedidos

Com todos os processos definidos etapa a etapa, conforme descrito nos tópicos anteriores deste trabalho, uma equipe de trabalho denominada “equipe de execução” define as prioridades de cada pedido, considerando o tipo de produto e estoque x política do destino no nível *SKU*. Com base nesses critérios, a organização define internamente um peso para cada cluster de pedidos, em conformidade com os níveis estratégicos estabelecidos. A tabela 4 apresenta cada cluster e seu respectivo peso.

Tabela 4 - Peso dos Clusters de Pedidos conforme política interna

Cluster	Peso
Bag-in-Box	11
Chopp	10
CDP	9
Inovação	8
Out Prioritário	7
Out	6
Obj	4
Fora de Malha	2
Over	1

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

O *Bag-in-Box* é um tipo de embalagem que consiste em uma bolsa plástica hermética que é inserida em uma caixa de papelão. Esse tipo de embalagem é utilizado para armazenar e transportar líquidos como vinhos, sucos e xaropes e chegam ao consumidor por restaurantes e bares que se utilizam das máquinas de refrigerante sendo muito comuns em redes de *fast-food*. Dada a baixa demanda desse cluster de produto, ao se possuir um pedido, há uma tendência de o cliente estar muito próximo do fim de seu estoque e por consequência ter que parar sua operação pela falta, caso o pedido não chegue. Então, dada as circunstâncias ao redor desse tipo de produto, a presença dele em um pedido, o torna altamente prioritário.

O *chopp* é uma bebida que tem uma validade curta em comparação com outras bebidas, com cervejas em garrafas e latas. A validade do *chopp* pode variar de alguns dias a algumas semanas, dependendo de como é armazenado e da temperatura de armazenamento. Devido a essa validade curta, esse cluster de produto possui uma alta urgência de carregamento na fábrica. Isso significa que. Assim que o produto é produzido e embalado nos barris, ele precisa ser carregado e enviado para o destino o mais rápido possível, garantido que chegue aos pontos de vendas e consumidores finais fresco e com sua qualidade intacta. Sendo dessa forma, o segundo cluster mais importante para organização.

O cluster CDP diz respeito a *Customer Delivery Performance*, que é um indicador que mede o atendimento do mercado pela organização. Dessa forma, pela definição interna da companhia, um *SKU* está em risco de CDP quando o estoque do CDD é menor que a demanda projetada para os próximos dois dias, ou seja, não carregar um pedido desse cluster acarretará um volume não atendido que afeta a satisfação do cliente e a fidelidade à marca. Dada toda a importância de carregamento desse cluster, é definido então como o terceiro maior peso para organização.

Segundo Christensen (1997), a inovação é um processo que as organizações utilizam para descobrir novas maneiras de crescer e obter lucros, através da criação de produtos e

serviços que não existiam anteriormente ou que eram acessíveis apenas para um pequeno grupo de pessoas. No contexto de uma indústria de bebidas, a inovação vem buscando explorar produtos existentes, como vinho, utilizando-se por exemplo, de latas de alumínio ao invés das clássicas garrafas de vidro ou barris, como se apresentou em 2019 com a primeira empresa brasileira apostando nesse formato, a *Vivant*. Dentro da organização do presente estudo, inovação possui o peso definido por se configurar como produtos que tem potencial para se tornar um diferencial de marca, algo que concorrentes diretos não produzem de forma que é importante aliada às campanhas de marketing, garantir os abastecimentos desse cluster de produtos.

Os demais clusters trabalham dentro dos parâmetros internos da companhia de estoque objetivo, estoque abaixo do mínimo e estoque acima do máximo. Com essas definições, os cluster de *out prioritário* e *out* são clusters que dizem respeito a *SKUs* que estão abaixo da política mínima de estoque no destino. A diferença entre os clusters está no tipo de produto que está abaixo da política mínima de estoque. Por exemplo quando o estoque das cervejas *high end* que são cervejas de maior valor agregado e quando estão abaixo do mínimo, são classificadas no cluster de *out prioritário*. O cluster *obj* sinaliza que o pedido traz consigo *SKUs* que estão dentro da política objetivo de estoque no destino, enquanto o cluster *over* apresenta os pedidos que estão acima da política máxima de estoque do destino para determinado *SKU*.

