



**UFU - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Flávio Oliveira Milazzo

**ALGORITMO GENÉTICO COMO INSTRUMENTO PARA  
RESOLUÇÃO, OTIMIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE  
LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS**

Uberlândia – MG  
2023

FLÁVIO OLIVEIRA MILAZZO

**ALGORITMO GENÉTICO COMO INSTRUMENTO PARA  
RESOLUÇÃO, OTIMIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE  
LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da UFU – Universidade Federal de Uberlândia, como exigência para obtenção do título de Mestre em Ciências pela Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT.

Orientação: Prof. Doutor Alexandre Cardoso

Uberlândia -MG

2023

FLÁVIO OLIVEIRA MILAZZO

**ALGORITMO GENÉTICO COMO INSTRUMENTO PARA  
RESOLUÇÃO, OTIMIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE  
LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da UFU – Universidade Federal de Uberlândia, como exigência para obtenção do título de Mestre em Ciências pela Faculdade de Engenharia Elétrica - FEELT

Orientação: Prof. Doutor Alexandre Cardoso.

Uberlândia, 23 de Outubro de 2023

**Banca Examinadora**

**Alexandre Cardoso**  
Prof.Dr.

**Igor Santos Pereira**  
Prof.Dr.

**Robson Augusto Siscoutto**  
Prof.Dr.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M637 2023	<p>Milazzo, Flávio Oliveira, 1973- ALGORITMO GENÉTICO COMO INSTRUMENTO PARA RESOLUÇÃO, OTIMIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS [recurso eletrônico] / Flávio Oliveira Milazzo. - 2023.</p> <p>Orientador: ALEXANDRE CARDOSO. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.612">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.612</a> Inclui bibliografia.</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. CARDOSO, ALEXANDRE, 1964- (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós- graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado, 789, PPGEELT				
Data:	Vinte e três de novembro de dois mil e vinte e três	Hora de início:	14:30	Hora de encerramento:	16:30
Matrícula do Discente:	12012EEL013				
Nome do Discente:	Flávio Oliveira Milazzo				
Título do Trabalho:	Algoritmo genético como instrumento para resolução, otimização e visualização do problema de localização de armazéns.				
Área de concentração:	Processamento da Informação				
Linha de pesquisa:	Metodologia e Técnicas da Computação				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Coordenador do projeto: Alexandre Cardoso. Título do projeto: Desenvolvimento de metodologia utilizando o conceito BIM (Building Information Modeling) aplicada a projetos de subestações integrado à sistema de inteligência geográfica (SIG) e ao enterprise resource planning (ERP). Agência financiadora: ANEEL- ELETROBRÁS FURNAS. Número do processo na agência financiadora: CONTRATO 8000010818. Vigência do projeto: Mar/2021 a Jun/2024.				

Reuniu-se por meio de videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores:

Alexandre Cardoso - UFU

Igor Santos Peretta - UFU

Robson A. Siscouto - Unoeste

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Prof. Dr. Alexandre Cardoso, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

**Aprovado.**

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme, foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Robson Augusto Siscoutto, Usuário Externo**, em 23/11/2023, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Santos Peretta, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/11/2023, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/11/2023, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4954702** e o código CRC **BCBA900E**.

*Deus é um algoritmo binário fractal e autorreplicante.  
O Universo é uma matriz genética resultante da tensão existencial  
criada por seu desejo e autoconhecimento*

(Jakob Boehme)

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES, pelo financiamento desta pesquisa.

Aos meus Pais, Sônia Aurora Oliveira Milazzo e Salvador Milazzo Neto, pelos ensinamentos, valores e caráter.

Aos meus irmãos Gustavo Oliveira Milazzo e Patrícia Oliveira Milazzo, pela amizade, amor e caminhada fraterna.

À minha esposa Zaima Mendes Oliveira Milazzo e meus filhos Enzo Mendes Milazzo e Helena Mendes Milazzo, por todo apoio, incentivo, confiança, amor e paciência.

Aos meus professores Edgard Lamounier, Keiji Yamanaka e Igor Peretta, pela admiração e respeito a mim dispensados durante meu aprendizado.

Aos amigos Hesio Nunes Ferreira, João Daher e Claudianne Myllene Morais de Almeida, pela amizade e estímulo nesta jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Cardoso que, de maneira formidável, proporcionou-me a oportunidade de retomada dos estudos e a realização de um sonho.

A Deus, que tudo permitiu em minha vida.

## RESUMO

O problema de localização de armazéns exige a otimização de suas localidades. É bem conhecido em pesquisa operacional que visa minimizar os custos gerais e maximizar a satisfação do cliente na gestão da cadeia de abastecimento. Resoluções sobre localizações necessitam do uso de modelos matemáticos, algoritmos e técnicas que possam ser aplicadas, de acordo com a complexidade da problemática e da conjuntura de dados relacionados (força bruta, programação linear, programação inteira e heurística, por exemplo). O comércio eletrônico ou *e-Commerce* teve um sensível crescimento nas últimas décadas e as empresas transportadoras de produtos preocupam-se em facilitar a operação logística. A temática são os desafios que a localização de armazéns capacitados representa em relação à demanda logística. Neste estudo, define-se definir um conjunto de locais de armazenamento e conectá-lo ao contingente de clientes, minimizando custos totais de abertura, fechamento e/ou manutenção, preservando a satisfação do cliente (valor agregado) e redução ou erradicação de restrições da capacidade desses CDs. A hipótese que se levanta é que: distâncias entre os locais de armazenamento e a chegada dos veículos de transporte demandam um sistema operacional eficiente e otimizado, que supere os modelos e falhas que a logística tradicional oferece. Questiona-se como resolver o problema de localização de armazéns capacitados na cadeia de abastecimento de uma empresa, a fim de assegurar melhor qualidade para o cliente/consumidor final e favorecer os parceiros da empresa em questão? Pressupõe-se que a solução pode ser a aplicação do Algoritmo Genético. O objetivo é apresentar um Algoritmo Genético com algumas restrições e que seja capaz de promover a otimização e visualização sob demanda de soluções ou aproximações para o problema de localização de armazéns capacitados. O método utilizado é a apresentação do modelo de Algoritmo elaborado pelo autor, com base na rede de fornecedores participantes que se candidataram à locação de armazéns no mesmo espaço ambiental ou próximos desses candidatos. A Base de dados consultada foi pelo Kaggle, de Antony Goldbloom, com o objetivo de hospedar competições de Data Science e disponibilizar dados sobre diversos assuntos (*datasets*). Utilizamos o *dataset* “*E-Commerce Brazilian Data Set with 100k Orders from 2016 to 2018 – Olist* (um conjunto de dados públicos do *e-Commerce* brasileiro, fornecido pela *Olist Store* no segmento de *marketplace*. Solução Ótima foi pelo *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* buscando a solução ótima para o problema de localização de armazéns capacitados; foi utilizada uma biblioteca *open source* do Python, denominada PULP. Para o Algoritmo Genético utilizou-se a biblioteca *Distributed Evolutionary Algorithms (DEAP)*. Concluiu-se que os resultados do Algoritmo apresentado são promissores. De forma proporcional ao número de gerações, percebeu-se uma evolução vantajosa da função *fitness* e a conseqüente aproximação em relação à solução ótima calculada pelo MILP.

**Palavras-Chave:** Logística. Transporte. Problema de localização de armazéns capacitados. Otimização através de Algoritmos Genéticos. Última milha Logística.

## ABSTRACT

The problem of locating warehouses requires optimizing their locations. It is well known in operations research that it aims to minimize overhead costs and maximize customer satisfaction in supply chain management. Location solutions require the use of mathematical models, algorithms and techniques that can be applied, depending on the complexity of the problem and the related data situation (brute force, linear programming, integer programming and heuristics, for example). Electronic commerce or e-commerce has grown significantly over the last few decades and product transport companies are concerned with facilitating logistics operations. The subject is the challenges posed by locating capable warehouses in relation to logistics demand. The aim of this study is to define a set of warehouse locations and connect them to the customer contingent, minimizing total opening, closing and/or maintenance costs, preserving customer satisfaction (added value) and reducing or eradicating the capacity constraints of these DCs. The hypothesis is that the distances between storage locations and the arrival of transport vehicles require an efficient and optimized operating system that overcomes the models and shortcomings offered by traditional logistics. The question is how to solve the problem of locating capable warehouses in a company's supply chain in order to ensure better quality. The solution could be the application of the Genetic Algorithm. Objective: to present a Genetic Algorithm with some restrictions that is capable of promoting the optimization and on-demand visualization of solutions or approximations to the problem of locating capable warehouses. Method: presentation of the Algorithm model developed by the author, based on the network of participating suppliers who have applied to lease warehouses in the same environmental space or close to these applicants. Database - Kaggle database, by Antony Goldbloom, with the aim of hosting Data Science competitions and providing data on various topics (datasets). We used the dataset "E-Commerce Brazilian Data Set with 100k Orders from 2016 to 2018 - Olist (a public Brazilian e-Commerce dataset, provided by Olist Store in the marketplace segment. Optimal Solution - Mixed Integer Linear Programming (MILP) which seeks the optimal solution to the problem of locating capable warehouses; an open source Python library called PULP was used. Genetic algorithm: the Distributed Evolutionary Algorithms (DEAP) library was used. Conclusion: the results of the algorithm presented are promising. In proportion to the number of generations, there was an advantageous evolution of the fitness function and the consequent approximation to the optimal solution calculated by MILP. seeking the optimal solution to the problem of locating capable warehouses, an open source Python library called PULP was used. The Distributed Evolutionary Algorithms (DEAP) library was used for the Genetic Algorithm. It was concluded that the results of the algorithm presented are promising. In proportion to the number of generations, there was an advantageous evolution of the fitness function and the consequent approximation to the optimal solution calculated by MILP.

Keywords: Logistics. Transportation. Capacitated warehouse location problem. Optimization using Genetic Algorithms. Last mile logistics.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Artigos: Problema de Localização de instalações ou <i>Facility Location Problem</i> .....	13
<b>Figura 2</b>	Artigos: Problema de Localização de instalações ou “ <i>Facility Location Problem</i> ”.....	14
<b>Figura 3</b>	Estrutura de Cadeia de Abastecimento.....	22
<b>Figura 4a</b>	Equação 1: Função-objetivo utilizada no Algoritmo desenvolvido.....	51
<b>Figura 4b</b>	Modelo do Algoritmo desenvolvido.....	51
<b>Figuras 5a à 5d</b>	Modelo <i>Olist</i> e do modelo proposto neste trabalho.....	53
<b>Figura 6</b>	Função fitness utilizada no algoritmo em apresentação.....	54
<b>Figura 7</b>	Representação do indivíduo no AG.....	55
<b>Figura 8</b>	Exemplos de violações das quatro restrições.....	56
<b>Figura 9</b>	Resultados do AG com 5 clientes e 3 possíveis armazéns.....	60
<b>Figura 10a</b>	Gráfico dos resultados do AG com 5 clientes e 3 possíveis armazéns.....	61
<b>Figura 10b.</b>	Resultados reais, MILP e AG.....	61
<b>Figura 10c à 10d</b>	Visualização Entrega direta e Otimizada.....	62
<b>Figura 11</b>	Tabela de resultados do AG com 50 clientes e 30 possíveis armazéns.....	62
<b>Figura 12</b>	Resultados do AG com 50 clientes e 30 possíveis armazéns.....	63
<b>Figura 13</b>	Tabela com os resultados do AG com 231 clientes e 101 possíveis armazéns.....	63
<b>Figura 14</b>	Tabela com os resultados do AG com 231 clientes e 101 possíveis armazéns.....	64
<b>Figura 15</b>	Gráficos com os resultados do AG com 231 clientes e 101 possíveis armazéns.....	64
<b>Figura 16</b>	Resultados para do MILP/AG com 230 pedidos.....	65
<b>Figura 17</b>	O resultado do AG não apresentou solução competitiva.....	66

## LISTA DE SIGLAS

<b>AG</b>	Algoritmo Genético
<b>CD</b>	Centro de Distribuição
<b>CMCVRP</b>	<i>Collaborative multi-center vehicle routing problem</i>
<b>CoVRP</b>	<i>Capacitated open vehicle routing problem</i>
<b>CSP</b>	<i>Crow-Shipping</i>
<b>CWLP</b>	<i>Capacitated Warehouse Location Problem</i>
<b>DEAP</b>	<i>Distributed Evolutionary Algorithms</i>
<b>DES</b>	<i>Discrete Event Simulation</i>
<b>ERP</b>	<i>Enterprise Resources Planning</i>
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>LMD</b>	<i>Last Mile Delivery</i> (Entrega de Produtos Nas Últimas Milhas)
<b>LSPs</b>	<i>Logistics Service Partiners</i> (Fornecedores de Serviços Logísticos)
<b>MILP</b>	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>
<b>PULP</b>	Biblioteca <i>Open Source</i> do Python
<b>RA</b>	Realidade Aumentada
<b>RV</b>	Realidade Virtual
<b>SC</b>	<i>Supply Chain</i>
<b>SCM</b>	<i>Supply Chain Management</i>
<b>SEBRAE</b>	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
<b>SSCM</b>	<i>Sustainable Supply Chain Management</i>
<b>SWOT</b>	Acrônimo de <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i> (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças)
<b>VRP</b>	<i>Vehicle Routing Problem</i> (Problemas de roteirização de Veículos)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>CADEIAS DE ABASTECIMENTO (<i>SUPPLY CHAIN</i>).....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Gestão de Cadeia de Abastecimento (<i>Supply Chain</i>).....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Estrutura e localização de CDs.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Problema de localização de armazéns.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Níveis estratégicos e operacionais na logística.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Supply Chain Cluster.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Fluxo Operacional e Formação de Gargalos na Cadeia Produtiva.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>As cadeias de abastecimento e sustentabilidade.....</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>O COMÉRCIO ELETRÔNICO OU e-COMMERCE.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Desafios de entregas nas últimas milhas.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2</b>	<b>Problema da Localização e Capacidade de Armazéns.....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>Trabalhos relacionados.....</b>	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
<b>5.1</b>	<b>Limitações da pesquisa.....</b>	<b>71</b>
<b>5.2</b>	<b>Sugestão.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A operacionalidade de cadeias de abastecimento é complexa e o planejamento eficiente é essencial para identificação de respostas claras e objetivas para a melhor compreensão do contexto. A busca pela otimização de resoluções efetivas está intimamente conectada à qualidade desse planejamento, que pode intervir diretamente nas decisões da gestão da cadeia de abastecimento. Há soluções baseadas em paradigmas matemáticos que visam um processo bem sucedido em relação às instalações de armazenagem, demanda, níveis estratégicos, níveis operacionais e quanto às táticas a serem empregadas em determinada situação da logística de transporte (Melo *et al.*, 2017).

Algumas variáveis são previstas e passíveis de utilização na gestão de controle que deve, por sua vez, viabilizar o fluxo operacional e, uma delas, é a formação de gargalos que influencia a cadeia produtiva. Assim, a cadeia de abastecimento requer um estudo, planejamento e ações dinâmicas que favoreçam o sistema produtivo (Goldratt; Cox, 2006; Alves Ribeiro, 2018;).

Um dos problemas que mais necessitam da atenção de gestores e empresários do setor, é o de localização de armazéns que envolve a busca de otimização da localidade dessas instalações e é bem conhecido em pesquisa operacional, que visa determinar os locais ótimos para minimização dos custos gerais e maximização da satisfação do cliente. É uma questão complexa que requer consideração cuidadosa de vários fatores, como custos de transporte, padrões de demanda e concorrência (Cesquia *et al.*, 2022).

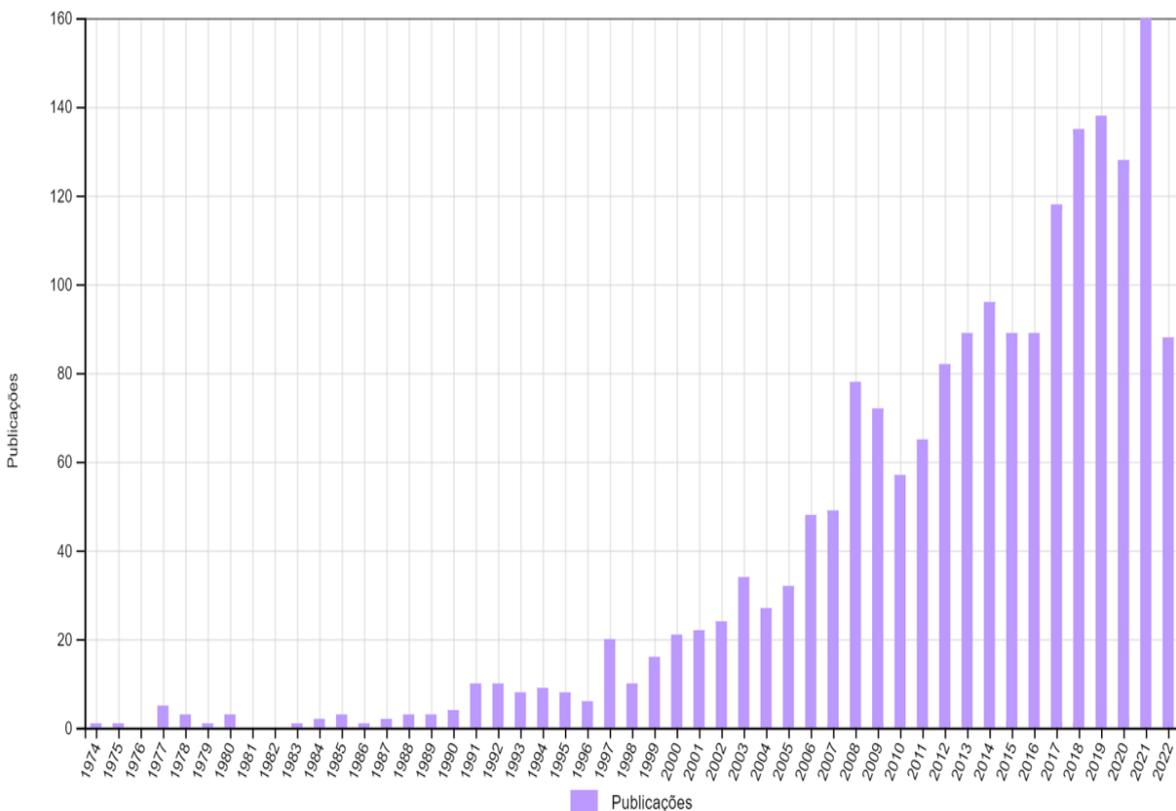
Nesta perspectiva e para melhores resultados, faz-se mister uma tática de distribuição da cadeia de abastecimento ou Supply Chain eficaz e eficiente quanto à localização dos armazéns, minimização de despesas, sempre visando a qualidade de rotas de transporte pragmáticas em sua funcionalidade, para que o fluxo logístico não seja dificultado pela ocorrência de gargalos prejudiciais aos roteiros delineados para os veículos, devido às possíveis distâncias entre eles e os CDs a serem utilizados pela empresa em questão (Goldratt; Cox, 2006; Alves Ribeiro, 2018; Santana, 2019).

Localização de instalações é importante em diversos setores que envolvem logística do varejo e saúde, principalmente. Na logística, por exemplo, a questão pode se relacionar à escolha dos locais mais indicados para armazéns e centros de

distribuição, a fim de reduzir custos de transporte e assegurar uma entrega pontual de produtos, enquanto no varejo, a seleção de localização de lojas pode maximizar as facilidades de mobilidade de clientes e de vendas. Na área da saúde, a localização pode definir onde se encontram instalações médicas, por exemplo, que garantam o acesso fácil de pacientes à assistência em unidades de saúde próximas, em casos emergenciais de acidentes ou situações causadas por algum tipo de ocorrência inesperada que envolva a saúde e segurança de uma comunidade ou populações maiores (Sato, 2002).

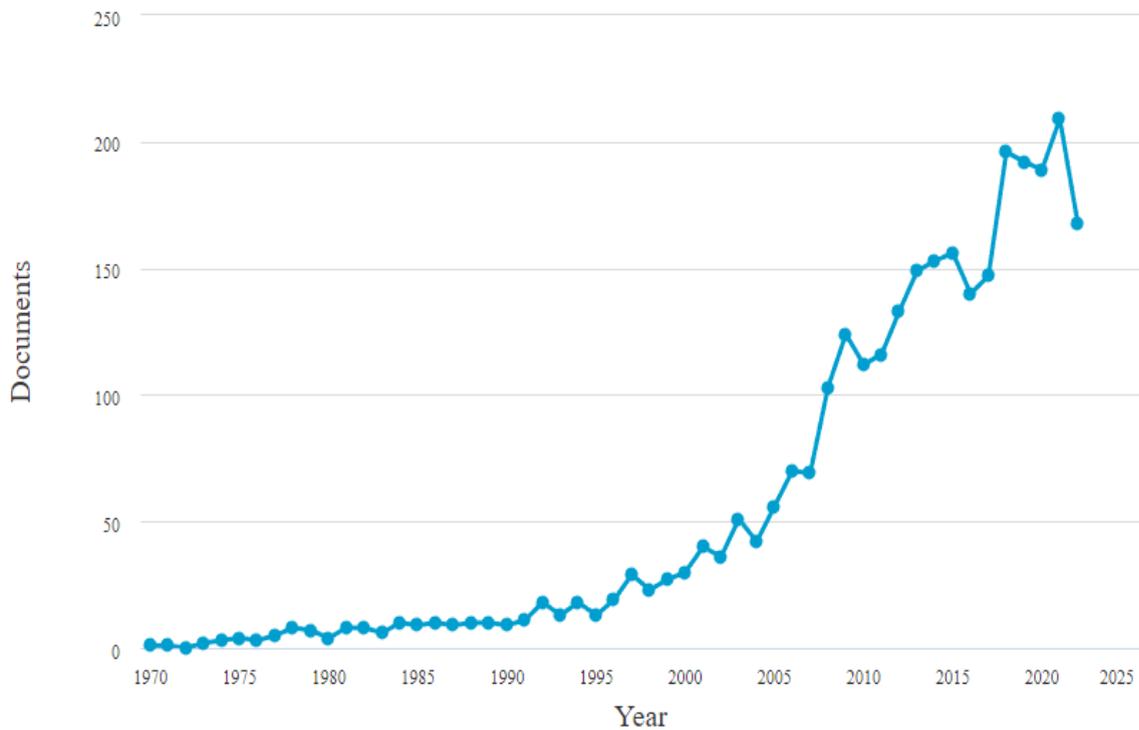
Essa problemática é alvo de estudos que vêm se desenvolvendo desde os anos de 1970, conforme demonstra a Figura 1. As previsões estatísticas apresentadas nesta figura vão até o ano de 2025 segundo previsões da Scopus em 2022, tema estudado desde o início do século 20, com 1872 documentos em *Web of Science* e 2979 documentos em *Scopus* (VER FIGURAS 1 e 2).

Figura 1. Artigos: Problema de Localização de instalações ou “*Facility Location Problem*”.



Fonte: Web of Science 2022.

Figura 2. Artigos: Problema de Localização de instalações ou “*Facility Location Problem*”.



Fonte: Scopus, 2022.

Portanto, resoluções sobre localizações podem exigir o uso de modelos matemáticos e algoritmos, nos quais diversas técnicas de otimização são aplicadas, de acordo com a complexidade da problemática e conjuntura de dados relacionados (algoritmo de força bruta, programação linear, programação inteira e heurística, por exemplo). Neste sentido, além do método matemático e do algoritmo, são importantes também a visualização ampliada dos dados, a análise dos padrões de demanda e de gastos com transporte, como aspectos de influência na escolha dos locais mais interessantes para as instalações desejadas e que contribuirão com os gestores responsáveis por essa demanda de atitudes na tomada de decisões (Bressan; Oliveira Campos, 2020).

Trata-se de um problema frequente que requer otimização de pesquisas operacionais e gestão da cadeia de abastecimento, considerando-se as distâncias até os clientes, a rede de transporte, os custos de estoque e a capacidade de armazenamento das instalações. São fatores essenciais na organização e gestão eficientes e eficazes da cadeia, como valores agregados e competitivos nesse mercado. Em determinadas contingências, o gestor da cadeia de abastecimento

encontra dificuldades de controle sobre o processo, em especial quando não consegue esse monitoramento sobre a totalidade da cadeia (Beckedorff, 2013).

Tradicionalmente, a abertura, fechamento ou manutenção de armazéns são desafios importantes para as plataformas de comércio eletrônico, empresas de varejo, indústrias, atacadistas e distribuidores, devido às incertezas de demanda dos clientes, à necessidade de construção e/ou aluguel de armazéns extras, ou mesmo à contratação de operadores logísticos. Logo, a tarefa de definir quantos armazéns, quais são as suas capacidades, onde abrir e quando fechar esses estabelecimentos, tornam-se tarefas importantes no processo decisório (Alves Ribeiro, 2018; Cesquia *et al.*, 2022).

O comércio eletrônico ou *e-commerce* teve um sensível crescimento nas últimas décadas. Esse é um nicho de mercado em que empresas transportadoras de produtos preocupam-se com a localização de seus armazéns e com as facilidades que uma operação logística bem planejada deve proporcionar. A atenção essencial é para o receptor dos produtos transportados a tempo e hora previstos, haja vista os constantes vieses gerados por fatores externos como distâncias, avarias mecânicas nos veículos, dificuldades de estradas de rodagem, formação de gargalos, entre outros (Torres *et al.*, 2022).

Uma alternativa interessante de solução de armazenagem é proposta por Seghezzi e Mangiaracina (2021). Segundo os autores, a abordagem para a solução das entregas na “última milha” associadas ao comércio eletrônico relaciona-se também com o conceito de “*Crowdsourcing logistics*” que utiliza, através de uma plataforma de comércio eletrônico, os espaços extras de armazenagem de garagens e residências com disponibilidade de espaços ociosos, de tempo e veículos, como o seu estudo demonstrou na cidade de Milão.

De acordo com as referidas fontes, considera-se ser esta uma oferta de compensação econômica para aqueles habitantes de uma cidade que possuam espaço ocioso e possam dispor deles para armazenar temporariamente as mercadorias e entregá-las aos destinatários. Seghezzi e Mangiaracina (2021) destacam que, em alguns casos, a adoção desse meio independe de compensação financeira quando se trata de amigos, conhecidos e parentes que estejam geograficamente próximos e queiram, por razões pessoais, ou por questões de natureza sustentável, realizar as entregas aos clientes finais. Neste sentido, entende-se que, devido a possíveis óbices que podem influenciar a dinâmica desse fluxo

logístico, buscam-se as melhores alternativas oferecidas pelas tecnologias altamente desenvolvidas no setor em epígrafe neste estudo e, uma delas, é o de armazenagem utilizando espaços ociosos.

Conforme as perspectivas, os fatores mais importantes que afetam os custos de entrega estão relacionados à demanda, compensação dos entregadores e a probabilidade de o cliente estar ou não em casa no momento da entrega. Para Seghezzi e Mangiaracina (2021), houve uma economia em valores ao ser seguida a ideia sugerida, quando ocorreu a comparação desse sistema com o modelo tradicional de entregas em Vans

Assim, um instrumento usado para solucionar problemas gerados por localizações de armazenagem pode ser o uso dos Algoritmos Genéticos, citados por diversos autores como Miao, R; Yuan, J. (2022); Kaviyani-Charati, M. *et al.*, (2022); Grover, S. (2022), entre outros.

Acompanhando esta linha de raciocínio, o presente trabalho tem, como proposta de desenvolvimento, a abordagem, sob demanda, de otimização e visualização da solução para o problema de localização de armazéns capacitados, sobre a utilização de algoritmos genéticos e programação linear, objetivando encontrar a solução ideal, ou uma aproximação máxima de otimização para o processo logístico em pauta, que envolve a localização dos Centros de Distribuição (CDs). Uma proposta de solução a ser aplicada ao comércio eletrônico brasileiro será apresentada neste trabalho.

A problemática deste estudo delimita-se aos desafios que a localização de armazéns capacitados representa para se alcançar a excelência quanto à logística, quando a demanda total de um armazém apresenta limitações espaciais e locais. Neste sentido, o estudo consiste em definir um conjunto de locais de armazenamento e conectá-lo ao contingente de clientes, a fim de minimizar os custos totais de abertura, fechamento e/ou manutenção, além de desenvolver um sistema de conexões para atender os clientes, preservando tanto a satisfação da demanda (valor agregado), quanto a redução ou erradicação de restrições da capacidade desses CDs.

Parte-se da hipótese de que as distâncias entre os locais de armazenamento e a chegada dos veículos de transporte demandam um sistema operacional eficiente e otimizado, que supere os modelos e falhas que a logística tradicional oferece. A solução pode ser a aplicação de um Algoritmo Genético (AG).

Define-se como Algoritmos Genéticos aqueles que têm, como fundamento, o princípio Darwiniano de evolução e genética das espécies, como operação heurística que proporciona mecanismos inteligentes de sistemas computacionais (inteligência artificial), um campo de práticas e estudos relacionados, inspirados na própria Natureza. Os AG foram desenvolvidos para serem aplicados em problemas da vida real, na busca de soluções e otimizações (Flores, 2021) e, portanto, podem oferecer a solução para maximizar facilidades de localização de armazéns, conforme abordamos neste trabalho.

Diante dos desafios de abertura, fechamento ou manutenção de armazéns como aspectos essenciais em plataformas de comércio eletrônico, empresas de varejo, indústrias, atacadistas e distribuidores (Alves Ribeiro, 2018; Cesquia *et al.*, 2022), e de todos os problemas que esses fatores podem causar, surge a tarefa de definir quantos armazéns serão necessários numa operação, além de mensurar a capacidade de espaço físico, a localização ideal e até mesmo o momento ideal ou necessário de fechar um CD. Esses movimentos devem ser planejados criteriosamente e são relevantes para a tomada de decisões (Unnu; Pazour, 2022; Cesquia *et al.*, 2022).

Novos paradigmas de negócios consideram a armazenagem sob demanda como alternativa por meio de plataformas, com soluções de armazenamento flexível, permeando-o com o espaço de armazenamento subutilizado e capacidade de conexão com clientes que precisam de espaço extra, ou de serviços de conexão. São novos modelos de negócios que se destacam pelas vantagens como a granularidade do atendimento, por exemplo, e que possuem estruturas de custos diferentes quando se estabelecem parâmetros com os tradicionais mecanismos na obtenção de espaços dessa natureza e oferta de serviços de conexão (Unnu; Pazour, 2022; Cesquia *et al.*, 2022).

Como o comércio eletrônico transformou significativamente as características de demanda e perfis de pedidos, conta-se hoje com unidades menores de movimentação e locais de entrega mais dispersos, haja vista que o bom atendimento ao cliente é uma oferta de valor, visto que ele espera pela rapidez de entrega, baixo custo ou gratuidade dessa prestação de serviço. Há um grande contingente de empresas varejistas, especialmente nos Estados Unidos da América (EUA), cujas entregas são realizadas no mesmo dia das transações (Saleh, 2018).

Nesta perspectiva, observa-se, por um lado, os experimentos computacionais ilustrando que o poder da armazenagem sob demanda consiste no aumento do número de locais de armazenamento compartilhado, criando acesso à escala e uso mais eficiente desses locais e a melhor utilização das suas capacidades (Unnu; Pazour, 2022). Por outro, o fator da sustentabilidade, um quesito a ser amplamente considerado como um atributo associado e necessário ao perfil de empresas, a armazenagem sob demanda pode contribuir para a redução da emissão de carbono, quando se amplia a proximidade desses CDs aos consumidores, além de evitar ou postergar a construção de armazéns. Tudo isto pode ser possível através de compartilhamento de instalações já existentes (Cesquia *et al.*, 2022).

Esta contextualização suscita uma questão: como resolver o problema de localização e armazéns capacitados na cadeia de abastecimento da logística de uma empresa, a fim de assegurar melhor qualidade para o cliente/consumidor final e favorecer os parceiros da empresa em questão?

Diante dessa questão a ser respondida, o objetivo deste estudo é apresentar um Algoritmo Genético com algumas restrições, que seja capaz de promover, por meio de otimização, visualização e sob demanda, soluções ou aproximações para a resolução do problema de localização de armazéns capacitados.

São delineados como objetivos específicos:

1. Abordar o Supply Chain e suas características
2. Definir a gestão otimizada da Cadeia de Abastecimento
3. Destacar a importância da localização de armazéns
4. Apresentar um Algoritmo Genético como resolução dessa problemática

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CADEIAS DE ABASTECIMENTO (*SUPPLY CHAIN*)

Logística é uma terminologia usada por Heródoto, referindo-se aos preparativos de invasão de guerra na Grécia, como uma movimentação que envolvia artes miliares, meios de sobrevivência no campo de batalha, segurança, meios de movimentação, transporte e alojamento das tropas. Trata-se, portanto, de um processo bem antigo sendo aplicado no mundo moderno pelas organizações empresariais, com ênfase nas décadas de 1960 e 1970. Todavia, a sua evolução significativa deu-se a partir dos anos de 1990, com a competitividade tornando-se uma realidade no universo de concorrência acirrada de empresas, buscando sobreviver em seus respectivos mercados (Ballou, 2009; Platt, 2015).

Assim, a logística teve um grande impulso, transformando-se em uma das importantes estratégias administrativas. Apresenta características relevantes como ações voltadas para a entrega do produto final - *agile enterprises*, que representa parte do perfil de excelência de empresas, além de ser considerada como “indústria sem fumaça” (expressão que nos remete à sustentabilidade e à “satisfação plena do consumidor” final, segundo Platt, 2015). A logística propicia a composição de parcerias envolvendo interesses de clientes e fornecedores e inclui, também, o intercâmbio de dados estratégicos e operacionais. Esses aspectos visam a busca ininterrupta de meios de otimização do fluxo que caracteriza o processo logístico (Ballou, 2009; Platt, 2015).

O avanço de recursos tecnológicos (computador, telecomunicações, por exemplo), causaram um forte impacto na evolução da logística, favorecendo a gestão de qualidade, a troca de informações em tempo real, viabilização da dinâmica de processos decisórios, redução de níveis de estocagem, melhor monitoramento operacional e previsibilidade de informações. A associação de logística e área de marketing foram fatores relevantes para a satisfação das necessidades de clientes exigentes quanto à prestação de serviços, qualidade de produtos e segurança de entregas que demandam um fluxo marcado por complexidades referentes, também, ao armazenamento desses produtos cada vez mais diversificados (Ballou, 2009; Platt, 2015).

Ballou (2009) alerta para o fato de, em alguns países, a produção e o consumo são no mesmo local (produção agrícola, por exemplo) e, quando há oferta de transporte mais econômico, esses mesmos países vão se aproximando de países mais desenvolvidos. Isto demonstra que a malha de transporte é fundamental no mercado competitivo e assegura uma economia de escala produtiva com redução de preços dos produtos. Portanto, onde não existe eficiência de transporte, aumentam-se as limitações mercadológicas e reduz-se a proximidade de locais de produção.

Este alerta demonstra que a expansão das empresas fica condicionada ao desempenho logístico, que depende de uma malha viária estruturada para formar uma cadeia de abastecimento eficiente. A logística ganha, assim, mais importância como instrumento econômico (Ballou, 2012).

No entanto, a logística é, *per se*, esse processo de planejamento, implementações de tecnológicas eficientes e economicamente viáveis, em especial no controle do monitoramento de entrada e saída dos produtos ou serviços, desde a sua origem até o representante ou consumidor final. Ela é a geradora da economia de tempo e espaço no setor de bens e serviços no decorrer de todo o processo da cadeia de abastecimento (Ballou, 2012; Platt, 2015).

Como se observa, a logística tem a função de fornecer ou contribuir com a satisfação do cliente, tendo como princípios a segurança, confiabilidade, *lead-time* e localizações das instalações organizacionais com a máxima redução de custos. Exige-se, neste sentido, uma gestão eficiente e eficaz do setor.

### **2.1.1 Gestão de Cadeia de Abastecimento (*Supply Chain*)**

Há aspectos essenciais e decisivos no processo logístico, como a exatidão de dados informacionais e do espaço de tempo desse trânsito, que serão recebidos e avaliados pelos clientes quanto à qualidade dos pedidos realizados, entrega, embarque, programação do faturamento, minimização de ativos totais da cadeia de abastecimento. Portanto, termos a serem devida e idealmente preenchidos referem-se ao “como, quando e onde” deverão ser utilizados os meios oferecidos como vantagens estratégicas. As informações virtuais são ferramentas aperfeiçoadas neste sentido (Ballou, 2009).

Para o referido autor, fatores como pedidos devidamente especificados, tempo de negociações e entrega são necessários como parte dessa transação que possui

um circuito próprio, elaborado pela gestão da cadeia de abastecimento. O cliente tece a expectativa de um produto em perfeitas condições, com recepção em menor espaço de tempo e localização conveniente, baixos custos e valor agregado, como diferenciais de mercado, uma complexidade de aspectos exigidos como padrão de qualidade de prestação de serviços. A comunicabilidade entre prestador de serviços e clientes, como a *Enterprise Resources Planning* (ERP), sinaliza a qualidade do desempenho.

A cadeia de abastecimento ou *Supply Chain* (SC) é uma rede composta de diversas empresas interligadas perfazendo uma totalidade, porém cada uma é auto-organizada e atua em seu ambiente, mas participando dessa rede. São empresas que ultrapassam limites geográficos visando a implementação de colaboradores ou parceiros, compondo uma interorganização. Para tanto, participam de ações que integram produção, planejamento, inventários e entrega, sempre no âmbito de objetivos competitivos da própria rede (Platt, 2015).

Para o autor citado, os colaboradores são considerados, diante da globalização da economia na rede interorganizacional, como importantes agentes de cooperatividade, ou seja, quando duas ou mais empresas da cadeia de abastecimento trabalham no sentido de criar vantagens competitivas que acontecem através do intercâmbio de informações, processos decisórios em conjunto e compartilhamento de benesses originadas da rentabilidade resultante do atendimento às necessidades do cliente.