Por último, há um cluster que representa pedidos de produtos que estão fora da malha, isto é, pedidos que o *SKU* solicitado de determinada origem para um certo destino não está no planejamento mensal desenvolvido de fornecimento. Desta forma, por algum motivo que deve ser investigado, tal pedido foi criado e pode ser carregado. Normalmente, esse tipo de pedido ocorre quando a origem e o destino são de estados diferentes do país e no estado do destino há uma fábrica com ativos de giro que interessam a cervejaria do estado destino. Assim como, o pedido pode ter sido criado apenas por um erro de alocação.

4.2.1.7 Disponibilidade de veículos

O dimensionamento mensal de frotas é uma atividade crítica dentro do cenário logístico, uma vez que a correta alocação de recursos pode ter um impacto significativo na eficiência operacional e nos resultados financeiros. Para realizar esse dimensionamento, inicialmente o time responsável pelo planejamento logístico, no âmbito de demanda, calcula o volume que será necessário fornecer em um determinado mês. Com essa definição, o time de transportes calcula a capacidade necessária da frota para atender a essa demanda, levando em consideração fatores como número de veículos necessários, capacidade de carga dos veículos e tempos de ciclos dos trechos projetados.

Além disso, alguns outros fatores precisam entrar na avaliação, uma vez que impactam esse dimensionamento, como exemplo da disponibilidade de motoristas, manutenção de veículos, tanto corretivas quanto preventivas e os recursos financeiros atrelados a todos esses processos, sejam de obtenção de novos veículos e motoristas, sejam de desligamento de profissionais.

Uma vez que o dimensionamento da frota é determinado, deve-se existir uma comunicação contínua entre planejamento e transportes para monitoramento da demanda real, para possíveis ajuste de frota. Isso envolve adicionar ou remover veículos, mudar alocação de pedidos entre frotas próprias e frotas terceiras, buscando assim ir mitigando custos desnecessários ao longo do mês, seja esse custo de oportunidade, conforme Beuren (1993, apud LEIWINGER, 1977, p.249), que pontua como sendo a diferença entre o custo incorrido e o custo que poderia ter sido incorrido se a política correta tivesse sido adotada, seja esse custo de ociosidade que conforme Gama, Souza e Sato (2009), representa a falta de desempenho, no período estabelecido do processo produtivo, e no contexto do presente estudo, é possível entender como um impacto direto da queda demanda frente ao projetado.

Com todo processo macro de dimensionamento bem definido, em um trabalho de tomada de decisão diária, a equipe de transportes deve decidir quantos carros disponibilizará por dia, uma vez que sua capacidade é limitada e existem trechos de viagem que possuem um tempo de ciclo maior que 24 horas, deixando dessa forma necessariamente o veículo indisponível para, no mínimo, o próximo dia. Essa decisão é tomada pelo supervisor de operações da transportadora responsável, com o aval do coordenador de transportes da cervejaria. Com essa definição o time do TMS realiza a alocação de pedidos que deverão ser carregados e fornecidos naquele dia.

5 MODELO MATEMÁTICO

5.1 Dados do problema

Considerando todas as informações percorridas ao longo do capítulo 4, um conjunto de dados necessários para a realização do projeto foram definidos. Estes, compõe pontos necessários tanto para modelagem matemática quanto para implementação na linguagem de programação Julia e estão descritos abaixo.

- $L = \{1, 2, \dots, m\}$ – Conjunto de locais;
- $Q = \{1, 2, \dots, n\}$ - Conjunto de pedidos;
- $Q_j \subset Q$ – Conjunto de pedido com entrega no local $j \in L$;

- l_i – Local destino do pedido $i \in Q$;
- q_i – Quantidade demandada em hectolitros pedido $i \in Q$;
- $TTCM_i$ – Tempo total de ciclo meta atrelado (origem – destino – origem) ao pedido $i \in Q$;
- $TTTCR_i$ – Tempo total de ciclo real atrelado (origem – destino – origem) ao pedido $i \in Q$;
- Ro – Capacidade de carregamento, em quantidade de pedidos, na origem;
- P_i – Nível de prioridade do pedido i , com $P_i \in \mathbb{Z}_+$;
- NMP – Nível máximo de prioridade (i.e... $NMP = 11$);
- $NP = \{1,2,4,6,7,8,9,10,11\}$ – Conjunto de níveis de prioridade;
- C_j – Capacidade do local $j \in L$, em hectolitros;
- u_j – Ocupação atual do local $j \in L$, em hectolitros;
- S_j – Vendas programadas para o local $j \in L$, em hectolitros;
- d_j – Entregas programadas para o local $j \in L$, em hectolitros;
- $\bar{d}_j$ – Quantidade média de entregas não realizadas para o local $j \in L$, em hectolitros;
- $\bar{C}_j$ – Capacidade residual do local $j \in L$, em hectolitros;
- $VD = \{1,2,\dots,NV\}$ – Conjunto de veículos disponíveis;
- TMA_{atual_j} – Tempo atual de atendimento no local $j \in L$;
- TMA_{meta_j} – Tempo meta de atendimento no local $j \in L$.