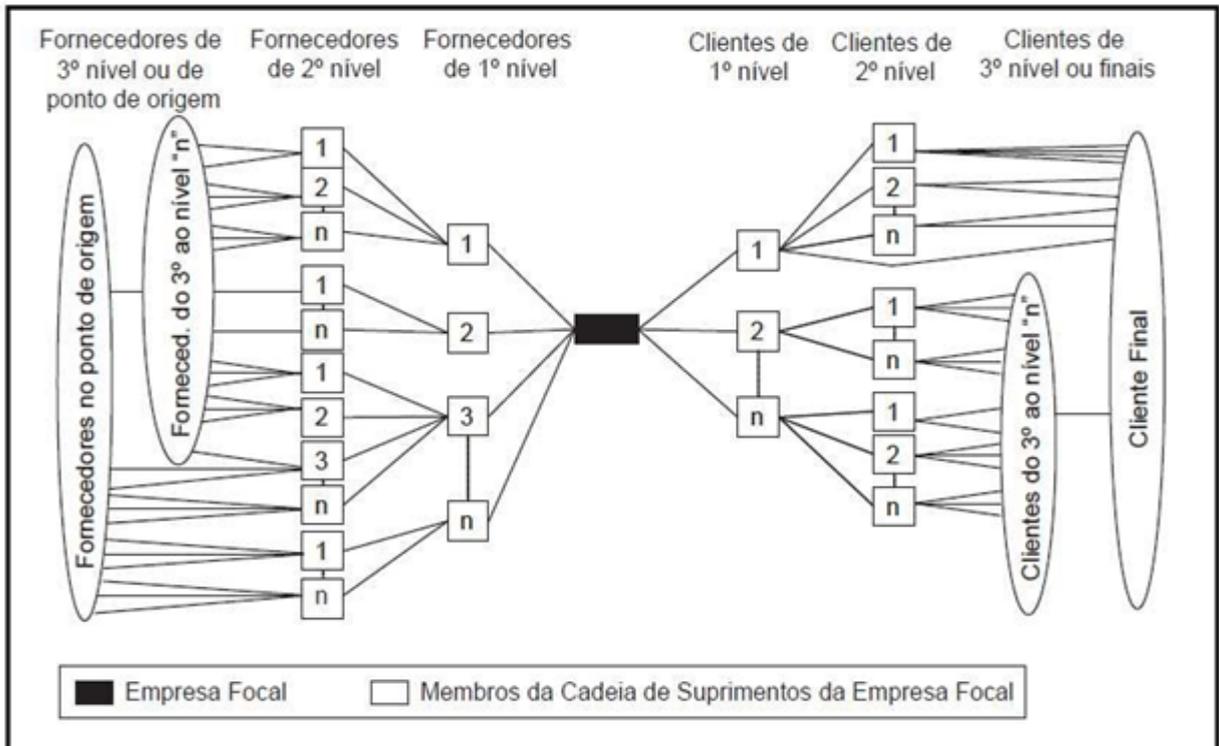
Veja-se na Figura 3 um modelo estrutural de uma cadeia de abastecimento, horizontal e vertical. Nesta figura, observam-se:

Estrutura horizontal: níveis para a produção do produto.

Estrutura vertical: número de empresas em cada nível

Empresa-foco: trata-se da posição da empresa em questão.

Figura 3. Estrutura de Cadeia de Abastecimento



Fonte: Lambert; Cooper, 2000.

O principal nesse planejamento é atender o cliente com o produto certo, na hora certa e no local certo (*Council of Supply Chain Management Professionals*). Em síntese, representa a rapidez e a confiabilidade como características de uma cadeia eficiente e eficaz em dois sentidos fundamentais: *Upstream*, no sentido do fornecedor e *Downstream*, no sentido do cliente, ou seja, montante e jusante (Vieira *et al.*, 2010).

No entanto, riscos fazem parte desse processo operacional devido a instabilidades passíveis de acontecerem no estoque, entregas, volume de clientes, transporte etc. Muitas vezes, ocorrem incertezas no ambiente dos colaboradores que podem envolver relações estruturais, incompletude no compartilhamento de informações, tomada de decisões isoladas ou individualizadas e descentralizadas, auto-organizações abertas, emergências não lineares e dinâmica evolutiva, que se resumem em falta de conexão nessa cadeia (Xu *et al.*, 2016).

Tal inconveniente, tanto entre colaboradores (clientes internos), parceiros, investidores e fornecedores (clientes externos), requer que as empresas-membros de uma cadeia interajam de forma total e colaborativa, a fim de se alcançar uma reconfiguração de adaptação das relações estruturais interorganizacionais e intraorganizacionais, trazendo para a rede o real sentido de compartilhamento total,

seja de informações ou de tomada de decisões, que vão configurar e consolidar um modo auto-organizado e conectado. Esta (re)união de colaboradores pode efetivamente ser traduzida como uma rede de abastecimento funcional com um desempenho qualitativo geral frente aos desafios (Xu *et al.*, 2016).

Entende-se dessas assertivas dos referidos autores que o inter-relacionamento com clientes internos e externos (parceiros e investidores) significa a conexão ou aproximação maior entre os componentes da cadeia de abastecimento que assim se consolida. A empresa, por sua vez, terá seus processos satisfatoriamente efetivados. Se o foco do gestor dessa cadeia mantiver seus cuidados apenas no fator logístico, estará atuando isoladamente, e esse é um paradoxo, visto que a cadeia significa e deve ser um complexo interconectado ou interacional.

Assim, a gestão logística necessita ser o cerne de procedimentos dinâmicos e produtivos no controle de gastos e com a menor margem de erros possível, conservando uma visão do *Supply Chain* em seu amplo sentido, como um trabalho totalmente interativo de fornecedores, transportadores e receptores finais do produto (Ballou, 2009).

Compartilhamento de informações é crucial para que as políticas estratégicas sejam consolidadas e, neste sentido, a cadeia de abastecimento torna-se um aspecto indiscutivelmente central em todo o processo logístico que podemos apontar como diferencial estratégico. Dessa eficiência nascerão as possibilidades, antes apenas probabilísticas, de maximização de resultados positivados ou lucratividade corporativa. Em resumo, *Supply Chain* tem o papel de proporcionar *inputs* e *output* que serão alicerces na produtividade. A colaboratividade de toda a cadeia de abastecimento neste sentido é fundamental (Xu *et al.*, 2016).

Interessante se faz avaliar o macrodesempenho da SC, identificando os pontos fortes e frágeis nas relações estruturais entre os colaboradores-membros ou parceiros, analisando-se o desempenho individual e coletivo da rede. Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2021), os parceiros são importantíssimos para a empresa, visto que a concorrência é uma ameaça de mercado. A análise deve envolver dados sobre as empresas parceiras, seu comportamento no mercado, idoneidade em suas atividades, certificando-se de que são fatores confiáveis.

Assim, torna-se essencial a observação quanto às qualidades e deficiências relacionadas à capacidade de produção e profissionalismo da empresa parceira. Essa

análise pode conter indicadores que contribuam para a gestão da cadeia e terá o mesmo valor de uma matriz de SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*, ou: Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças), que avalia o ambiente interno e externo das organizações. É neste sentido que se fala da análise no caso da cadeia de abastecimento para assegurar a qualidade dos serviços prestados por toda a rede (SEBRAE, 2021).

As inter-relações são um instrumento desafiante para a gestão da rede, que nem sempre é solucionada em cálculos ou fórmulas matemáticas (teorias de controle utilizam equações) e paradigmas limitantes, exigindo novos métodos de análise que vão além de um controle simplista. Modelos evolutivos de *Supply Chain* podem ser mais complexos, porém dinâmicos (Xu *et al.*, 2016).

Para autores como Lambert *et al.* (1998), a confirmação da equipe que compõem a cadeia é um passo de segurança, tendo-se a certeza de quem serão efetivamente membros-chave da *Supply Chain*, diferentemente de uma equipe de participação esporádica para atendimentos emergenciais e apenas quando se fizer necessária essa complementação de apoio. A sequência de ações em cadeia é assegurada quando a equipe é integrada e comprometida em todos os aspectos exigidos e já citados.

Nessa integração, não devem ocorrer conflitos ou dúvidas, uma vez que a execução da administração do *Supply Chain* necessita ser contributiva, como se fosse a regência de uma orquestra, sem notas dissonantes, que depende dos parceiros corretamente selecionados. Parceiros são aqueles que oferecem excelência de serviços, possuem estabilidade econômica e confiabilidade em longo prazo, recursos tecnológicos de comunicação que assegurem o compartilhamento de dados em tempo real de Supply Chain Management (SCM), que exige mudanças significativas, tanto nos procedimentos internos quanto externos, principalmente no que diz respeito ao relacionamento de clientes e fornecedores (Lambert *et al.*, 1998).

## **2.2 Estrutura e localização de CDs**

A cadeia de abastecimento varejista, em seu design tradicional, não mais responde às exigências da demanda atual, visto que a preferência dos clientes pelos meios digitais é premente. Os elementos analógicos são insuficientes no atendimento de qualidade ao cliente. Centros de Distribuição (CDs) são construídos em locais

convenientes ao consumidor final no âmbito de mobilidades dinâmicas e eficientes, em pontos estratégicos para o abastecimento e distribuição. CDs são instalações utilizadas para recepção e armazenagem dos produtos a serem distribuídos e devem ser vantajosas para empresa e clientes quanto à sua localização nesta prestação de serviços (Ishfaq *et al.*, 2016; Holzapfel *et al.*, 2018).

Esses centros recebem os produtos enviados pelos fornecedores que os reencaminham para as respectivas lojas ou clientes finais e, o giro dessas mercadorias depende da operacionalidade centralizada desse movimento. Giro maior gera aumento do poder de barganha da rede, criando um enredo de condições favoráveis à toda a cadeia formatada na oferta de valor e competitividade com otimização de custos logísticos. Quando se trata de produtos perecíveis, a complexidade das operações em cadeia aumenta, por serem mercadorias que necessitam de rápida comercialização, além de armazenamento específico (Christopher, 2016; Leithner; Fikar, 2022).

A manutenção de armazéns é necessária às plataformas do *e-Commerce*, empresas varejistas, atacadistas, indústrias e distribuidores. Fatores exógenos gerados pela demanda, necessidade de aluguéis ou construção de CDs, contratação de recursos humanos para as operações logísticas competentes, número de armazéns necessários, sua capacidade de armazenagem, locais, quanto a abrir ou fechá-los, são alguns dos desafios em processos decisórios (Melo *et al.*, 2017).

A armazenagem flexível ou sob demanda é uma alternativa de modelo de negócios, isto é, a armazenagem sob demanda através de plataformas que oferecem essas soluções, numa combinação de empresas e CDs com espaços ociosos e clientes que necessitam de espaços extras para suas operações. São conectividades vantajosas para ambas as partes em termos de espaços e custos financeiros envolvidos. Portanto, novas formatações de negócios oferecem singularidades favoráveis ao atendimento, além de diferenciais em custos, se forem comparadas aos modelos tradicionais desse setor logístico e do Supply Chain (Unnu; Pazour, 2022).

### **2.2.1 Problema de localização de armazéns**

Localização de armazéns são desafios de otimização combinatórias do setor logístico e nem sempre um CD é suficiente para a demanda. Assim, o desafio concentra-se na conexão de um conjunto de armazéns aos clientes de interesse,

minimizando custos operacionais de manutenção desses CDs (abertura de locais, encerramento de atividades nos mesmos, por exemplo). É importante que o cliente permaneça satisfeito em suas expectativas, porém que a empresa não sofra perdas por falta de estratégias competentes (Unnu; Pazour, 2022).

Portanto, a capacidade e localização da armazenagem da Supply Chain são dois aspectos amplamente discutidos em estudos que se referem a locais: discute-se o tema, apresentam-se os mesmos óbices e sugestões, mas não um resultado final que possa ser indicador de resolução-padrão, devido às diferentes realidades de cada local. Nesta conjuntura de fatores, é um tema que requer constantes abordagens e exige atenção voltada para a questão em pauta, considerando-se que as instalações de armazenamento necessitam investimentos para a perfeição de uma operação logística que se deseja.

Souza (2019, p. 5) refere que “[...] a literatura mostra crescentes avanços acerca do tema. Técnicas de análise multicritério espacial permitem o emprego de inteligência geográfica para apoiar a tomada de decisão”, aliados à solução de modelos matemáticos e técnicas de simulação.

Conquanto já tenha sido abordado no item anterior deste estudo, enfatiza-se a importância deste tema que acontece na tomada de decisões respectiva a cada caso que se apresenta, quando se elabora a construto de uma rede de parceiros. Sharma (2007) define que, quando se trata de localização dos CDs, esse problema de localização de armazéns capacitados ou Capacitated Warehouse Location Problem (CWLP), é um desafio clássico.

O principal fator resume-se em localizar instalações de armazenagem de uma forma que os custos operacionais sejam flexíveis para ambas as partes, ou seja, à empresa e aos seus parceiros, visto que o ideal é o envio de um volume específico de mercadorias para os clientes através dos armazéns, com custos mais econômicos possíveis e de fácil acesso para a entrega aos clientes.

As despesas desse transporte terão gastos relativos à distância entre clientes e os CDs disponíveis em cada setor que esteja mais próximo ao receptor e ao volume de mercadorias a serem despachadas e acondicionadas nesses armazéns, considerando-se também que essa estratégia deve satisfazer as expectativas dos clientes finais como valor agregado. Incluem-se nessas considerações de alta relevância, o limite de capacidade do armazém em questão.

### 2.3 Níveis estratégicos e operacionais na logística

Para um cliente, o processo operacional da logística refere-se ao espaço de tempo entre a compra e a entrega do pedido. No entanto, esse tempo é permeado de diversos detalhes específicos quanto ao pedido que demandam os ciclos do próprio pedido que a empresa administra assegurando a qualidade e satisfação do cliente e este fator inclui o custo reduzido com máximo valor agregado, dois aspectos que devem ser mais vantajosos do que os do concorrente criando o diferencial competitivo. A administração desse complexo processo resume-se no *Enterprise Resources Planning* (ERP), troca de informações entre a empresa e o cliente (Platt, 2015).

Toda essa dinâmica depende do fluxo comunicacional da empresa e seus setores departamentais, fornecedores e integração dos sistemas de informações. Tem-se assim, o que o Professor Platt (2015) denomina de “sistema nervoso” da cadeia de abastecimento, numa projeção que visa local de entrega, momento certo e quantidades especificadas no pedido, constituindo a qualidade da prestação de serviços ao cliente.

Há, portanto, um programa cuja linguagem é a mesma para todas as etapas dessa gestão financeira, produtiva de colaboradores, compras e distribuição, entre outras, de um *software* que dinamiza o intercâmbio de informações dos departamentos relacionados e de acordo com uma única base de dados centralizada que permita “[...] acesso em tempo real otimizando o processo de tomada de decisão, a conectividade com outros sistemas via web, permitindo o acesso remoto e a troca de informações entre empresas de uma Cadeia de Suprimentos.” (Platt, 2015).

Conjuntamente com o ERP, essa área da logística decide e coordena, segundo um planejamento, a execução e monitoramento operacional simultaneamente. Se esse sistema estiver devidamente integrado às empresas parceiras, será possível o acompanhamento de todo o processo da mobilidade que intermedeia ações operacionais, desde o fornecedor até o consumidor final, de forma eficiente e eficaz, completando uma linha de conexões que aproxima a *Supply Chain* da perfeição que o cliente idealizou. Esta é a essência da competitividade desse mercado (Platt, 2015).

Neste contexto, a colaboratividade da cadeia de abastecimento e a gestão da logística torna-se cada vez mais interessante e funcional, satisfazendo ambos os interesses empresariais. Esta interatividade é favorecida com o problema de encaminhamento de veículos (CoVRP), cuja função é maximizar a eficiência do

transporte e custos verticais (entre empresas e suas empresas montante e jusante), e horizontais (cooperatividade entre organizações no mesmo nível do *Supply Chain*), ou cooperatividade interna e externa (Vanovermeire; Sörensen, 2014; Wang *et al.*, 2021)

A colaboração horizontal ocorre como rota específica de veículos multicêntricos (CMCVRP), em que cada empresa atende a um determinado contingente de encomendas. Desta forma, a quantidade de CDs corresponde ao total de empresas parceiras. Nesse sistema, empresas encaminham encomendas similares ou complementares e, na troca dessas encomendas, ocorrem momentos de colaboração.

O estudo de Wang *et al.* (2021) refere-se a parcerias oportunas e não fidelizadas, isto é, a parcerias podem ser rompidas se os interesses em comum não forem alcançados ou não se compatibilizarem, embora seja um processo decisório que envolve parceiros coligados e parceiros individuais. A resposta ideal é a coordenação de benesses entre ambas as partes, a fim de qualificar positivamente a colaboração horizontal. Este tipo de colaboração demonstra algumas inconveniências que devem ser previstas antes de se firmar um acordo, porém, é citado neste estudo a título de definição e comparatividade quanto aos processos de seleção de parcerias.

Há diversos tipos de cadeia de abastecimento: rede dirigida à cadeia de abastecimento; rede de cadeia de abastecimento em camadas; rede de cadeia de abastecimento em *clusters*; cadeia de abastecimento em ruptura, além de estudos sobre incertezas e robustez, compondo assim, diferentes caminhos de evolução nesse setor (cadeia de abastecimento com a saída dos 'nós' e a entrada dos 'nós' existentes conjuntamente, por exemplo). Todavia, o que interessa a este estudo é a cadeia de abastecimento dinâmica e ágil (Xu *et al.*, 2016).

É sempre um desafio fazer com que o modelo de negócio tradicional consiga superar desafios e criar uma imagem externa satisfatória da empresa, frente à cooperação horizontal e vertical na cadeia de abastecimento e sua gestão no mercado em que a demanda é flutuante. São novos produtos e serviços ofertados e esse é um contingente importante que tem, como consequência, a redução do ciclo de vida dos produtos que já estão no mercado. Cresce a competitividade com essas novas ofertas que podem ter uma procura ou preferência aumentada ou não (Xu *et al.*, 2016).

Neste sentido e contando com fatores naturais que criam gargalos, os autores citados afirmam que a dinâmica da cadeia e a demanda de maior agilidade, tornam-se fatores de alta relevância, enfrentando dificuldades e ameaças internas e externas, além de aproveitar oportunidades e vantagens mercadológicas, sempre visando a

concorrência acirrada. São momentos em que tomada de decisões é crucial e exige ações emergentes da gestão da *Supply Chain*. Quando ocorrem as dificuldades e inconveniências de produtividade, a resiliência da cadeia necessita se consolidar imediatamente também, comprovando seu potencial de readaptação às mudanças como abastecedora nessa rede.

Esta capacidade de lidar com as surpresas contingenciais qualifica a *Supply Chain* para lidar com seus ativos. De acordo com Xu *et al.* (2016), a SC e a interação de seus diversos agentes agilizam o sistema e definem as funções de cada um desses agentes, visando a coordenação operacional da cadeia. Enfatizam que a conexão interna dos agentes é essencial nessa dinâmica e contribui para a geração de um modelo eficaz de cadeia que apresente, em seu design, etapas identificadoras e expressivas das orientações a serem seguidas quanto ao objeto em foco, ou seja, a agilidade de operações *Supply Chain*.

### **2.3.1 Supply Chain Cluster**

Destacamos também neste contexto de SC ágil e eficiente, a rede de cadeia de abastecimento em *clusters*. O conceito de logística humanitária evoluiu a partir de metas logísticas que superam barreiras de tempo e espaço em tempo hábil, no movimento de serviços e produtos (envolvendo pessoas e locais em situação de vulnerabilidade causada por catástrofes naturais e outras emergências), sistema que vem sendo utilizado na Europa e EUA, porém muito recente no Brasil (Lima *et al.*, 2014).

O *cluster* industrial concentra, em um espaço geográfico, empresas que são interconectadas a fornecedores e instituições associadas no setor em que atuam, nesse processo interativo de similaridades e complementaridades. Definem que as concentrações geográficas de empresas interconectadas interagem com “[...] fornecedores especializados, prestadores de serviços, empresas em indústrias relacionadas, instituições de formação e organizações de apoio ligadas em redor como tecnologia ou produto final dentro de uma área ou região local.” Essa conectividade da logística humanitária nos remete à união da economia aos fatores sociais, uma inovação louvável nas relações interpessoais comunitárias (He, 2016).