5.2 Variáveis de decisão

- $x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{se o pedido } i \in Q \text{ é selecionado e entregue pelo veículo } k \in VD \\ 0, & \text{Caso contrário} \end{cases}$
- y_{ik} – Variável auxiliar para garantir que o pedido com maior TTTCR realize a entrega antes do tempo limite.
- $P1$ – Penalização total por exceder a capacidade dos destinos
- $P2$ – Penalização total por exceder o tempo meta de atendimento nos destinos
- $P3$ – Penalização total associado aos níveis de priorização dos pedidos selecionados
- $P1_j$ – Penalização do tipo 1 associada ao local $j \in L$
- $P2_i$ – Penalização do tipo 2 associada ao pedido $i \in Q$

5.2.1 Penalizações

Para que a tomada de decisão da alocação dos pedidos não seja unicamente alinhada aos interesses de produtividade da frota, desconsiderando situações mais estratégicas para armazém e nível de serviço, como ocupação, tempo de atendimento e criticidade do *SKU* em carregamento, definiu-se a estratégia de penalizar a função objetivo a partir desses critérios a serem analisados. Para que isso se torne viável, foi necessário então se utilizar de *soft constraints* que ajudariam a resolver o problema relaxando as restrições, de forma a encontrar soluções viáveis.

Dessa forma, a penalização *P1*, está atrelada a pedidos que possuem destinos onde a ocupação está alta e o armazém tem pouco espaço disponível, essa situação tende a impactar no tempo de atendimento do destino, mas não exclusivamente. Para efeitos de cálculo, mediu-se a capacidade residual do armazém destino com a inserção de pedidos, caso a capacidade residual seja zerada, ocorre a penalização.

A penalização *P2*, está associada ao TMA meta dos destinos. Dessa forma, realiza-se a comparação entre esse TMA e o TMA atualizado, que mede o TMA real nas últimas 24 horas, disponível por ferramentas da companhia. Caso o TMA real seja maior que o TMA meta, a penalização é aplicada, por corroborar para uma improdutividade no dia, caso pedidos para destinos nessa situação sejam escolhidos na alocação.

A penalização *P3* avalia qual o nível de prioridade do pedido e compara com o cluster *bag-in-box*, que possui valor 11. Dessa forma ficou definido que todos os pedidos menores que prioridade 11 sofrerão penalidade, cada vez maior, quanto mais longe da prioridade máxima.

Cada uma das três penalizações definidas, possuem um peso atrelado à sua relevância para o decisor no momento do estudo. Como definição interna do gestor, foi elencada uma priorização desses valores para os critérios de penalização definindo numa escala de zero a um, onde:

- $\gamma = 0.2$ – coeficiente de *P3*
- $\beta = 0.5$ – coeficiente de *P2*
- $\alpha = 0.3$ – coeficiente de *P1*

5.3 Modelo matemático proposto

O modelo abrange então todos os elementos que foram abordados e explanados ao longo do estudo e de forma linear, busca trazer soluções viáveis para o problema, utilizando-se de *soft constraints*, além das *hards constraints*.

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{i \in Q} \sum_{k \in VD} TTCM_i \cdot x_{ik} - \alpha \cdot P1 - \beta \cdot P2 - \gamma \cdot P3 \quad (12)$$

Sujeito a:

$$P1_j \geq \sum_{i \in Q_j} \sum_{k \in VD} q_i \cdot x_{ik} - C_j, \forall j \in L \quad (13)$$

$$P1_j \geq 0, \forall j \in L \quad (14)$$

$$P1 \geq \sum_{j \in L} P1_j \quad (15)$$

$$P2_i \geq TMA_{\text{atual}}_{l_i} - TMA_{\text{meta}}_{l_i}, \forall i \in Q \quad (16)$$

$$P2_i \geq 0, \forall i \in Q \quad (17)$$

$$P2 \geq \sum_{i \in Q} P2_i \quad (18)$$

$$P3 \geq \sum_{i \in Q} (NMP - P_i) \quad (19)$$

$$\sum_{k \in VD} x_{ik} \leq 1, \forall i \in Q \quad (20)$$

$$\sum_{i \in Q} \sum_{k \in VD} x_{ik} \leq Ro \quad (21)$$

$$\sum_{i \in Q} x_{ik} \geq 1, \forall k \in VD \quad (22)$$

$$\sum_{i \in Q} TTCR_i \cdot x_{ik} \leq 24 + \sum_{i \in Q} TTCR_i \cdot y_{ik}, \forall k \in VD \quad (23)$$

$$y_{ik} \leq x_{ik}, \forall i \in Q, \forall k \in V \quad (24)$$

$$\sum_{i \in Q} y_{ik} \leq 1, \forall k \in VD \quad (25)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}, \forall i \in Q, \forall k \in V \quad (26)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\}, \forall i \in Q, \forall k \in V \quad (27)$$

A Equação 9 representa a Função Objetivo, que visa maximizar a soma das horas produtivas dos pedidos selecionados, considerando as penalizações por TMA, ocupação e nível de prioridade dos pedidos. As restrições (13) e (14) medem a penalização de ocupação

associada a cada destino, enquanto a restrição (15) mede o total de penalização da ocupação. As restrições (16) e (17) medem a penalização de TMA associada a cada pedido, enquanto a restrição (18) mede o total de penalização de TMA. A restrição (19) mede a penalização total pelo nível de prioridade do pedido pelo cluster em que ele se encontra. A restrição (20) garante que um pedido será carregado por apenas um carro e a restrição (21) garante que a quantidade de pedidos carregados será no máximo igual a capacidade de carregamento do dia. A restrição (22) garante que todos os veículos disponíveis carregarão ao menos um pedido, evitando ociosidade. A restrição (23) garante que os veículos carregarão pedidos dentro da possibilidade horária, evitando que um veículo carregue um pedido após as 24 horas do dia. A restrição (24) garante que a variável auxiliar selecionará no apenas os pedidos selecionados na variável de decisão. A (25) garante que o pedido estará alocado no máximo em um pedido e as restrições (26) e (27) garantem as variáveis como variáveis binárias.

6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para implementação computacional e resolução do modelo, utilizou-se a linguagem de programação Julia e o *software* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* respectivamente, sendo realizado durante 30 dias, a alocação teórica de pedidos com base nos resultados do modelo, buscando maximizar a soma dos tempos de ciclo e então, confrontado os resultados obtidos com a tomada de decisão real da fábrica do presente estudo. Para este estudo, após considerações junto aos decisores, foi-se entendido que na atual realidade da fábrica, o principal impacto negativo que deve ser levado em consideração é o estouro do tempo médio de atendimento nos destinos, seguido pela priorização e por último a ocupação.

6.1 Produtividade Real x Produtividade Teórica

O primeiro resultado a ser observado diz respeito ao indicador de produtividade das frotas, apresentado na Figura 6. Foi alcançado um valor acumulado mês de 69,64%, enquanto o valor acumulado real foi de 65,42%. Dessa forma, a alocação proposta foi 6,4% mais eficiente do que a alocação real. Além disso, outras análises puderam ser feitas para avaliar a performance do modelo, como a quantidade de pedidos carregados Figura 7, o volume carregado Figura 8.