Essas redes atuam amplamente no mundo e podem ser citadas nessa indústria “[...] a microelectrónica, biotecnologia e *clusters* de capital de risco no vale do silício

dos EUA, químicos, financeiros e de meios de comunicação de telecomunicações em Frankfurt, Alemanha” (He, 2016). Os *clusters* industriais no território chinês localizam-se em três zonas econômicas de grande porte, gerando cerca de 30 milhões de empregos. Esse sistema *cluster* é relacionado ao *Supply Chain*, sendo um tipo especial de rede empresarial ao ser associado à cadeia de abastecimento nos paradigmas de cadeia horizontal e vertical (HE, 2016). Essa assertiva do autor é corroborada por outros autores como Li *et al.* (2013) e Huang e Xue (2012) que, entre outros estudiosos, reiteram as vantagens dessa interconexão.

Segundo Lima *et al.* (2014), a logística humanitária é um processo que mobiliza pessoas, recursos, habilidades e conhecimento nas situações de vulnerabilidades e envolve diversas atividades como transporte, compras, desembarço aduaneiro, detecção e acompanhamento, transporte interno, armazenamento e entrega de última milha. Conquanto esse modelo de logística trate de contingências especiais, a operacionalidade adaptada é a mesma aplicada no setor comercial geral, com maiores desafios que envolve a vida de seres humanos e condiciona-se a um desempenho de excelência e eficácia em respostas ágeis e em tempo real. Nessa realidade, a *Supply Chain* é gerida criteriosamente quanto às doações, separação de itens adequados à situação, coordenação e interação de ações específicas, extremamente profissionais e cientificamente consolidadas.

Em relação à qualidade de serviços prestados ao cliente, a dinâmica logística é fator preponderante e pode ser considerada um aspecto de alta relevância promocional, tanto quanto descontos oferecidos, haja vista que uma das características que valorizam o processo operacional de uma empresa é justamente a agilidade de procedimentos e respostas que dependem do transporte especial. Isto tem a ver com modais de transporte, formação de gargalos muito comuns em rodovias e que se refletem no fluxo operacional (Vieira *et al.*, 2010; Ballou, 2012).

## **2.4 Fluxo Operacional e Formação de Gargalos na Cadeia Produtiva.**

Gargalos são restrições que influenciam os recursos de capacidade de produtividade, obstaculizando o desempenho de excelência planejado quanto ao alcance de metas. Se essas restrições não forem devidamente cuidadas, serão elas mesmas as criadoras de novas restrições ou pontos de estrangulamento, ao transferirem as limitações do mesmo sistema de produtividade de um local para outro.

Tais restrições são responsáveis pela fluência ou vazão da produção, deduzindo-se que a produção de um sistema depende da capacidade do gargalo que pode impedir ou não a maximização produtiva e seu fluxo (Alves Ribeiro, 2018).

Urge, pois, identificar e compreender tais restrições a fim de se realizarem ajustes do processo produtivo em sua abrangência, visto que elas podem ocorrer em diversas circunstâncias envolvendo equipamentos, linha de produção, ou mesmo no transporte da cadeia de abastecimento. A produção dos inventários não deve exceder a capacidade das restrições, evitando-se assim o processo acumulativo antes do gargalo, prejudicando a lucratividade esperada pela empresa. Portanto, qualquer embaraço que crie óbices à produtividade e seu fluxo é uma restrição impactante (Goldratt; Cox, 2006).

Entende-se dos autores citados que as restrições ou embaraços exigem o empenho das empresas quanto às suas metas e busca de medidas afins. A gestão dessas restrições deverá observar que, atrasos, por exemplo, de uma atividade interligada ao sistema em operação, poderá criar outros, recriando constrangimentos e fatores de forma intangível que só podem ser identificados por marcadores como os inventários. O volume do processo pode ser o mesmo, mas os resultados dependem da gestão dos gargalos.

A partir da otimização das funções operacionais e identificação das restrições, dever-se-á buscar qual poderá ser, eventualmente, o próximo constrangimento. Um método passível de ser usado é a *Discrete Event Simulation* (DES) como teoria de investigação, sistema amplamente aplicado em colaborações interorganizacionais sobre cadeia de abastecimento. Trata-se de um modelo construído virtualmente (Santana, 2019).

Sistemas logísticos e *Supply Chain* valem-se da DES em função da complexidade “[...] devido às redes e conexões, ligações complexas e estocásticas entre os componentes do sistema e a capacidade de gerar dados que são relativamente quantificáveis [...]” (Santana, 2019).

A dimensão e complexidades de sistemas logísticos e cadeias de abastecimento, além do necessário e criterioso detalhamento para identificações de falhas através de investigações, e dos relacionamentos entre os componentes desse sistema, são aspectos que justificam a importância da DES (também muito valorizada por Ivanov e Dolgui, 2018), cuja modelagem sequencial difere-se das mudanças ocasionais nos sistemas referentes ao fluxo de todo o processo.

Isto significa que os eventos que sofrem mudanças ocasionais de tempo podem ser simulados e, entre esses fatores, os processos de estocagem que suprem as linhas de produtos, apresentando eficácia. Portanto, trata-se de uma ferramenta de análise de diversos panoramas e estratégias relacionadas ao sistema do qual falamos, incluindo o processo decisório (Long, 2016; Santana, 2019).

Resumimos este fator segundo teorias de Long: a otimização alcançada pelos modelos de simulação depende de ela apresentar consistência com a realidade, uma vez que em efeito contrário, as correções serão gradualmente apresentadas para a minimização de distorções. A simulação (que se interliga com a indústria 4.0) buscará gerar a solução ótima, ignorando outras realidades que estão subjetivadas, mas que podem se concretizar no mundo palpável.

A administração de riscos da *Supply Chain* interessa-se em conhecer cenários de gargalos e compreender em termos reais, a tendência de rompimento de segmentos da cadeia, a fim solucioná-los e consolidá-los. Para Ivanov e Dolgui (2018), modelos de simulação oferecem dados que “[...] fornecem um apoio à tomada de decisões para o teste de esforço dos desenhos SC existentes e para a implementação de planos de contingência e recuperação[...].”

As perturbações podem ser geradas por fatores temporais externos e indesejados, nem sempre contornáveis, havendo dificuldades de consenso entre estudiosos para determinar previsões reconhecendo-se a dificuldade de detectar as perturbações que variam em tipo, sendo intermitentes e marcadas por irregularidades em suas manifestações que prejudicam as estimativas (Ivanov; Dolgui, 2018). No entanto, os autores citados enfatizam a necessidade de atenção a essa teoria da perturbação da cadeia em tempo real, com implementação de meios para a gestão de riscos.

Os referidos eventos podem se propagar através da *Supply Chain* e causar o que Ivanov e Dolgui (2018) chamam de “efeito de ondulação”, especialmente em cadeias de abastecimento globais com redes organizacionais multiníveis. Estas considerações nos remetem à inteligência logística ou logística 4.0, para criar táticas de distribuição eficaz e eficiente da *Supply Chain*.

São estratégias logísticas de amplo alcance. No âmbito da administração da logística inteligente, as tecnologias desse processo tornaram-se essenciais para a excelência de distribuição e eficiência da *Supply Chain*, num mercado acirrado quanto à competitividade, especialmente no atendimento às exigências do cliente final dessa

cadeia, um inestimável valor agregado. A logística inteligente não é restrita à otimização de desempenho e, aplicada em sua essência, tende a impactar esse mercado devido ao complexo de ações estratégicas integradas que superam o operacional tradicional (Sirino; Dias, 2021; Hofmann; Rüscher, 2021).

Os autores citados referem-se à tática de alcançar níveis de excelência em toda o sistema e etapas da cadeia de abastecimento, criando um circuito assertivo e dinâmico, em soluções para problemas reais de planejamento de rotas logísticas e suas incertezas, com novas tecnologias que se refletem na total integração do *Supply Chain*, especialmente quanto ao rastreamento dos itens armazenados, evitando os gargalos ou restrições impactantes.

Logística 4.0 é caracterizada por sua capacidade de otimizar tempo e recursos, rastreabilidade da cadeia, segurança e integridade de dados, bem como interoperabilidade adequada de diferentes atores humanos e digitais. Esse ecossistema digital também é propício à inovação, à geração de novos serviços e modelos de negócios baseados no conhecimento que favorece um comércio mais social e ambientalmente sustentável (Sirino; Dias, 2021).

Esta iniciativa integrou o *High-Tech Strategy for Germany 2020*, com o aval do governo alemão. Logística 4.0, um conjunto de inovações integradas, tem o potencial de otimização das ferramentas operacionais e administração de tempo, rastreamento da cadeia, integridade de dados assegurados numa sistemática e laboriosa conexão com os diferentes agentes humanos e recursos digitais. Através desse sistema, são possíveis as práticas inovadoras e paradigmas de negócios fundamentados na gestão dos conhecimentos, comércio social e sustentável nas fases da cadeia de abastecimento, sendo essa uma das mais relevantes funções da inteligência logística, criando um circuito perfeito de ações relacionadas (Hofmann; Rüscher, 2021).

Assim, os argumentos teóricos citados levam-nos a entender que a logística inteligente exige visão estratégica dos processos, liderança, profissionalismo, gestão dos avanços tecnológicos, a visibilidade e gestão total da integração de todo o processo da Supply Chain.

A eficiência da logística 4.0 é citada por Ivanov e Dolgui (2018) com a teoria da cadeia de abastecimento do gêmeo digital, modelo virtual. Os autores exploraram as condições do design e implementação dos gêmeos digitais na administração de restrições com base em estudos combinatórios de modelos e dados que remetem às interligações de dados de riscos, perturbações e avaliação de desempenho para alcançarem os resultados buscados e como foram descritos aqui.

O estudo de Ivanov e Dolgui (2018) foi enfático nos princípios de análise de riscos digitais da cadeia e compreenderam que esse método deve ser relacionado à tomada decisão de gestão. Isto envolve a indústria 4.0 que pode ser utilizada na concepção de um gêmeo digital da cadeia de abastecimento, como parte da gestão de riscos de rupturas. Os autores referem ainda que o método investigado supre os hiatos percebidos na gestão de riscos, uma vez que combinaram dados e apoio ao processo decisório para a gestão do SC, que se tornou o objetivo central de seu estudo. Portanto, o desenvolvimento da gestão de risco é ponto-chave na *Supply Chain*.

O método por eles utilizado foi a elaboração de um quadro sobre a gestão de riscos envolvendo as perturbações sinalizadas por dados da cadeia e identificando as inter-relações de dados de riscos, modelagem, perturbação e avaliação do desempenho sobre gestão dessas incertezas, uma vez que a capacidade analítica de empresas tem crescido e permitido a previsão de possíveis alterações que, fundamentados na leitura dos autores, entendemos ser de alta relevância.

As empresas buscam melhores meios de gerir essas ameaças através de base de dados. As tecnologias digitais, nesta contingência, são indispensáveis e é possível a previsão de epidemias geoespaciais, tendências comportamentais de consumidores na ocorrência de desastres naturais e sociais, papel das redes sociais no comportamento público, controle do transporte com base no fluxo do tráfego durante desastres naturais que devem ser geridos, locais de bases de pronto-socorro otimizados e de máxima cobertura (Ivanov; Dolgui, 2018). Estes autores ainda referem que essas teorias são embasadas por outros autores, quanto ao uso de recursos de análise de dados em gêmeo digital *Supply Chain* com respostas imediatas.

Um gêmeo digital representa a cadeia de abastecimento com fundamentos no transporte real, inventários e capacidade de dados na previsão dos impactos citados e possíveis reações vindouras. Assim, a estratégia logística de localização otimiza as decisões a serem tomadas, mantendo o controle de contingências. Recursos de análise do gêmeo digital otimizam também a resiliência do SC (Schluter *et al.*, 2017).

Para Long (2017), o aumento de colaboradores potenciais otimiza as relações de estruturas das empresas-membros e conseqüentemente, da cadeia de abastecimento e seu desempenho, ou seja, é como um efeito-cascata: uma força da cadeia otimiza as demais. Essa rede de colaboração é complexa devido aos seus

sistemas de sustentação (métodos analíticos reducionistas) através de modelos matemáticos.

Os sistemas utilizados são controladores com bases em equações, investigações operacionais, algoritmos específicos etc. Neste sentido, as simulações são meios investigativos eficientes para as complexidades da cadeia e colaboradores interorganizacionais (Long, 2017).

Assim, modelos de simulação dinâmica, como já referidos neste estudo, facilitam a avaliação desejada na cadeia em todos os seus aspectos, bem como nas pré e pós-rupturas. Um dos fatores de grande relevância na gestão de excelência da *Supply Chain* refere-se à sustentabilidade que se aborda a seguir.

## **2.5 Cadeias de abastecimento e sustentabilidade**

O tema contemporâneo em pauta é sustentabilidade. A definição eleita consensualmente do termo, segundo a Comissão Mundial das Nações Unidas para o Ambiente e o Desenvolvimento, é: desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Envolve a integração da saúde ambiental, igualdade social e economia saudável visando a criação de comunidades interativas e resilientes, como espelhos para as próximas gerações (Roy, 2018).

Como em todas as áreas de interesse humano, a sustentabilidade tem sido presente também na *Supply Chain*, ambiente em que tem sido debatido esse tema e sua aplicabilidade nas operações relacionadas. A sustentabilidade entra nesse espaço como uma das principais agendas a serem cumpridas pela gestão da cadeia de abastecimento. Representa uma resposta estratégica no mundo empresarial que busca, efetivamente, consolidar seu perfil sustentável no seu nicho de mercado. Assim, cada empresa empenha-se nessa consonância de mudanças paradigmáticas, enquadrando-se nos princípios sustentáveis (Pereira, 2007; Roy, 2018).

Roy (2018) complementa que, nesse contexto de transformações, as práticas de *Sustainable Supply Chain Management* (SSCM) são os passos efetivos para a exploração de alternativas de investimentos significativos aceitáveis e necessários na cadeia de abastecimento, levando a gestão a se concentrar na análise do custo-benefício das operações. As atenções são concentradas também no desempenho do

setor econômico com implementação do SSCM e os resultados finais relacionados, considerando-se a saída de um paradigma tradicional para a adoção dos princípios sustentáveis na cadeia, que representa uma verdadeira reforma no sistema.

Roy *et al.* (2020) sugerem que o caminho mais pragmático é o alargamento da compreensão do modelo vigente para o modelo sustentável, orientando as metas de desempenho desta transição para a compreensão de sustentabilidade no desempenho do SSCM, priorizando a equalização de ganhos favoráveis e não favoráveis e focalizando as atenções no estudo dessa possibilidade.

Entendemos que a transição do modelo tradicional de SC para o paradigma sustentável é complexa, mas possível, haja vista que problemas ambientais são consequentes de produção e consumismo agressivo de produtos descartados sem discernimento, com sequelas que podem comprometer a vida e a saúde ambiental e das pessoas. Assim, Roy *et al.* (2020) assertam que a sustentabilidade como alicerce no mundo empresarial, tornou-se premente.

Algumas empresas ainda não assumiram esse compromisso por não compreenderem o que representa esse caminho, enquanto outras subestimam sua importância e complexidade. Essa incompatibilidade consensual exige que o tema seja mais debatido e ampliado, evitando as ambiguidades que se fazem presentes na “[...] derivação de métodos de esquemas para encapsular regularidades associadas a um assunto emergente que advoga uma mudança de paradigma” (Roy *et al.*, 2020), está ainda em aprendizagem e desenvolvimento que caminha dinamicamente, permeado de discussões, avaliações econômicas, porém sempre em busca de evoluir.

Os cuidados sugeridos por Roy (2018) devem ser direcionados ao gerenciamento da sustentabilidade e na gestão da cadeia de abastecimento, envolvendo as operações de logística, transporte e meios de encaminhamento de veículos, gestão de cuidados de saúde, em busca da minimização ou erradicação da emissão de poluentes. Essas iniciativas demandam estudos e pesquisas de questões ecológicas e de sustentabilidade que consigam cumprir metas estabelecidas neste sentido.

Movimentos para o SSCM representam atitude estratégica na realidade que move a concorrência empresarial envolvendo as práticas sustentáveis. Roy *et al.* (2020) realçam a importância da motivação neste sentido, incluindo responsabilidade social empresarial, tomada de decisões relacionadas ao tema e à gestão da SC em

liderar e “[...] institucionalizar a sustentabilidade como uma agenda legítima ao longo da cadeia de abastecimento[...].” Assim, os autores sugerem que,

[...]a perspectiva estratégica é uma mudança de paradigma que impulsiona a propagação do SSCM ao longo da cadeia de abastecimento, de modo que se torne operacionalmente refletido nas práticas sustentáveis da cadeia de abastecimento das organizações (Roy *et al.*, 2020).

Os principais itens devem ser de abrangência sobre questões concernentes aos desafios impactantes nos resultados da sustentabilidade, voltando o olhar para a saúde e bem-estar populacional. Pensa-se que simultaneamente ao desenvolvimento técnico-científico, aumenta a distância entre o homem e a natureza, enquanto o seu domínio sobre o ambiente natural cria áreas projetadas artificialmente em centros urbanos. O descarte de materiais é aleatório, conforme vemos na expansão dos centros urbanos. A logística reversa é um ponto a ser observado neste sentido (Pereira, 2007).

Acompanhando o pensamento de Pereira (2007), refletimos que, diante da natureza utilizada em benefício do homem e sem a devida preocupação com a preservação de reservas naturais, ou com a destruição de muitos ecossistemas, empresas cumprem seu papel solidário adotando medidas sustentáveis, contrariando a dominação do homem sobre o meio ambiente natural que aumenta áreas projetadas artificialmente sem o discernimento de preservar a saúde ambiental.

Neste contexto, cresce a importância da logística reversa na gestão da cadeia de abastecimento, contribuindo efetivamente para as inovações científicas através de ações estruturadas, cujas operações se assemelham às do transporte, gestão de inventário da informação, com fundamento em três etapas: Gestão de Entrada de Produtos, Gestão de Recursos e Gestão de Desempenho na Cadeia Logística Inversa (Lopes *et al.*, 2014).

Os mesmos autores complementam que a otimização dos resultados econômicos das empresas depende dessa estrutura, ao contribuir para a redução de devoluções de produtos, com reflexos sobre os custos. Ademais, busca-se melhorar a eficiência na gestão de inventário, armazenamento e utilização de ativos, aumentar as receitas e promover benesses sociais com diversas atitudes neste sentido, criando-se assim um conceito consolidado de sustentabilidade, tendo-se como um dos seus indicadores, a dimensão da qualidade de vida populacional e ambiental.

A logística reversa, além de agregar valor para o negócio nesta prestação de serviços ao cliente, redireciona bens para não serem desperdiçados, gerando um fluxo de receitas que contribuem para a sua receita global. O mix de produtos ganha valor se puder ser recuperado e reutilizado. A solução do procedimento logístico reverso é uma prestação de serviço imediato e suficiente, oferecendo à empresa produtora as oportunidades de revenda ou de reciclagem de materiais danificados. As políticas ambientais têm um papel crucial a desempenhar no tratamento das prioridades globais em matéria de saúde, bem como na melhoria de comportamentos e vidas ambientalmente responsáveis (Franklin, 2021).

Supply Chain reversa torna-se fundamental para o negócio, respeitando-se os regulamentos legais ambientais e valorizando o perfil empresarial diante do olhar do consumidor, visto que é afim com medidas sustentáveis e também uma vantagem competitiva. Segundo autores como Hui e Gongqian (2022), cadeias de abastecimento reversas são estratégias pouco exploradas, porém são uma grande oportunidade para a recuperação de bens. Segundo os autores, a decisão na *Supply Chain* reversa representa diferenças no valor marginal do tempo entre os produtos, e pode ser considerada como medida eficiente de custos e de retornos imediatos.

Neste sentido, o fluxo de retorno da cadeia de abastecimento reversa representa o fluxo de ativos significativos que podem ser perdidos para muitas organizações, devido à gestão ineficiente que se concentra apenas em novos produtos, desconhecendo como tais perdas ocorrem, ou seja, pela desclassificação do produto devolvido em função do novo, mas que poderia ser recuperado através de inovações (recuperação de peças, por exemplo), pelo atraso de operação reversa que pode contribuir para a deterioração da peça ou produto, ou para a obsolescência da mesma. No entanto, o remanufaturamento ou reprocessamento (inovação) de um produto poderia representar grande lucratividade para a empresa e esse é um dos fatores que justificam a importância da *Supply Chain* reversa até mesmo na geração de empregos nas atividades de reciclagem (Hui; Gongqian, 2022).

Em meio às operações da Cadeia de abastecimento, em 2020, houve uma epidemia que mudou o paradigma do comércio varejista e compras presenciais de forma global. A Covid 2019 foi uma ocorrência de abrangência mundial que estimulou o desenvolvimento do *e-Commerce*, justamente como uma alternativa de manter o comércio ativo em meio ao isolamento social e sustentabilidade ambiental, como veremos a seguir (Torres *et al.*, 2022), tema do capítulo a seguir. .

### 3 O COMÉRCIO ELETRÔNICO OU e-COMMERCE

Muñoz-Villamizar *et al.* (2021) asseveram que o aumento do comércio eletrônico tem sido expressivo nos últimos anos, com a internet popularizada, gerando uma mobilidade no comércio varejista ampliado nos EUA e América Latina e superando as previsões de venda. O *e-Commerce* proporciona vantagens em entregas, flexibilidade no tempo, meios de rastreamento dos envios, entre a diversidade de processos logísticos que conquistam a preferência consumista.

As empresas varejistas buscaram estratégias para se manterem competitivas no atendimento à demanda consumista durante o período pandêmico como estratégia no seu mercado, satisfazendo, concomitantemente, às expectativas dos clientes (Tsang *et al.*, 2020; Janjevic; Winkenbach, 2020).

No entanto, o sucesso do comércio eletrônico e outros modelos similares de negócio, condicionam-se à eficácia de estratégias logísticas. A rede varejista pratica um sistema simplificado em sua operacionalidade, ou seja, desde a compra até o cliente final, cumprindo prazos de entrega e custos razoavelmente praticáveis como fatores competitivos essenciais de qualidade elevada no desempenho das cadeias abastecimento nesse setor, incluindo medidas sustentáveis já citadas como uma pauta atual em todos os setores de atuação comercial (Muñoz-Villamizar *et al.*, 2021).

Janjevic e Winkenbach (2020) definem que as vendas no varejo *e-Commerce* têm crescido, com prognósticos de aumento deste modelo de comércio e já representam mais de 16% de vendas nesse nicho de mercado, mesmo que as estimativas sejam variáveis entre os países ou regiões em suas diversidades econômicas. Alguns mercados possuem certos óbices para o desenvolvimento desse mercado e muitas vezes devido à falta de profissionais competentes, falta de uma rede de internet potente, ausência de sistemas logísticos robustos e problemas relacionados a um ambiente legal e regular para as adaptações necessárias. Malgrado existam dificuldades assim, os referidos autores afirmam que, além das elevadas despesas operacionais, as economias emergentes ainda obtêm sucesso com *e-Commerce* em países Pacífico-Asiáticos e América Latina.

Nesta transação, há um contingente de consumidores que preferem não comprar de sites de empresas estrangeiras, sempre devido à falta de confiabilidade em receber ou não os produtos adquiridos, conquanto muitos produtos possam ter valores melhores de compra. Todavia, compras on-line são um divisor de águas nesse

tipo de comercialização, devido à quantidade de compradores que veem vantagens maiores nas importações. De qualquer forma, a pandemia estimulou essas transações do *e-Commerce* no Brasil até mesmo em sites nacionais e locais, representando uma alavancagem de vendas expressiva e, por consequência, níveis de importação maiores (Billewar *et al.*, 2021).

De forma paralela, o transbordo (crowdshipping - CSP) tornou-se usual junto ao *e-Commerce* e plataformas como a Amazon Flex, operante nos EUA e Canadá, e é a que melhores resultados alcançou. Restaurantes, por exemplo com o uso do *crowdshipping* foram favorecidos pelos *Uber-eats* (entregas de alimentos pelo Uber) como um instrumento no avanço do comércio eletrônico (Janjevic; Winkenbach, 2020).

Souza *et al.* (2022) apresentam um prognóstico significativo do *e-Commerce* no ano de 2023 e próximos, apontando uma renda em cerca 5,5 trilhões de dólares no ano de 2022, equivalente a 21% das compras gerais. Para o ano de 2023, estima-se um movimento de aproximadamente 6,17 trilhões, com ascensão de vendas no decorrer dos anos, podendo chegar em 2025 com vendas online com 24,5% das vendas totais de todas as indústrias, uma previsão promissora para esse mercado, sendo a China uma das responsáveis pelo maior potencial do *e-Commerce* mundial.

Para Billewar *et al.* (2021), o *e-Commerce* tradicional em seu bidimensional sistema é limitado a uma performance simples com bases em *browser* que facilitam o acesso aos produtos e serviços disponibilizados, porém sempre mantendo uma representação que dista o consumidor de uma visão real. Porém, a tecnologia tridimensional oferece uma nova realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) ultrapassando as restrições operacionais do comércio eletrônico.

O *e-Commerce* Tridimensional – 3D é um instrumento exclusivo da Internet na prestação de assistência em compras com o foco no comprador, segundo um design específico para o usuário que pode utilizá-lo em mais de uma plataforma tecnológica (incluindo *desktop* e *mobiledevices*). Desta forma, o consumidor poderá realizar uma apreciação mais exata sobre o que está adquirindo, através do áudio ou avatar. Esta implementação no *e-Commerce* tende a otimizar as expectativas do cliente, ou seja, é uma oferta de valor agregado com diversas possibilidades. Sem substituir compras ao vivo e atendimento personalizado, sempre é um atendimento conveniente que busca aprimoramentos para o comércio varejista, um novo envolvimento que tende a aumentar a empregabilidade global ao ser adotada pelas grandes empresas virtuais (Billewar *et al.*, 2021; Jadhay *et al.*, 2021).

Um estudo desses autores concentrado no mercado urbano da Índia e considerando o mercado de moda teve, como público-alvo, um grupo de jovens que poderia utilizar lojas virtuais no ambiente de videogames com aplicações de *e-Commerce* 3D. Os resultados foram satisfatórios especialmente em relação às ferramentas de Realidade Virtual e Realidade Aumentada, disponíveis em *Hardware* e *Software*, sendo que o principal aprendizado ao longo da pesquisa foi relacionado aos efeitos da imersão entre realidade virtual e *desktop*.

Nesta esteira, Billewar *et al.* (2021) complementam que o *e-Commerce*, em seu papel relevante com uma oferta de produtos e serviços, ganha o proselitismo das massas mundiais e, para tanto, buscam constantes inovações. Assim, o *e-Commerce* 3D pode evitar as devoluções de produtos, que compõem cerca de 20 a 40% de compras, cujo visual irreal no *e-Commerce* tradicional confunde os consumidores. Ademais, o modelo de *e-Commerce* 3D permite uma interatividade maior de clientes e revendedores diante de uma visualização real e próxima

No entanto, é preciso ter a compreensão de que o Supply Chain do *e-Commerce*, independentemente de ser bi ou tridimensional, apresenta alguns problemas que se refletem no tempo das entregas nas últimas milhas que se referem aos momentos mais importantes da cadeia de abastecimento, conforme se discute a seguir.

### **3.1 Desafios de entregas nas últimas milhas**

O setor da entrega de produtos nas últimas milhas (LMD) inclui diversos meios, sejam os transportadores de correio rápido, expresso e encomendas, empresas em fase de desenvolvimento, novos operadores etc., que enriquecem o comércio eletrônico. Esta previsão visa as perspectivas de aumento de demanda e expectativas de continuar sendo um nicho de mercado bem-sucedido em anos vindouros, já que grande parte de consumidores já se sente confortável com o sistema de compras virtuais. Contudo, o fator LMD tem custos de expedição variáveis e altos, além das situações geradoras de emissões que prejudicam o meio ambiente de modais de transporte, sendo um tráfego responsável por 4,8% de emissão de poluentes (Pepel *et al.*, 2022).

A fase final da SC é a última milha para a entrega dos produtos ao consumidor final, sendo um ponto nevrálgico da cadeia. Pelos métodos tradicionais, essa última

milha requer um número maior de veículos e entregadores, de forma dispersa mesmo para entregas pequenas. Portanto, representa a fase mais cara de todo o processo. Assim, diversas alternativas vêm sendo analisadas e, há algum tempo, já se utiliza a escolha do consumidor para a retirada de produtos em pontos que lhe são próximos e convenientes, onde permanecem embalados e armazenados em segurança. A retirada é realizada mediante apresentação de credenciais do consumidor (Srinivatsa; Marathe, 2021).

Os referidos autores complementam que esse processo é vantajoso e menos dispendioso, evitando-se fretes altos ao consumidor e despesas logísticas para o fornecedor. Além de todos os detalhes gerados nessa última milha, há também a concorrência de mercado devido à não cobrança de frete por algumas empresas, uma redução de despesa para o comprador que procura por essas vantagens como valor agregado. São um conjunto de detalhes logísticos que influenciam rapidez de entregas, rastreamento do envio, sem correr o risco de não encontrarem o destinatário no momento da entrega que pode gerar, por sua vez, a devolução da compra realizada.

Além dos efeitos negativos citados, a LMD provoca impactos na mobilidade de veículos urbanos com congestionamento, ineficiência de sistemas de segurança, frente a um aumento demográfico progressivo (com prognósticos de cerca de 30 a 60%), com prejuízos causados ao meio ambiente e às comunidades em centros urbanos condensados. São tendências impactantes que desafiam fornecedores de serviços logísticos (LSPs), varejistas, cidades e *e-Commerce* (Winkel, 2020; Pepel *et al.*, 2022).

Os LSPs são capazes de potencializar a digitalização e a tendência para o desenvolvimento de novos modos de LMD, com a evolução de veículos limpos prontos para entregas urbanas sem emissões, a partir de empresas norte-americanas certificadas, drones de longo alcance para entregas. Essas novas tecnologias LSPs necessitam ser adotadas por empresas para adaptação e difusão de suas vantagens como ferramentas competitivas em um setor tão desafiante. Representam, além de sustentabilidade, vantagens econômicas também centralizadas de forma integral, demonstrando clara evolução de técnicas relacionadas (Winkel, 2020; Janjevic; Winkenbach, 2020; Pepel, 2022).

Autores apontam que as entregas das últimas milhas em áreas urbanas são desafios principalmente em mercados emergentes em setores com populações

densas. Cidades que apresentam essas particularidades e ainda com infraestruturas em fase de evolução, nem sempre comportam o aumento de mobilidade veicular causada pelas entregas nessas milhas finais dos trajetos operacionais, devido à sua natureza topológica limitada (Winkel, 2020; Janjevic; Winkenbach, 2020; Pepel, 2022).

Segundo Muñoz-Villamizar *et al.* (2021), as questões relacionadas às últimas milhas vêm sendo abordadas em artigos acadêmicos, enfatizando a busca de soluções operacionais otimizadoras nas entregas em domicílio pelas empresas varejistas. Essas soluções envolvem transportes, veículos alternativos, dados informacionais inovadores etc. O frete urbano tem sido uma boa resposta neste sentido.

Quando coleta e entrega estão suficientemente próximas geograficamente e de forma direta, ou seja, sem utilizar depósitos intermediários, trazem ganhos relacionados à otimização de recursos, através do uso do mesmo veículo naquela determinada rota e, conseqüentemente, proporcionará melhoria de 30% na sua eficiência. As empresas de comércio eletrônico têm tratado a integração entre coleta e entrega como abordagens distintas. Os efeitos desta integração carecem de mais pesquisas, pois normalmente são tratados individualmente com armazéns e transportes dedicados (Bergmann *Et al.*, 2019; Drexl; Schneider, 2015).

A integração da coleta e a entrega para o cliente final requer uma combinação planejada de execução no sentido de assegurar a maior eficiência em custos. A revisão da literatura realizada pelos autores citados destaca desde a importância da aproximação contínua até à estimativa da rota como método de otimização. Em termos de visualização, para um caso real de uma empresa de *e-Commerce* na Índia, dada como exemplo pelos autores, também vale destacar a contribuição no sentido de identificar no mapa apenas as regiões em forma quadrangular, onde cada um representa uma área de 500m<sup>2</sup> com densidade de pedidos, utilizando *The Openstreetmap* e *googlemaps* (Drexl; Schneider, 2015; Pepel, 2022).

A solução de armazém móvel é apresentada por Srinivas e Marathe (2021) e Choi (2020). Refere-se a um caminhão com um conjunto de produtos pré-definidos segundo a demanda e que se posiciona em uma determinada área. Realiza a coleta dos pedidos através de ações de marketing local e faz a entrega num raio de atuação pré-programado. Embora esse seja um modelo conveniente para produtos de alta demanda e apresente algumas restrições quanto à oferta ampla de mercadorias, é interessante do ponto de vista de lucratividade devido aos altos custos de manutenção

de armazéns convencionais, além da vantagem de menor tempo para as entregas. O modelo em questão exige um planejamento de demanda com boa acurácia e ainda seja capaz de propor a otimização das localizações iniciais e rotas associadas.

Muñoz-Villamizar *et al.* (2021) ainda complementam que a implementação de centros de consolidação urbana e estratégias horizontais de colaboração são fatores que vêm sendo pesquisados por empresas interessadas na excelência de rotas de transporte - VRP (táticas, rapidez e eficiência nesse processo). Contudo, é importante considerar padrões comportamentais e preferenciais dos clientes.

Considerando o estudo desses autores, o ápice de respostas para as últimas milhas consiste no potencial da empresa em proporcionar ou fornecer percepções da gestão sobre impactos causados por novas alternativas e uma delas poderia ser o roteamento de veículos em intervalos de tempo mais estendidos para entregas. Porquanto haja diversos tipos VRP, a minimização de distâncias não soluciona a questão, não assegura nem custos operacionais menores e nem mesmo a sustentabilidade com emissão de gases poluentes. A única resposta seria menor consumo de combustíveis, porém, não representa a solução de sustentabilidade desejada. Esta questão ambiental é uma prioridade atual e não deve jamais ser ignorada.

Nesta linha de raciocínio, Gutierrez-Franco *et al.* (2021) apontam a aplicação do “*Data Driven*” nas entregas da “última milha”, reiterando a importância de processos organizacionais orientados a dados, quando a tomada de decisão e o planejamento estratégico na coleta e na análise de informações em tempo real sejam de acordo com métricas que relevam a importância do nível de congestionamento, localização, experiência do motorista, comportamento do cliente e impactos aos *stakeholders*, entre os quais, entidades governamentais, habitantes das cidades, transportadores e motoristas entregadores, embarcadores e plataformas de comércio eletrônico e consumidores.

Os autores citados consideram também em seu estudo, a otimização e aprendizado de máquina, visando as melhores rotas em uma determinada região que devem ser exploradas e incorporadas, considerando o reconhecimento de padrões, ferramentas de agrupamento e redução de dimensionalidade, heurísticas e simulação em conjunto com a experiência do motorista e visualização com a ferramenta do *Google Maps*. Os resultados obtidos demonstraram uma redução de 35% no número de veículos utilizados, gerando um impacto positivo em termos de sustentabilidade.

Outra solução sustentável sugerida por Moshref-Javadi *et al.* (2020), enfatiza a solução com uso de drones paralelamente ao caminhão, realizando entregas na “última milha” em comércio eletrônico situado em áreas de alta mobilidade de veículos entre uma população densa. De forma complementar e sincronizada, as entregas podem ser realizadas pelo caminhão que se comporta como um armazém, de tal forma que, enquanto o motorista realiza uma entrega, o drone se encarrega de realizar outra dentro de um raio definido, buscando reduzir o tempo de entrega entre 48% e 51%.

Esta abordagem de solução otimizada com uso de drones conjuntamente com caminhões apresenta vantagem competitiva quanto à dinâmica da entrega, devido à mobilidade do drone em três dimensões, resultando em redução de congestionamentos e do tempo de espera do cliente.

Podem surgir outras problemáticas como modelos de distribuição que não apresentem bom desempenho quanto ao custo-eficácia, a satisfação do cliente e a sustentabilidade. Essas referências estratégicas alcançam todos os participantes da cadeia e os cuidados devem se voltar para localização das instalações logísticas, tipo de instalações, capacidade de carga dos veículos de entrega, pontos de entrega e de troca dos produtos (remetendo-nos à eficácia da logística reversa), leis ou regulamentos vigentes nos locais (Winkel, 2020; Janjevic; Winkenbach, 2020; Pepel, 2022).

Pepel *et al.* (2022) asseguram que o aumento considerável do *E-Commerce* trouxe essas questões discutidas à tona como impactos inevitáveis que devem ser sanados, minimizados ou contornados de forma a qualificar sempre mais a administração da Supply Chain. Portanto, a localização de armazéns que citamos no item dedicado à localização de CDs, é um dos principais aspectos para otimização de entregas em todo esse processo logístico.

### **3.2 Problema da Localização e Capacidade de Armazéns**

Entende-se que os argumentos discutidos até aqui remetem o pensamento às despesas de armazenagem. Reporta-se aqui à importância do problema de localização e capacidade de armazéns que envolve: custos de conexão (transporte, manuseio) e os custos fixos específicos que representam acréscimos em gastos e podem se refletir nos custos dos produtos. O desafio consiste na localização de um conjunto de

armazéns, cujos gastos com armazenagem e produtos não sejam aumentados. Esta questão sugere considerações sobre as dimensões dos armazéns desse conjunto.

Entretanto, Milazzo *et al.* (2022, p.02) sustentam que o aumento do número de armazéns tende a reduzir custos variáveis das conexões. Neste sentido, pressupõe-se que “[...] os armazéns ficarão mais próximos dos clientes. Entretanto, ocorre um aumento nos custos fixos dos armazéns em função da ampliação da quantidade dos mesmos.” Outro pressuposto levantado pelos autores é que “[...] os custos de conexão de armazéns para os clientes são lineares de acordo com o volume transportado ou manuseado, ou seja, não há economia de escala depois de incorrido um custo fixo inicial do armazém.”

De acordo com os autores, um meio de mensurar os resultados sobre a localização de armazéns é estabelecendo a distância média do percurso do visitante. Eles analisaram alguns tipos de métodos de localização de armazéns buscando definir um deles para ser utilizado em seu estudo, conforme se segue.