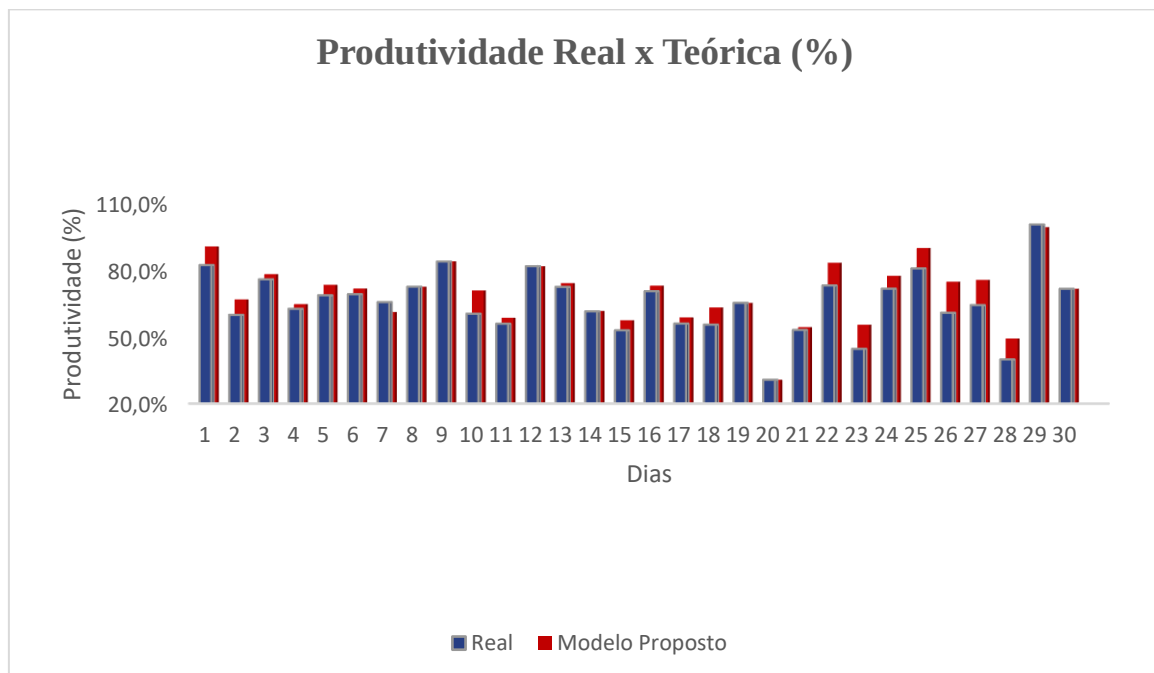


Figura 6 - Produtividade real x modelo (%)

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

Quanto à figura 7, a quantidade de pedidos carregados totais definida pelo modelo foi de 714 versus 676 real. Um acréscimo de 38 pedidos a mais no mês, ponto esse que tende a impactar positivamente o nível de serviço oferecido.

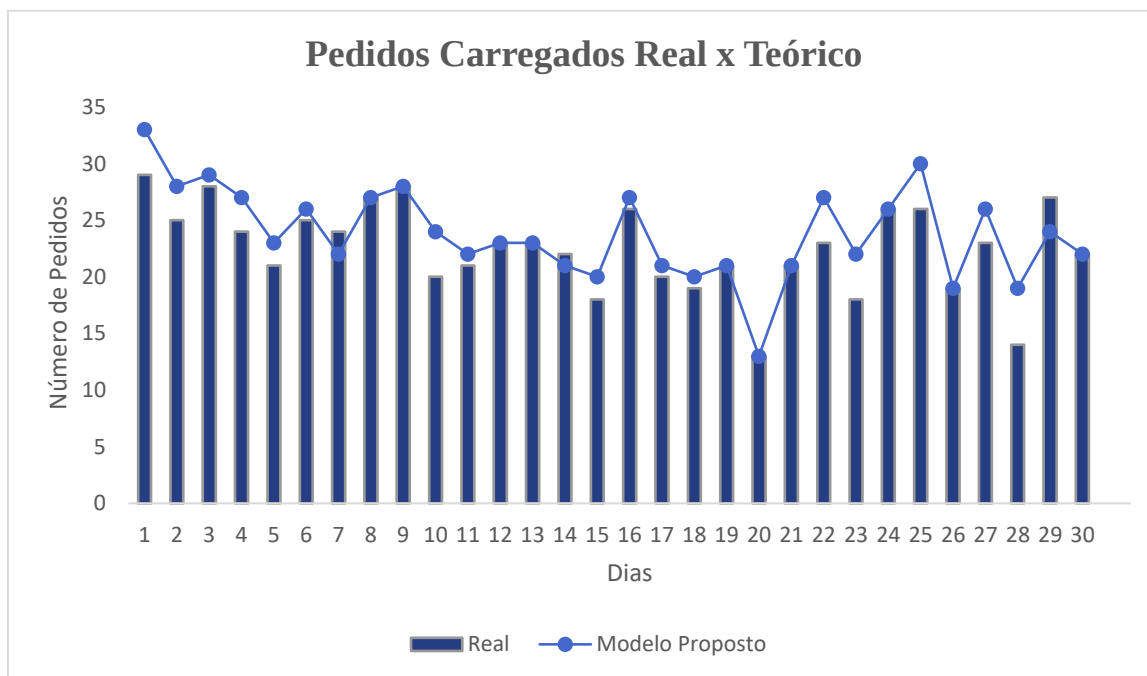


Figura 7 -Pedidos carregado - Real x Modelo

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

Conforme Figura 8, o volume total encontrado pelo modelo foi de 148.719 hectolitros versus 140.618 fornecidos no real. Um acréscimo de cerca de 8 mil hectolitros, reforça os resultados encontrados conforme dois gráficos anteriores, com um acréscimo de entrega de volume de 5,76% em um mês, sendo esse um valor bastante representativo.