*P-Median* - demonstrou uma forma equivalente de mensurar a eficiência de localização segundo a demanda e, em seguida, calcularam a distância entre os nós de demanda e armazéns de acordo com a o quantitativo da demanda em questão, e calcularam a distância total da viagem entre demanda e armazéns, segundo critérios de Owen e Daskin (1998). A questão nesse método é encontrar a localização das instalações visando reduzir a distância total de viagem calculada segundo a demanda e entre a demanda e as instalações.

*K-Median* - acompanhando os critérios de Ballou (2009), trata-se de uma variante do problema de localização de instalação não capacitada, visando o estabelecimento de k instalações, porém desconsiderando custos fixos. Significa um número determinado de instalações em pontos possíveis de um gráfico, de forma que a soma das distâncias de cada cliente até a instalação mais próxima seja minimizada,

*Capacitated K-facility Location Problem* – refere-se ao problema de localização de armazéns capacitados. A questão consiste em localizar vários armazéns para o atendimento a um grupo de clientes por um custo minimizado em que cada interessado tem uma demanda associada, enquanto os armazéns apresentam capacidade limitada de atendimento à essa demanda (Milazzo *et al.*, 2022).

Assim, é possível compreender que, o que fica latente no desenvolvimento deste estudo como condição *sine qua non*, na determinação da eficiência e eficácia do problema de localização de armazéns, é saber que se trata de uma questão sempre em pauta nessa área de atuação e conhecimentos relacionados, entre os profissionais atuantes no setor e empresas de transporte envolvidas, sempre na premência de busca de soluções para a problemática.

A rede logística é complexa, conforme a abordagem que vem sendo desenvolvida neste estudo, posto que ela representa e depende de uma série de elementos importantes e inter-relacionados que envolve produtores ou fabricantes, fornecedores, receptores etc., de forma direta ou não (Özcan *et al.*, 2011; Izdebski *et al.*, 2018).

Esses autores corroboram a assertiva de que a quantidade de pontos intermediários numa rota de transporte determina a estrutura de uma rede logística e abrange: o custo unitário do combustível, custos do trânsito de matérias-primas com uso dos armazéns, valores despendidos no transporte de uma carga e distância percorrida nessa transação, gastos com armazenamento e impostos relativos ao local, despesas computadas desde a saída do produto desses locais, além dos custos de funcionamento de cada armazém, mão de obra necessária na operacionalização interna entre outros fatores.

Acresce-se ainda o surgimento de despesas quanto à possível necessidade de locação de um espaço adicional para expandir a capacidade de armazenagem como uma variável que tende a se tornar necessária, se a capacidade do armazém for aquém da demanda da logística. Esses e outros fatores mais, fazem parte dessa complexidade logística e de armazéns.

Os critérios de distância e capacidade desses armazéns são essenciais quando uma empresa contata parceiros e depende deles para sua própria eficiência operacional. Neste sentido, frequentemente se utiliza o paradigma de distância mínima na busca de solução do problema de localização. Todavia, esse método que é conhecido como método de grelha ou de gravidade apresenta algumas linearidades como: impossibilidade de se estabelecer de forma simultânea as áreas de localização para diversas instalações de armazém planejadas ou método de instalação única; impossibilidade de se considerar o curso real das rotas de transporte como estradas com correntes de vento ou localização de pontes; dificuldades de se interpretar a

localização de um armazém de uma determinada dimensão, entre outros fatores de relevância (Izdebski *et al.*, 2018).

Nesta linha de raciocínio, a resolução pode ser encontrada no desenvolvimento de um algoritmo genético de aplicação multicriteriosa que pode ou não apresentar uma resposta a resposta ótima, porém tende a sinalizar uma resposta aproximada da otimização de retorno desejado diante do problema, que pode ou não envolver problema de encaminhamento de veículos, de localização de armazéns como um único critério, como aponta Izdebski *et al.* (2018).

A abordagem deste problema será apresentada através da Metodologia descrita a seguir.

## 4 METODOLOGIA

A opção de método neste estudo envolveu: pesquisa qualitativa, descritiva e de caráter exploratório, na seleção de artigos científicos em base de dados como *Scopus* e *web of Science* e periódicos editados por universidades nacionais e artigos em idioma inglês publicados em revistas e jornais estrangeiros, que foram lidos e analisados para compor a fundamentação teórica deste estudo. Para a seleção desses artigos nas bases de dados consultadas, foram utilizados como principais descritores: *Logística; Empresas de Transporte; Supply Chain; Problema de Localização e Capacidade de Armazéns; Otimização de Localização de Armazéns; Last Miles Logistics; Algoritmos Genéticos.*

Como Estudo de Caso, cuja característica é de pesquisa quantitativa, apresentou-se o modelo de Algoritmo elaborado pelo autor. A base utilizada para a elaboração do modelo foi a própria rede de fornecedores convidados a se candidatarem à locação de possíveis armazéns, haja vista que os locais selecionados propostos foram propositadamente escolhidos no mesmo espaço ambiental ou próximos aos candidatos participantes desta pesquisa, fator que tornou esta proposta interessante.

Assim, a função-objetivo utilizada no Algoritmo aqui apresentado é identificada na Equação 1, em que  $D$  é um conjunto de clientes,  $F$  é um conjunto de potenciais armazéns,  $I$  é o armazém,  $J$  é o cliente.

Cada armazém  $i$  pertence a  $F$  e possui capacidade  $S_i$ . Cada cliente  $j$  possui uma demanda  $d_j$  que deve ser atendida. Estabelecer um armazém  $i$  incorrerá em custos fixos de abertura  $f_i$ . O transporte  $X_{ij}$  unidades do armazém  $I$  para o cliente  $J$  incorrerá em custos de conexão  $C_{ij}$  proporcionais à distância. Assim, a função do objetivo utilizada no algoritmo proposto é apresentada a seguir na Figura 4.

Figura 4a. **Equação 1:** Função-objetivo utilizada no Algoritmo desenvolvido.

$$\sum_{i \in F} \sum_{j \in D} C_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in F} f_i y_i \quad (1)$$

$$\sum_{i \in F} X_{ij} = d_j, \forall j \in D, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in D} X_{ij} \leq S_i Y_i, \forall i \in F, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in F} y_i \leq k, \quad (4)$$

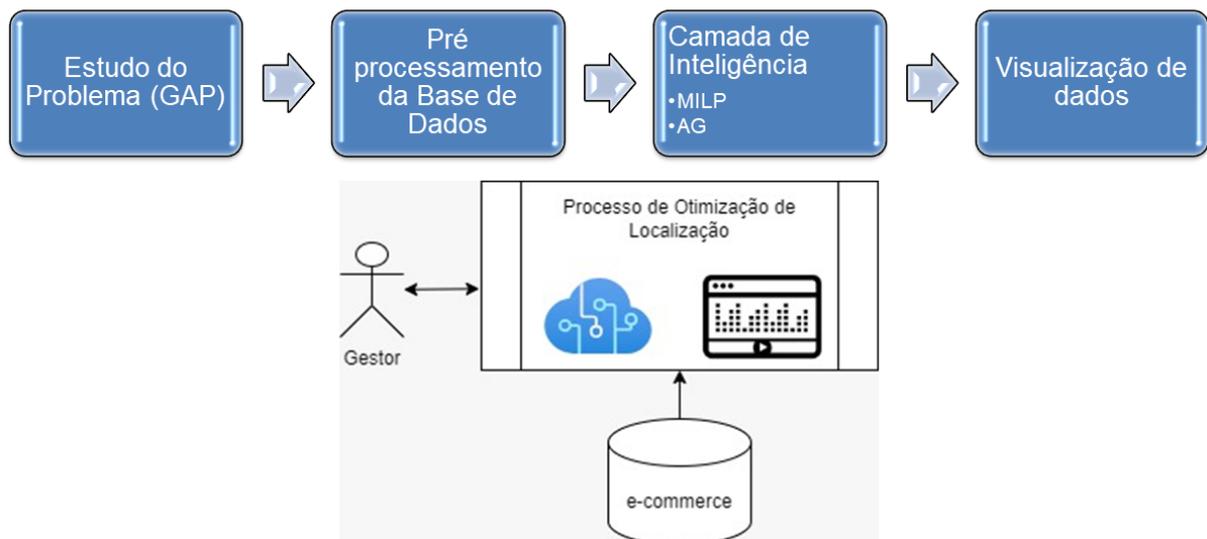
$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in F, \forall j \in D \quad (5)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \forall i \in F \quad (6)$$

Fonte: AARDAL, *et al.*, 2015.

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, o estudo do problema acima apresentado com pré-processamento da base de dados, uma camada de inteligência em que se utilizou a implementação da solução Ótima - MILP (*Mixed integer Linear Programming*) e a construção do Algoritmo Genético, bem como a visualização da solução conforme a Figura 4b:

Figura 4b - Solução



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

**Base de dados** – para a composição do Algoritmo, utilizou-se a base de dados *Kaggle*, fundada em 2010 por Antony Goldbloom, com o objetivo de hospedar competições de *Data Science* e disponibilizar dados sobre diversos assuntos (*datasets*). Utilizamos o *dataset* “*E-Commerce Brazilian Data Set with 100k Orders from 2016 to 2018 - Olist*”. Segundo o sistema *Kaggle*, trata-se de um conjunto de dados públicos do comércio eletrônico brasileiro, fornecido pela *Olist Store*, *startup* brasileira do setor *e-Commerce*, com ênfase no segmento de *marketplace*.

O conjunto de dados contém informações de 100 mil pedidos realizados em diversos mercados no Brasil entre os anos de 2016 a 2018, além de permitirem a visualização de suas várias etapas, incluindo o status do pedido, preço, desempenho, frete e a geolocalização, com as relações dos códigos postais e as coordenadas das entregas. Ademais, os dados em questão são comerciais, reais e foram anonimizados. A *Olist* conecta pequenas empresas no Brasil a canais comerciais que podem vender seus produtos através da Loja *Olist* e enviá-los diretamente aos clientes, usando parceiros de logística. O conjunto de dados dos pedidos contém informações dos

clientes e suas localizações aproximadas, ambos os fatores utilizados para identificá-los, bem como encontrar o local de entrega (KAGLE, 2021).

**Solução Ótima** – *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* - com o objetivo de encontrar a solução ótima para o problema de localização de armazéns capacitados, foi utilizada uma biblioteca *open source* do Python, denominada PULP. A partir das soluções ótimas encontradas através do MILP, entre os diversos cenários avaliados para o problema NP difícil, foram definidos como resultados ótimos aqueles cujo tempo computacional foi aceitável em termos polinomiais. Desta forma, os resultados alcançados puderam ser comparados com os resultados futuros da solução aproximada obtidos na sequência, através do Algoritmo Genético (AG).

**Apresentação do caso** - O problema de localização de armazéns capacitados é clássico. Busca-se, então, a otimização para determinar quais os armazéns devem ser abertos ou fechados, de maneira que possam atender a uma demanda limitada de pedidos da base *Olist*. As Figuras numeradas de **5a** a **5d**, a seguir, representam os quatro modelos que ilustram a ocorrência da dinâmica entre os clientes (*customers*), fornecedores (*sellers*) e os possíveis armazéns sugeridos. As Figuras são numeradas sequencialmente, conforme apresentadas no design do modelo apresentado abaixo, sendo:

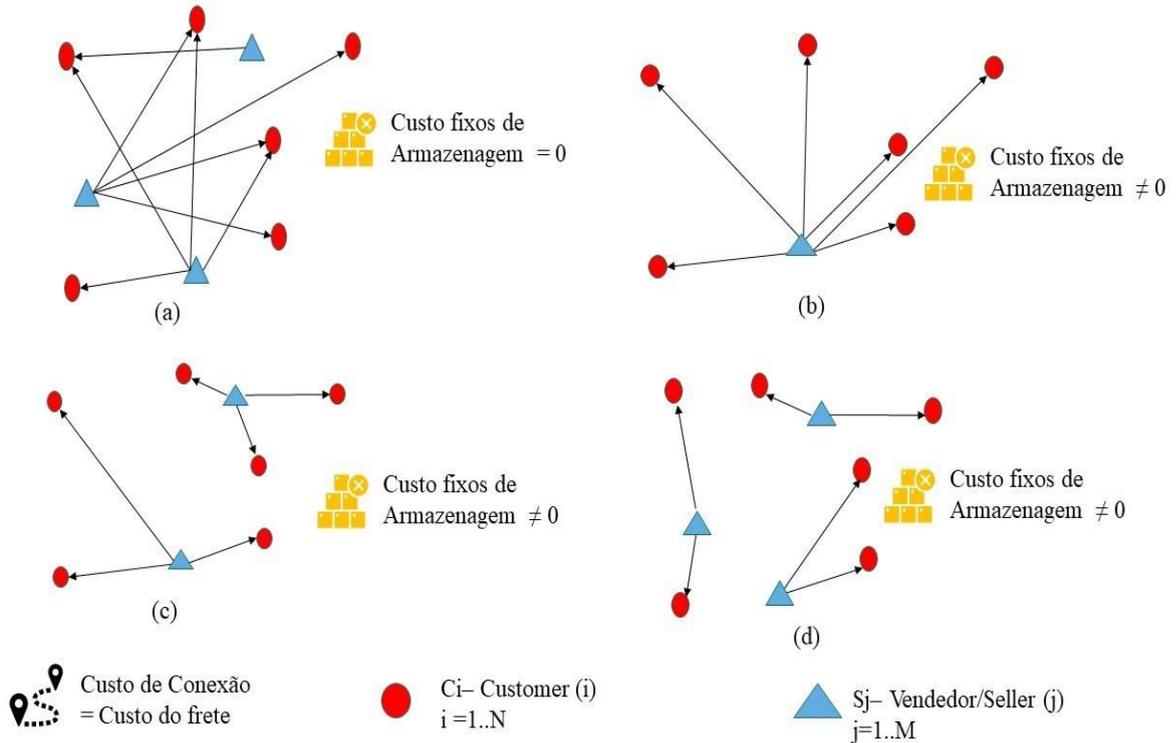
A Figura **5a** é o modelo *Olist* em que o atendimento é feito de forma direta, partindo de três fornecedores até seis clientes.

A Figura **5b** mostra um exemplo de um fornecedor sendo definido com um armazém para atender aos seis pedidos dos clientes.

Já a Figura **5c** é um exemplo de dois fornecedores que foram definidos como armazém e atenderão aos seis clientes.

Por fim, a Figura **5d** é o caso em que três fornecedores são definidos como armazéns para atenderem aos seis pedidos dos clientes (VER FIGURAS 5a a 5d).

Figuras 5a a 5d - Representação do modelo *Olist* e do modelo proposto neste trabalho.



O objetivo, portanto, foi escolher fornecedores, partindo-se do pressuposto de que dispusessem de espaço extra para recepção e manuseio dos pedidos adicionais, de forma a contribuir com a capacidade expandida de armazenagem, através de uma tarifa previamente estabelecida, de tal sorte que os custos totais de abertura desses armazéns e os custos de serviços de conexão para atender a um determinado volume movimentado, pudessem ser minimizados para o conjunto de clientes atendidos.

**Algoritmo Genético (AG)** – Algoritmos genéticos, conforme foram definidos durante o desenvolvimento do estudo, são técnicas de otimização e de buscas baseadas no princípio de seleção natural (darwiniana) que permite a evolução de uma população composta de diversos indivíduos, segundo o conceito de uma norma seletiva. De forma semelhante à maneira como a Evolução Darwiniana mantém indivíduos da mesma espécie em uma determinada população, algoritmos genéticos mantêm uma população de candidatos a soluções denominados indivíduos. Algoritmos genéticos são uma técnica de busca e otimização que se inspira nos

mecanismos da evolução natural, como o cruzamento de indivíduos candidatos a soluções por meio da hereditariedade, a mutação, a seleção natural e a recombinação. Eles podem ser usados para encontrar soluções aproximadas para problemas complexos que envolvem um grande número de variáveis e restrições à medida que características são repassadas aos dois pais para os filhos, ao longo de gerações, constituindo um processo de Evolução, que pode convergir tanto para um estado de minimização, como para um de maximização, através de uma função-objetivo ou função *fitness* (Goldberg, 1989).

Um algoritmo genético funciona da seguinte forma: ele começa com uma população inicial de soluções aleatórias chamadas de indivíduos ou cromossomos. Cada indivíduo representa uma possível solução para o problema e é codificado por um conjunto de parâmetros ou características. A população é avaliada por uma função objetivo, que mede quão boa é cada solução em relação ao problema. A função objetivo pode ser definida pelo usuário ou pelo próprio algoritmo.

A partir da população inicial, o algoritmo realiza as seguintes etapas:

- **Seleção:** os indivíduos mais bem avaliados da população são selecionados para formar a nova população.
- **Reprodução:** os indivíduos selecionados são combinados entre si para gerar novos indivíduos, chamados de descendentes ou filhos.
- **Mutação:** os descendentes são alterados aleatoriamente em alguns aspectos, gerando novas variações.
- **Avaliação:** os novos indivíduos são avaliados pela função objetivo e os melhores são mantidos na nova população.

Essas etapas são repetidas até que se atinja um critério de parada, como um número máximo de gerações, ou uma convergência significativa na qualidade das soluções. Os algoritmos genéticos têm algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais de busca e otimização:

- Não dependem dos parâmetros específicos do problema, mas apenas da função objetivo.
- Trabalham com uma população inteira e não com um único ponto.
- Usam regras probabilísticas e não determinísticas para gerar novas soluções.

- Exploram diferentes regiões do espaço de busca e podem encontrar soluções ótimas ou aproximadamente ótimas.

Os algoritmos genéticos também têm algumas limitações e desafios:

- Requerem um bom conhecimento da função objetivo e das características dos indivíduos.
- Podem sofrer com problemas como degeneração (quando a população fica muito parecida), estagnação (quando a população não evolui), ou explosão (quando a população cresce muito rápido).
- Podem ser difíceis de interpretar e explicar.

Essas técnicas são potencialmente capazes de otimizar sistemas que exigem soluções não lineares. Os diversos segmentos da engenharia podem ser apontados como exemplos que utilizam as AGs, a fim de alcançarem a primeira aproximação para a resolução de uma problemática identificada (Holland, 1992).

Neste estudo, a proposta que se apresenta é de um Algoritmo Genético utilizando a biblioteca *Distributed Evolutionary Algorithms* (DEAP). Essa biblioteca é um *framework* desenvolvido na linguagem Python, que trabalha com computação evolutiva e permite que Algoritmos Genéticos sejam desenvolvidos com o uso de estruturas diferenciadas que representam os cromossomos. Ademais, a DEAP também facilita a criação de indivíduos e a manipulação de forma simples dos operadores que compõem um AG (De Rainville, 2012).

A equação que se segue, apresenta a função fitness utilizada no algoritmo deste estudo. Veja-se a Figura 6.

Figura 6. Função fitness utilizada no algoritmo em apresentação

**Minimize:**

$$\sum_{i \in F} \sum_{j \in D} C_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in F} f_i y_i \quad (1)$$

$$\sum_{i \in F} X_{ij} = d_j, \forall j \in D, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in D} X_{ij} \leq S_i Y_i, \forall i \in F, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in F} y_i \leq k, \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in F, \forall j \in D \quad (5)$$

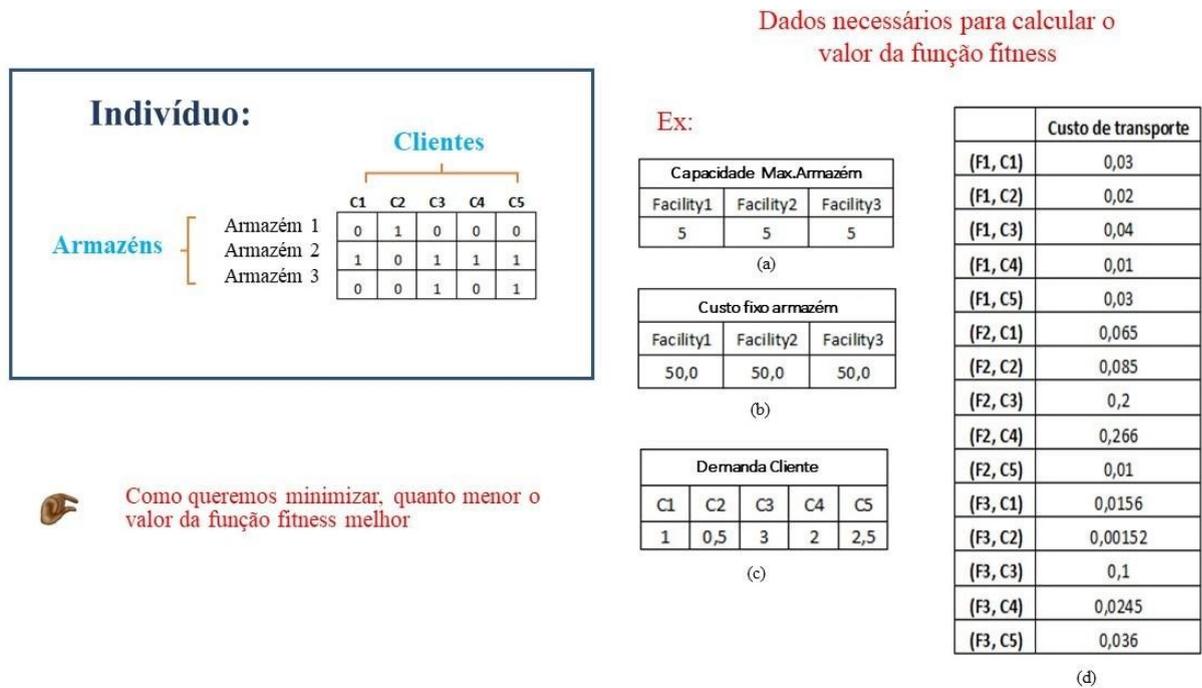
$$y_i \in \{0, 1\}, \forall i \in F \quad (6)$$

Fonte: AARDAL, *et al.*, 2015.

A Figura 7 demonstra como se apresenta o indivíduo no algoritmo proposto. Percebe-se que cada indivíduo é composto por uma matriz em que as linhas representam os possíveis armazéns, enquanto as colunas representam os clientes. Nesta perspectiva, a matriz é preenchida com **0** e **1**, em que **1** significa que o armazém em questão fará a entrega do pedido ao seu respectivo cliente. Observa-se que, com a função *fitness* foram criadas, também, quatro restrições que não deverão ser violadas ao gerar uma possível resolução para o problema.

Se o resultado de uma solução contiver uma ou mais violações das normas citadas, será considerada inviável. Veja-se Figura 7.

Figura 7: Representação do indivíduo no AG.



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

Deste modo, as quatro restrições que compõem o AG são:

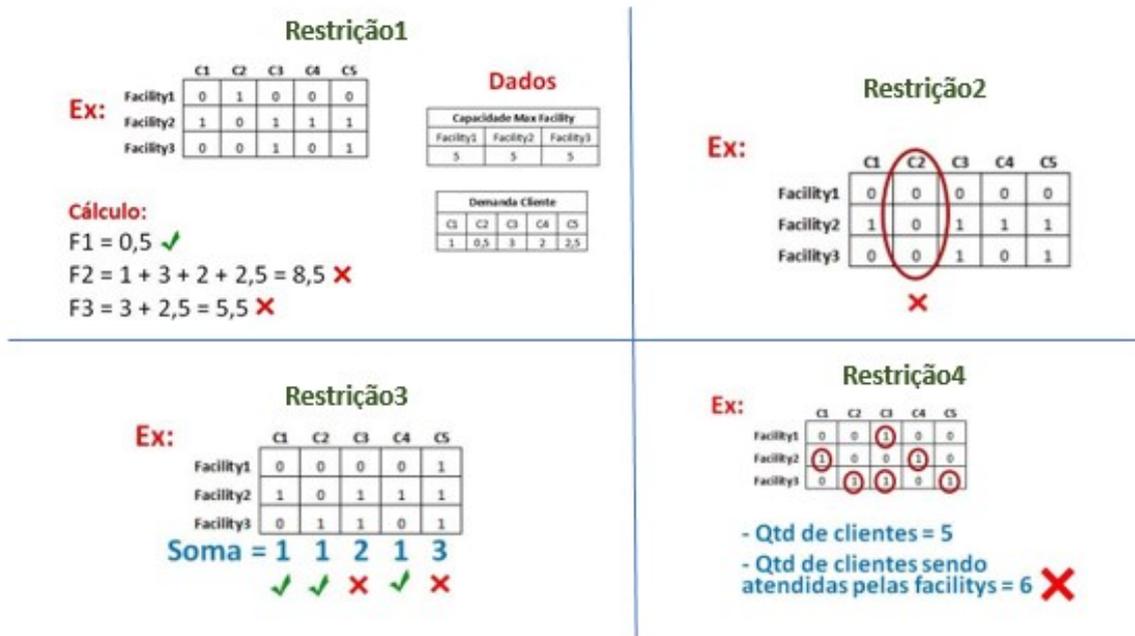
- 1) *Extrapolar a capacidade máxima dos armazéns*: o total de demandas de clientes não pode superar a capacidade de armazenamento de um local;
- 2) *Não atender a todos os clientes*: não deve jamais ocorrer uma situação em que o pedido do cliente não possa ser entregue por nenhum dos armazéns;
- 3) *Um cliente sendo atendido por mais de um armazém*: somente um dos armazéns deve ser encarregado pela entrega de um pedido de determinado cliente. Isto significa que o mesmo cliente não poderá receber suas compras de outro armazém, senão daquele que foi designado.
- 4) *Os armazéns atendendo mais do que a quantidade de clientes*: não pode acontecer uma situação em que a soma de clientes atendidos seja maior do que a quantidade real de clientes.

Para melhor se compreender cada uma das restrições citadas, a Figura 8 a seguir traz exemplos de possíveis violações. A finalidade do Algoritmo desenvolvido é não permitir que ocorra a eliminação de uma solução por não cumprir alguma das restrições. Seu papel é penalizá-las de forma que a solução aproximada não seja uma

dessas soluções. Isto é realizado através de um parâmetro que define o valor da penalização. Assim, esse valor será multiplicado pela soma das penalizações, ou seja, quanto mais penalidades houver, maior será a geração de custos dos armazéns.

Veja-se a Figura 8.

Figura 8. Exemplos de violações das quatro restrições



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

Portanto, esse método apresenta um desafio: quando é aplicado em Algoritmos Genéticos, uma penalização pequena tende a fazer com que as soluções pareçam ótimas, se comparadas com o valor da função *fitness* de forma isolada. Diante dessas possibilidades, serão necessários testes visando o ajuste do fator de peso. Após implementação da função *fitness* e as restrições forem consideradas, o AG é configurado de modo que a seleção por torneio com tamanho 2 seja utilizada, juntamente com o *crossover* de dois pontos e a mutação de *bit flip*, ou seja, o gene mutado recebe a negação de seu antigo valor (se era igual a 0, ficará igual a 1 e, se era igual a 1, ficará igual a 0), haja vista que isso é adequado para listas binárias.

Faz-se importante destacar também que os melhores indivíduos são passados intactos para a próxima geração. Assim, quando o Algoritmo é concluído, os detalhes da melhor solução encontrada permanecerão impressos, ficando também plotado um gráfico apresentando a função *fitness* e a média obtida nas gerações.

## 4.1 Resultados e Discussão

Neste capítulo, apresenta-se a análise obtida do Algoritmo Genético proposto e os respectivos resultados alcançados, quando se comparou a solução do AG com a que foi identificada como ótima pelo MILP.

### **A. Resultados em algoritmo genético**

O Algoritmo Genético foi executado diversas vezes, buscando a configuração que melhor se adequasse à base de dados usada. Um dos parâmetros mais importantes a serem ajustados foi o valor do “fator de penalidade”. Se esse valor ficasse muito baixo, dependendo do valor obtido pela função *fitness*, o algoritmo mostraria, como solução, alguma outra que não respeitasse todas as restrições. Além disto, o tamanho da população, a taxa do *crossover* e de mutação e da quantidade de gerações, também foram fatores testados, visando encontrar ou se aproximar da solução otimizada.

Após diversos testes, ficou definido que a população = 50, a taxa do *crossover* = 0.9 e a taxa de mutação = 0.1, foram os valores que melhor se adequaram às três bases testadas. Assim, os resultados só variaram no valor do fator de penalidade e a quantidade de gerações. Os primeiros testes foram realizados com uma pequena parte retirada da base de dados completa.

Foram selecionados 3 fornecedores e 5 clientes para a composição desses testes. Os 3 fornecedores foram informados para o algoritmo como candidatos a armazéns. O Algoritmo Genético teve que responder qual dos três armazéns entregaria os produtos aos clientes com o menor custo possível. Como eram poucos os dados, o fator peso foi definido como sendo igual a 10.

Veja-se a Figura 9.

Figura 9. Resultados do AG com 5 clientes e 3 possíveis armazéns.

Resultados						
Gerações	Função Fitness	Restrições				Custo Final
		R1	R2	R3	R4	
10	5,51	10	0	0	0	15,51
12	3,35	10	0	0	0	13,35
<b>15</b>	<b>6,18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6,18</b>
<b>20</b>	<b>6,18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6,18</b>
<b>30</b>	<b>6,18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6,18</b>

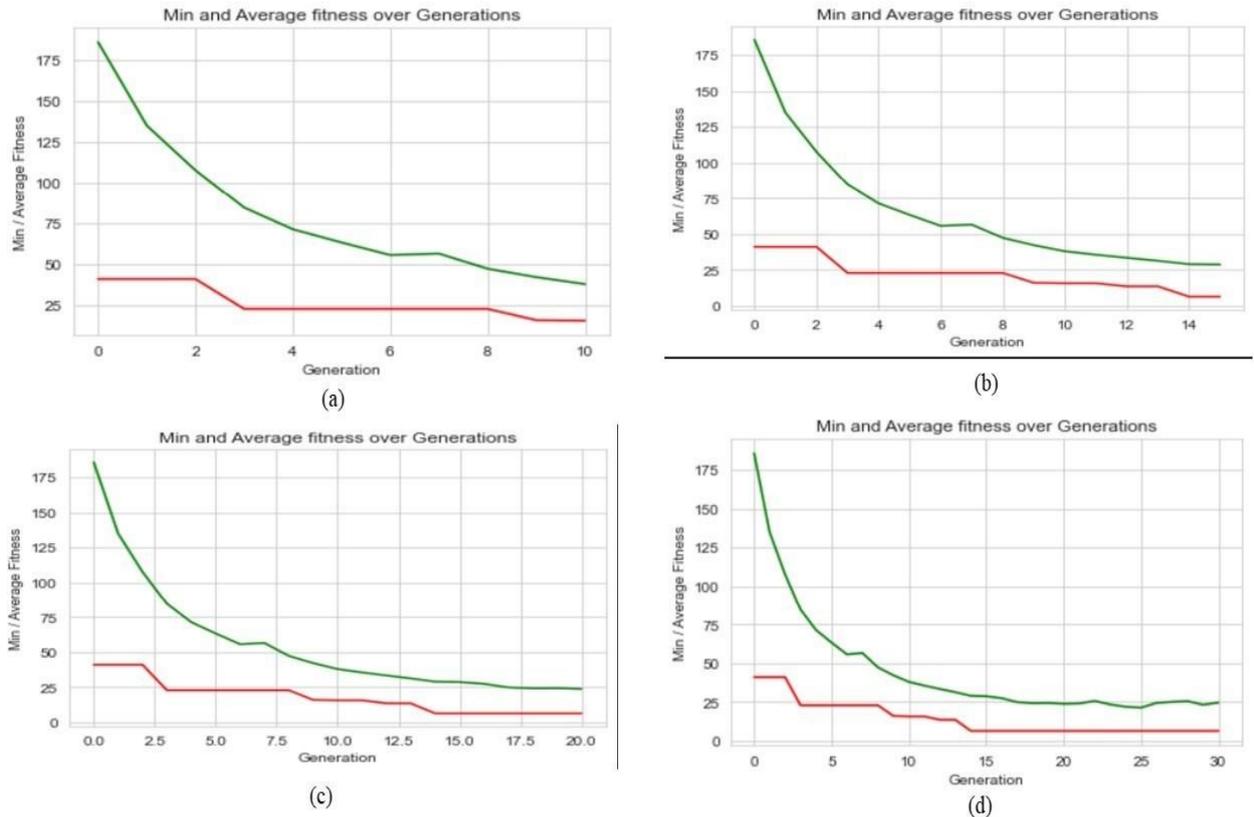
Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

A Figura 9 mostra a tabela com os resultados comparativos dessa base com a variação da quantidade de gerações. Quando executada com 10 e 12 gerações, o valor da função *fitness* mostra-se mais baixo do que os valores de 15, 20 e 30 gerações. Porém, em ambos os casos, a melhor solução viola a primeira restrição e, como consequência, sofre uma penalidade de 10% no valor do custo. Assim, o valor do custo final ultrapassa o de 15 gerações, por exemplo.

Outra informação possível de se observar na Figura 9 é que, a partir da 15ª geração, o algoritmo consegue chegar à solução ótima.

Para melhor visualização, a Figura 10a mostra os resultados dos gráficos gerados e a figura 10b compara os resultados reais, MILP e AG, a figura 10c e 10d mostra a visualização da solução atual e ótima com MILP e AG.

Figura 10a. Gráfico dos resultados do AG com 5 clientes e 3 possíveis armazéns.



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa

Figura 10b. Resultados reais, MILP e AG

Parameters	Real	Optimal Solution	Aproximation AG
# Dinamic Warehouse (on Demand)	0	1	1
# Orders	5	5	5
# Demand (volume m3)	0,02054	0,02054	0,02054
# Capacity (volume m3)	5	5	5
Freight - Seller/Customer	41,29	6,1818	6,1818
Storage/Handling - Facility/Customer	0	1	1
Freight - Facility/Seller/Customer	0	5,18	5,18
Objective Function - minimize	41,29	6,18	6,18
<b>Save</b>	<b>0</b>	<b>35,1082</b>	<b>35,1082</b>
Freight Cost seller/Facilities	0	Not Evaluated	Not Evaluated
<b>Total Cost</b>	<b>41,29</b>	<b>Not Evaluetad</b>	<b>Not Evaluetad</b>

Fonte: Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa

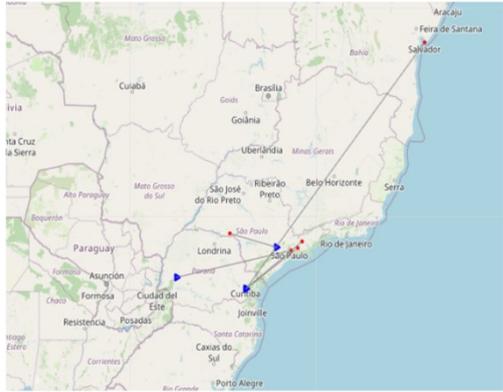


Figura 10.c.: Visualização real Olist entrega direta  
 Fonte : Autoria Própria

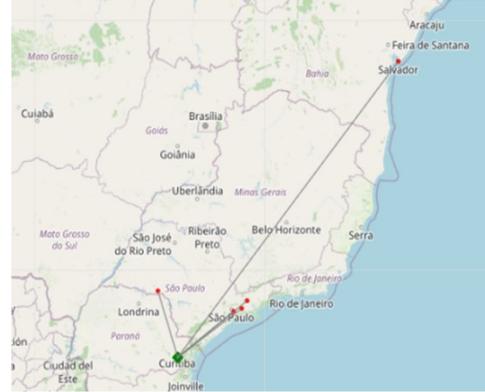


Figura 10.d.: Visualização AG e MILP  
 Fonte : Autoria Própria

É perceptível na Figura 10a que, a partir de 14 gerações, o Algoritmo consegue convergir para o resultado ótimo (linhas vermelhas).

A segunda bateria de teste foi feita com mais uma parte selecionada da base de dados. Nesses testes foram usados os pedidos feitos no ano de 2016, até o mês de maio. Assim, o arquivo de teste continha dados de 50 clientes e 30 fornecedores. Cada fornecedor foi informado para o Algoritmo como um possível armazém. No caso dessa base, o fator de peso foi alterado para 1000 para cada restrição não obedecida, ou seja, o resultado de cada restrição foi multiplicado por 1000 e, posteriormente, foi feito o somatório dos valores juntamente com o valor da função *fitness*.

Na Figura 11, tem-se a Tabela com os resultados do AG.

Figura 11. Tabela de resultados do AG com 50 clientes e 30 possíveis armazéns.

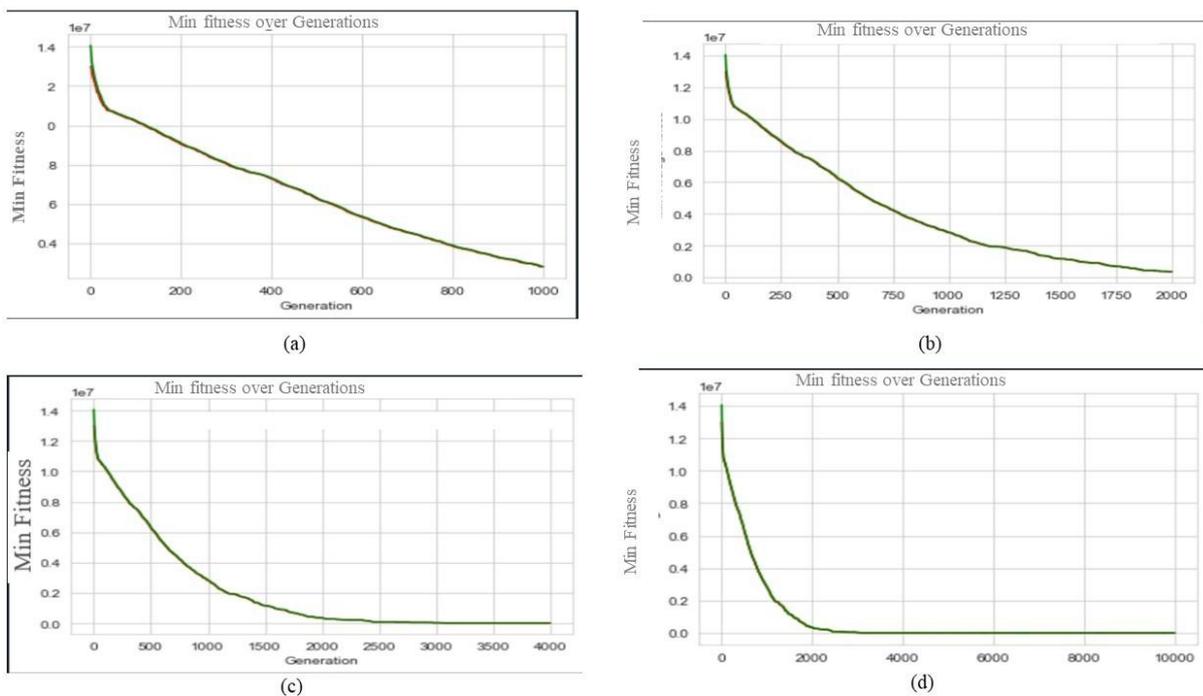
Resultados							
Restrições							
Gerações	Função Fitness	R1	R2	R3	R4	Custo Final	QtdFacilitys
1000	10512,76	140000	0	138000	2000	290512,76	30
2000	4334,72	16000	0	0	1600	21934,72	26
3000	5505,12	0	0	0	0	5505,12	25
4000	5459,13	0	0	0	0	5459,13	25
5000	5452,28	0	0	0	0	5452,28	25
<b>10000</b>	<b>5301,69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5301,69</b>	<b>23</b>

Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

A Figura 11 mostra os melhores resultados dos testes. Devido ao aumento de pedidos com mais instâncias, houve também aumento das gerações. Assim, na tabela da Figura 11 é possível perceber que, somente após 3000 gerações, o algoritmo conseguiu gerar soluções que não violassem nenhuma restrição.