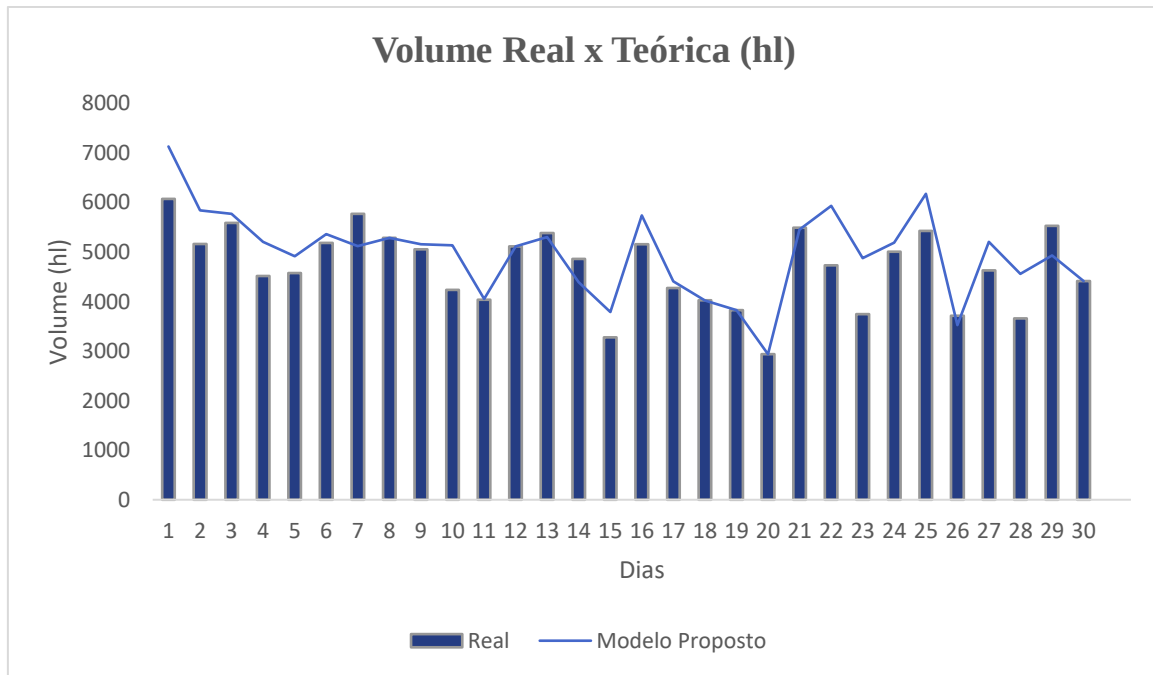


Figura 8 - Volume carregado - Real x Modelo

Fonte: Esta Pesquisa (2023).

Dessa forma, é válido considerar que o modelo apresenta um apoio representativo a tomada de decisão para alocação diária de pedidos, de forma mais estruturada, permitindo obter um maior senso crítico por parte do decisor sobre a validade de selecionar um pedido ou não para ser carregado em situações que não será possível carregar tudo que está agendado para o dia.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um modelo de programação linear inteira mista como ferramenta de auxílio a tomada de decisão no contexto logístico de uma fábrica de bebidas no Nordeste brasileiro. Observou-se, por meio de experimentos computacionais, que tal ferramenta tem potencial de aumentar a produtividade do carregamento diário de pedidos, apresentando aqueles pedidos que dentre as restrições definidas conseguem garantir a melhor quantidade de horas produtivas.

O presente trabalho foi motivado pela observação das oportunidades de melhoria que diariamente eram possíveis de serem constatadas na alocação de pedidos, com tomadas de decisão pouco estruturadas e embasadas apenas no que o decisor acreditava ser melhor por sua experiência empírica.

O incremento de análise do TMA e ocupação dos destinos se mostrou válida e interessante pois considera fatores que podem impossibilitar o carregamento de um outro pedido carregado, não se limitando a olhar apenas a prioridade dos pedidos sem enxergar as outras tantas possíveis variáveis que afetam o resultado no final do dia. Por meio do estudo, foi possível incrementar em cerca de 8 mil hectolitros o fornecimento dentro de um mês, sem ter que aumentar os custos para isso, mostrando a importância de encontrar meios de tornar o processo de gestão e decisão mais assertivo e estruturado.

7.1 Limitações do Trabalho

O presente estudo apresenta algumas limitações importante que devem ser levadas em consideração caso seja de interesse aplicar em outras organizações. Isso se deve ao fato de que cada empresa possui sua própria realidade e seus próprios dados, o que pode afetar a forma como o modelo matemático é implementado e os resultados obtidos. Para meios de exemplificação, a organização base do estudo possui uma grande quantidade de dados que permitiram a modelagem do processo de alocação de pedido. No entanto, outras empresas podem ter tantos dados disponíveis ou podem possuir dados com qualidade inferior, o que afetará a precisão do modelo.

Outra limitação importante a ser considerada está alinhado com o fato de que os resultados obtidos pelo modelo são baseados em estimativas que podem não se efetivar no momento futuro. Por exemplo, na modelagem assume-se que todas as frotas definidas para aquele dia estarão disponíveis para realizar as viagens programadas, mas na prática, pode haver imprevistos, como a quebra de um veículo que estava programado para realizar determinada viagem, ou então, o veículo está disponível, mas a quantidade de motoristas em conjunto com

a escala da equipe impossibilite de ter uma equipe disponível naquele momento. Isso pode afetar a precisão do modelo e, portanto, deve ser considerado ao tomar decisões com base nos resultados obtidos. É importante destacar ainda, que o modelo matemático desenvolvido neste trabalho serve como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, e não como uma verdade absoluta. Os resultados obtidos pelo modelo devem ser interpretados e analisados com cuidado, levando em consideração a realidade que não está descrita na modelagem.

Além disso, é necessário avaliar a aplicabilidade do modelo matemático desenvolvido até mesmo em outras unidades da organização pois cada cervejaria possui suas particularidades e desafios que devem ser estudados de forma mais próxima por aquele que deseja aplicar uma modelagem como a desenvolvida no estudo.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Sendo este uma primeira versão de um modelo dentro da organização para tornar o processo de alocação de pedidos menos manual, isto é, sem uma estrutura para tomada de decisão, como sugestão, seria interessante avaliar novos critérios ou restrições que poderiam tornar o modelo mais fidedigno. Um outro ponto está na definição dos coeficientes das penalizações no modelo matemático. Uma possível aplicação de um modelo de obtenção dos pesos poderia ser aplicada com a utilização de um método de apoio a decisão multicritério, como o *FITtradeoff*, para que fosse possível alinhar de fato aos interesses do decisor, levando em conta não apenas a opinião individual do tomador de decisão, mas sim um conjunto de critérios relevantes para a empresa.

Aprofundando na modelagem multicritério, uma ideia a ser considerada para um estudo futuro, seria a avaliação da viabilidade de uma aplicação da modelagem multicritério como uma segunda etapa do modelo matemático, isto é, ao se definir o grupo de pedidos que deverão ser priorizados para carregar pelo modelo matemático, com o modelo multicritério, realizaria uma ordenação desses pedidos, de forma que, baseado nas preferências do decisor, caso ocorresse algum imprevisto e não fosse possível carregar todos os pedidos selecionados, um pedido extrema importância estivesse no topo da lista de carregamento, mitigando o impacto negativo na operação logística e garantindo a satisfação do cliente.

Um outro ponto que poderia ser trabalhado futuramente diz respeito a possibilidade de abordar o problema por meio de técnicas de otimização multi-objetivo, de forma que as variáveis e restrições penalizadoras seriam tratadas como objetivos a serem otimizados. Essa abordagem poderia se utilizar de técnica de otimização multi-objetivo como o método da soma ponderada (*weighted sum*), o método das restrições épsilon (*epsilon constraint*) ou até o método

da programação por metas (*goal programming*), sendo essas algumas das possibilidades para trazer o problema para uma nova ótica.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, Marcos et. al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007
- BALLOU, R.H. **Logística Empresarial – Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**, Atlas, 2002.
- BALLOU R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: Logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BANZATO, E. (1998) - **WMS – Warehouse management system: Sistema de gerenciamento de armazéns**. IMAN. São Paulo.
- BERTO, R.M.v.S. e NAKANO, D.N. **Métodos de Pesquisa na Engenharia de Produção**. CD ROM do XVIII ENEGEP, Niterói, 1998.
- BEUREN, Ilse Maria. **Conceituação e contabilização do custo de oportunidade**. Caderno de Estudos, p. 01-12, 1993.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CHAN, Felix TS; CHAN, Hing Kai. Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. **Expert systems with applications**, v. 38, n. 3, p. 2686-2700, 2011.
- CHARNES A., COOPER W. & RHODES E., 1978, Measuring the efficiency of decision making units, **European Journal of Operations Research**, vol. 2(6), pp. 429-444.
- CHHETRI, PREM et al. **Productivity benefits of employer-sponsored training: A study of the Australia transport and logistics industry**. Education+ Training, 2018.
- CHING, Hong Y. **Gestão de Estoques na cadeia de Logística Integrada**. 3ª ed. São Paulo: Atlas. 2006. p. 39-40.
- CHOW, G. . H. T. . H. L. Logistics Performance: Definition and Measurement. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 24, p. 17-28, 1994.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: criando redes que agregam valor**. 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- Conheça a Vivant, o vinho em lata brasileiro. **Brazil Journal** – 2019. Disponível em: <https://braziljournal.com/conheca-a-vivant-o-vinho-em-lata-brasileiro/>. Acesso em 26/03/2023.

CORRÊA, Henrique L. e GIANESI, Irineu G. N. **Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1993

CORREA, H. L. et al. **Planejamento, Programação e Controle da Produção MRP II/ERP**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

FRANKLIN, R. **Conhecimentos de Movimentação e Armazenagem**. Núcleo de Treinamento e Pesquisa da Consultoria InfoJBS, 2003.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Relatório Executivo do Plano Nacional de Logística e Transportes 2025** – PNL 2018. Disponível em: < <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-2025> >. Acesso em: 11/8/2022.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Anuário Estatístico de Transportes 2010 – 2019**. Disponível em: < <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Anuario-2010-2019-Completo.pdf> > Acesso em: 20/02/2023

FERREIRA, Deisemara; MORABITO, Reinaldo; RANGEL, Socorro. Relax and fix heuristics to solve one-stage one-machine lot-scheduling models for small-scale soft drink plants. **Computers & Operations Research**, v. 37, n. 4, p. 684-691, 2010.

GAMA, Iandra Souza da, SOUZA, Mariluce Paes de, SATO, Suzenir Aguiar da Silva. Apreciação dos custos ocultos na indústria de laticínios do município de Cacoal – Rondônia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS**, 16., 2009, Fortaleza. Anais... Fortaleza: FEAAC, 2009.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas da pesquisa social**. 6ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

INAREJOS, Osvaldo; HOTO, Robinson; MACULAN, Nelson. An integer linear optimization model to the compartmentalized knapsack problem. **International Transactions in Operational Research**, v. 26, n. 5, p. 1698-1717, 2019.

LUSTOSA, Leonardo; MESQUITA, Marco A.; OLIVEIRA, Rodrigo J. **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil, 2008.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2006.

JASTI, Naga Vamsi Krishna; SHARMA, Aditya. Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2014.

KOURI, M.G. (2007). **Definição de requisitos para um sistema de monitoramento de veículos no transporte rodoviário de cargas**. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEE, H. L. (2004). **Handbook of Transportation Science**. Springer.

MARCONI, M. A., LAKATOS, E. V. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MD HANAFIAH, Rudiah et al. An Innovative Risk Matrix Model for Warehousing Productivity Performance. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 4060, 2022.

MESSA, ALEXANDRE. Indicadores de Produtividade: uma breve revisão dos principais métodos de cálculo. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4045/1/Radar_n28_Indicadores.pdf> Acesso em: 05/03/2023.

MONTEIRO, Aluisio; BEZERRA, André Luiz Batista. **Vantagem competitiva em logística empresarial baseada em tecnologia de informação**. VI Seminário em Administração 21 FEA/USP, v. 6, 2003.

PEREZ-SALAZAR, Sebastian; SINGH, Mohit; TORIELLO, Alejandro. **Adaptive Bin Packing with Overflow**. Mathematics of Operations Research, v. 47, n. 4, p. 3317-3356, 2022.

POZO, Hamilton. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais – Uma Abordagem Logística**. 4ª ed., São Paulo: Atlas. 2007.

QIN, YANFANG; LIU, HONGRUI. Application of Value Stream Mapping in E-Commerce: A Case Study on an Amazon Retailer. **Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 713, 2022.

RAZZOLINI FILHO, Edelvino. **Transporte e Modais: com Suporte de TI e SI**. 3. ed. Curitiba: Ibpex, 2011.

SABO, Cosmin; POP, Petrică C.; HORVAT-MARC, Andrei. On the selective vehicle routing problem. **Mathematics**, v. 8, n. 5, p. 771, 2020.

SANTÉN, V. Towards more efficient logistics: increasing load factor in a shipper's road transport. **The International Journal of Logistics Management**, 2017.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIANA, J. J. **Administração de materiais: um enfoque prático**. São Paulo: Atlas, 2000.

WONG, Wai Peng; SOH, Keng Lin; GOH, Mark. Innovation and productivity: insights from Malaysia's logistics industry. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 19, n. 4, p. 318-331, 2016.