Vejam-se os Gráficos representados pelas Figuras 12 e 13 a seguir.

Figura 12: Resultados do AG com 50 clientes e 30 possíveis armazéns.



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa

Figura 13: Resultados do AG com 50 clientes e 30 possíveis armazéns.

Parameters	Real	Optimal Solution		Aproximation AG
# Dinamic Warehouse (on Demand)	0	1	3	23
# Orders	50	50	50	50
# Demand (volume m3)	0,9699	0,9699	0,9699	0,9699
# Capacity (volume m3)	0	999	1	
Freigth - Seller/Customer	990,92	0		
Storage/Handling - Facility/Customer	0	300	300	2300
Freigth - Facility/Seller/Customer	0	1039	569	3002
Objective Function - minimize	990,92	1339,43	869,4	5301,69
<b>Save</b>	<b>0</b>	<b>-348,51</b>	<b>121,52</b>	<b>-4310,77</b>
Freight Cost seller/Facilities	0	Not Evaluated	Not Evaluated	Not Evaluated
<b>Total Cost</b>	<b>Not Evaluetad</b>	<b>Not Evaluetad</b>	<b>Not Evaluetad</b>	<b>Not Evaluetad</b>

Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa

Os gráficos nas Figuras 12 e 13 demonstram com nitidez que, a partir de 2500 execuções, os resultados começaram a se estabilizar. O melhor valor de custo que o Algoritmo conseguiu chegar foi de R\$ 5.301,69, um valor um pouco mais alto do que a solução ótima, conforme figura 13.

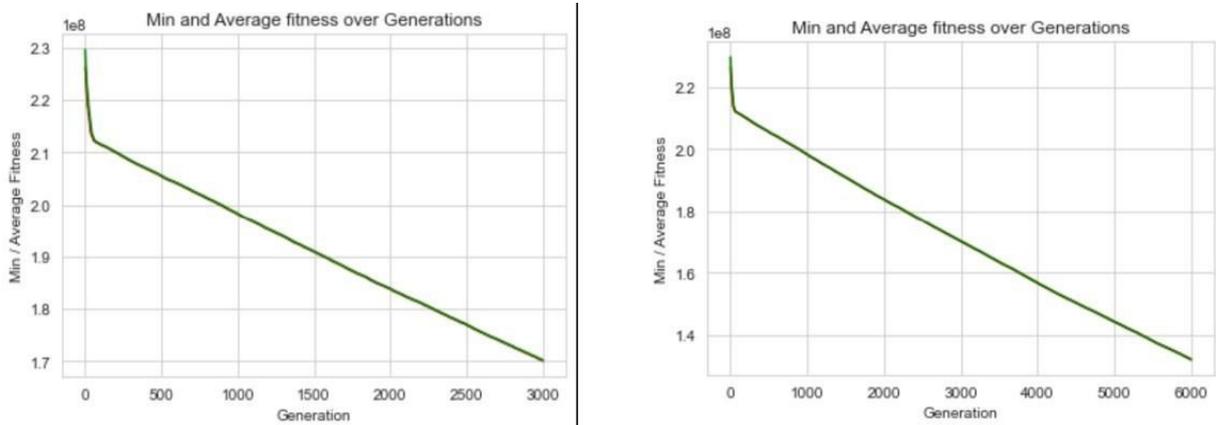
As Figuras 14 e 15 a seguir, mostram a tabela e os gráficos do AG para um número maior de pedidos, totalizando 231 pedidos da *Olist*. O aumento dessa quantidade de solicitações fez com que o Algoritmo levasse mais tempo para finalizar as execuções. Mesmo quando testado com 6000 gerações, os custos para a melhor solução são altos e, ainda assim, violam duas restrições. Com isso, os resultados são promissores por se tratar de um projeto em desenvolvimento, cujos resultados posteriores serão publicados em projetos futuros.

Figura 14. Tabela com os resultados do AG com 231 clientes e 101 possíveis armazéns.

Resultados						
		Restrições				
Gerações	Função Fitness	R1	R2	R3	R4	Custo Final
1000	807294,38	0	0	9867000	9867000	20541294,4
3000	643326,59	0	0	8472000	8472000	17587326,6
6000	467922,94	0	0	6578000	6578000	13623922,9

Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

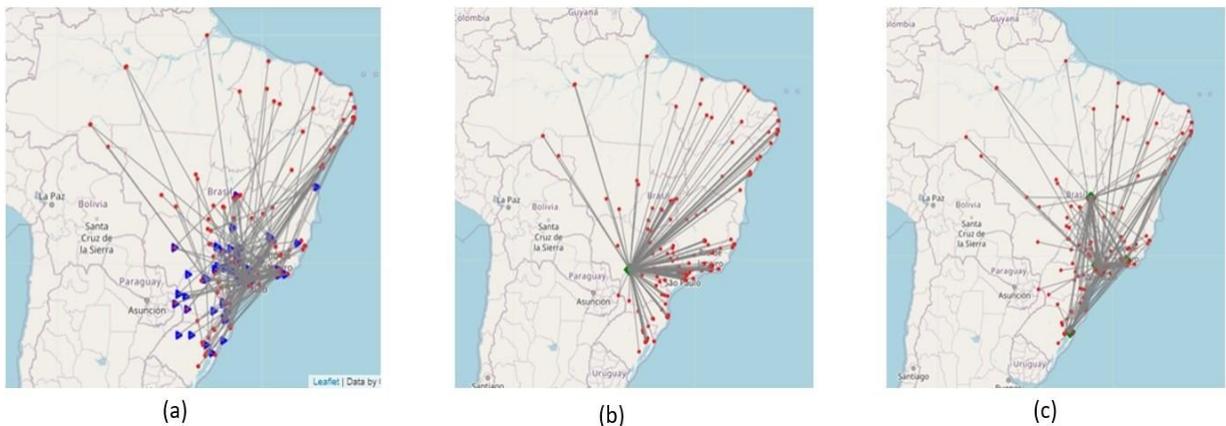
Figura 15. Gráficos com os resultados do AG com 231 clientes e 101 possíveis armazéns.



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

A figura 16 mostra a visualização espacial em duas dimensões da solução real *Olist*, ou seja: a solução ótima do MILP para um armazém e a solução ótima do MILP para cinco armazéns, utilizando a biblioteca *open source Folium em Python*.

Figura 16. Resultados para do MILP/AG com 230 pedidos.



Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

A figura 17 ilustra o comparativo de custos entre a solução real *Olist*, com um custo de R\$4.690,00 a solução ótima encontrada pelo MILP por meio de um armazém de R\$6.010,00 e a solução calculada pelo MILP através de 05 armazéns com o custo menor de R\$4.376,00. A solução do AG não foi levada em consideração devido à necessidade de ampliação dos testes e revisão da sua estrutura de funcionamento.

Figura 17. O resultado do AG não apresentou solução competitiva.

Parameters	Real	Optimal Solution	
# Dinamic Warehouse (on Demand)	0	1	5
# Orders	231	231	231
# Demand (volume m3)	4,33	4,33	4,33
# Capacity (volume m3)	0	5	3
Freigth - Seller/Customer	4690	0	0
Storage/Handling - Facility/Customer	0	1000	2500
Freight - Facility/Seller/Customer	0	5010	1876
Objective Function - minimize	4690	6010	4376
Save	0	-1319,75	313,56
Freight Cost seller/Facilities	0	Not Evaluated	Not Evaluated
Total Cost	Not Evaluetad	Not Evaluetad	Not Evaluetad

Fonte: elaborado pelo autor, base de dados da pesquisa.

## 4.2 Trabalhos relacionados

A revisão da literatura realizada levou em consideração a base de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE até o mês de outubro de 2022, somente considerando artigos de revistas especializadas no idioma Inglês dentro do período de 2020 a 2022, portanto estudos recentes. Existe um vasto volume de publicações que leva em conta a otimização da última milha no comércio eletrônico considerando soluções, métodos e técnicas de Inteligência Artificial.

Contudo, foi identificado um volume escasso de artigos relacionados visualização de informação aplicadas a solução do problema destacado acima (Park *et al.*, 2016), bem como limitações de publicações nos domínios de aplicação de Realidade aumentada, de Realidade Virtual e Comércio Eletrônico 3D, evidenciando lacunas e restrições nessas áreas.

Outras limitações identificadas ao longo da Revisão de literatura dizem respeito à escassez de quantidade de artigos que consideram aplicações em tempo real e impactos nos *Stakeholders* ou compartilhamento de armazéns utilizando espaço extra dos próprios vendedores ou *Sellers*.

Apresenta-se a seguir, uma síntese dos resultados alcançados por outros estudiosos que citamos no desenvolvimento deste estudo, como base da discussão

apresentada. São considerados resultados positivos para armazenagem e entregas das últimas milhas, com uso de diferentes métodos e de Algoritmos heurísticos e meta-heurísticos. Veja-se o Quadro 1.

**Quadro 1.** Autores apontados na Síntese de Resultados.

Autores	Artigos / Data
AARDAL, K. <i>et al.</i>	Approximation algorithms for hard capacitated k-facility location problems. <i>European Journal of Operational Research</i> , v. 242, n. 2, p. 358-368, 2015.
BILLEWAR, S.R. <i>et al.</i>	e-Commerce Shopping Gets Real: The Rise of Interactive Virtual Reality Biosc. <i>Biotech</i> , 2021
GUTIERREZ-FRANCO, E.	Data-Driven Methodology to Support Long-Lasting Logistics and Decision Making for Urban Last-Mile Operations, 2021
D'ELAMARE PORTELA, P.L.	Roteamento de drones autônomo: um estudo algorítmico, 2020
MOSHREF-JAVAD M. <i>et al.</i>	A comparative analysis of synchronized truck-and-drone delivery models, 2020
SRIVATSA, S.S.; MARATHE, R.R.	Moving towards “mobile warehouse”: Last-mile logistics during COVID-19 and beyond <i>Transportation</i> , 2021
CHEN, C. <i>et al.</i>	The adoption of self-driving delivery robots in last mile logistics, 2021.
NAHRY, T.A.	Optimizing the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window on Urban Last Mile Delivery, 2021.
SEGHEZZI, A. MANGIARACINA,	R. Investigating multi-parcel crowdsourcing logistics for B2C e-commerce last-mile deliveries, 2021.

Fonte: o autor, base de dados da pesquisa.

Aardal, K. *et al.* trouxeram a contribuição da função objetivo perseguida nesse trabalho levando-se em conta capacidade, custos fixos e custos de conexões, bem como as restrições, com papel importante para o desenvolvimento do AG e do MILP.

Billewar *et al.* (2021) demonstraram que o *e-Commerce* em 3D apresenta como a Realidade Virtual e a Realidade aumentada podem ajudar a lidar com as limitações do *e-Commerce* tradicional e aprimorar as operações de lojas virtuais.

Gutierrez-Franco *et al.* 2021 apresentam a otimização de rotas em uma determinada região, considerando padrões, ferramentas de agrupamento e redução de dimensionalidade, heurísticas e simulação, conjuntamente com a experiência e visualização do motorista, com uso da ferramenta do Google Maps. Demonstrou-se que os resultados demonstraram uma redução de 35% de veículos utilizados e menor impacto de emissão de gases.

D'Lamare Portela (2020) demonstrou a versão Assimétrica do Problema de Roteamento de Veículo Suficientemente Próximo, utilizado para planejamento de rotas de reconhecimento aéreo (drones). O problema foi formulado com programação cônica de segunda ordem e aplicadas técnicas de otimização heurística baseada em uma propriedade geométrica do problema para resolvê-lo. Apresentou os resultados de experimentos computacionais com instâncias adaptadas da literatura. Os testes mostraram que o método proposto produz soluções de alta qualidade com rapidez.

Moshref-Javadi *et al.* (2020) destacam uma solução sustentável com o uso de drones em conjunto com caminhão nas entregas da última milha, em áreas e alta mobilidade de veículos urbanos e densidade de clientes. É um modelo de entrega que reduz em 48% e 51% o tempo de entrega.

Srinivatsa e Marathe (2021) enfatizam o uso de armazéns móveis na otimização de entregas na última milha. É um modelo com limitações de entrega ampla de produtos, mas é conveniente na lucratividade e na substituição de armazéns convencionais quanto ao tempo de entrega. Choi (2020) concorda com essa opção.

Chen *et al.* (2021) defendem o serviço de entregas sem contacto pessoal, através da automatização robótica (drones), após os problemas da pandemia em

2020. A utilização desses drones autônomos pode ser uma alternativa flexível para entregas em tempo imediato, além de ajudar a proteger melhor o condutor (motoristas) e os clientes, com redução de contatos diretos pessoas. Com este sistema pode-se poupar tempo operacional para servir clientes próximos.

Nahry (2021) apontam a utilização de depósitos satélites abastecidos por um centro de distribuição no primeiro estágio. No segundo, a entrega na última milha atende aos pedidos do comércio eletrônico a partir do depósito satélite até o consumidor final. Este modelo apresenta emissão de gases poluentes. A otimização proposta foi um algoritmo meta-heurístico de larga busca na vizinhança, considerando a localização, veículos e solução de visualização. Os resultados trouxeram redução de custos internos e externos de cerca de 66% nos dias de pico devido aos depósitos satélites.

Seghezzi e Mangiaracina (2021) sugerem a solução de entrega na última milha pelo uso do “Crowdsourcing logistics”, utilizando espaços extras ou ociosos de armazenagem disponíveis em garagens e residências. Os resultados comparados com o modelo tradicional de entregas em Vans, mostraram-se vantajosos em relação aos gastos por entrega.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo proposto neste estudo foi apresentar um Algoritmo Genético com algumas restrições e que fosse capaz de promover a otimização e visualização sob demanda de soluções ou aproximações para o problema de localização de armazéns capacitados.

Levantou-se a hipótese de que as distâncias entre os locais de armazenamento e a chegada dos veículos de transporte demandam um sistema operacional eficiente e otimizado que supere os modelos e falhas que a logística tradicional oferece. Portanto, a questão norteadora foi: como resolver o problema de localização de armazéns capacitados na cadeia de abastecimento de uma empresa, a fim de assegurar melhor qualidade para o cliente/consumidor final e favorecer os parceiros da empresa em questão. O pressuposto básico que conduziu a pesquisa à busca de solução foi a aplicação do Algoritmo Genético que respondeu ao objetivo delineado.

Um dos grandes desafios para os sistemas logísticos é a localização de armazéns que requer uma análise de diversas linhas, que considerem desde a qualificação da mão de obra até o atendimento ao cliente como fatores estratégicos das empresas que primam pela qualidade de suas operações. Neste sentido, a localização otimizada necessita ser planejada de forma eficiente e eficaz para a empresa e para os seus parceiros, pois deles dependem as entregas. Por esta razão, a modalidade de entrega nas últimas milhas tem uma forte ascendência sobre todos os fatores citados, cujos resultados qualitativos sempre dependerão de um programa matemático otimizado.

Os estudos apresentados na Síntese de Resultados dos Trabalhos Relacionados foram de autores selecionados para esta finalidade e as soluções otimizadas, segundo eles, para o Problema das Últimas Milhas apontado, foram bem sucedidas, ou seja, as diversas propostas dos autores do Quadro 1, para a entrega das últimas milhas, demonstram que alcançaram resultados satisfatórios.

No contexto deste estudo, utilizou-se um modelo de Algoritmo Genético tendo, como base, a própria rede de fornecedores convidados a se candidatarem à locação de possíveis armazéns, visto que os locais selecionados propostos não foram escolhas aleatórias e sim intencionais, ou seja, locais selecionados no mesmo espaço ambiental ou próximos aos participantes desta pesquisa, um aspecto que tornou esta proposta interessante.

O conjunto de dados informacionais foi sobre 100 mil pedidos realizados em diversos mercados no Brasil entre os anos de 2016 a 2018, que permitiram a visualização de suas várias etapas (o status do pedido, preço, desempenho, frete e a geolocalização), com as relações dos códigos postais e as coordenadas das entregas.

A partir das soluções ótimas encontradas através do MILP nos diferentes contextos avaliados o problema, os resultados considerados ótimos foram os que tiveram um tempo computacional aceitável em termos polinomiais. Assim, puderam-se comparar resultados alcançados com os resultados futuros da solução aproximada obtidos na sequência, através do Algoritmo Genético (AG).

Com a aplicação do AG, foi possível concluir que os resultados são promissores, pois, de forma consistente e proporcional ao número de gerações, percebe-se uma evolução vantajosa da função *fitness para poucas instâncias* (5 pedidos), provando que seria possível a tese de desenvolver um AG que pudesse encontrar a solução ótima do MILP e uma consequente aproximação em relação à solução ótima calculada pelo MILP para instâncias maiores (50 e 231 pedidos), ainda carente de ajustes no AG, especialmente no que se refere à baixa taxa de mutação de 0,1. Considera-se que a taxa de mutação baixa pode não ter proporcionado a diversidade adequada para a população evoluir, tornando-se, portanto estagnada, fator que não ocorreu para instâncias menores.

### **5.1 Limitações do estudo**

Não foi possível concluir os limites computacionais do MILP, em função da quantidade pequena de pedidos avaliados (5, 50 e 230). Neste caso, como existem 100.000 pedidos na base, seria interessante avaliar um volume massivo de pedidos para identificar o comportamento do mesmo e compará-lo com os resultados da aproximação do AG para grandes volumes de dados, haja vista que estamos lidando com um problema NP-difícil. Para instâncias maiores (50 e 231 pedidos) o algoritmo genético não performou da maneira semelhante às instâncias pequenas (5 pedidos).

### **5.2 Sugestões**

Como prosseguimento para estudos futuros e melhorias no AG, sugere-se o aumento da taxa de mutação e repetição para 5, 50, 231, buscando otimização da

aproximação de forma semelhante ao resultado com 5 pedidos para os quais se encontrou a solução ótima.

Outro ponto que poderia contribuir também para a complementação deste estudo, seria um trabalho de pesquisa mais profundo sobre o tema, considerando a avaliação do desempenho com utilização da evolução diferencial, para que se possa estabelecer um parâmetro na comparação adicional em relação a MILP e AG.

Estudos futuros poderiam ser apresentados sobre esta temática corroborando as argumentações apresentadas, ou apresentando novas formulações. Nesses possíveis estudos, a parte de visualização também poderá ser aprimorada, levando-se em consideração cenários que utilizem realidade aumentada e realidade virtual.

## REFERÊNCIAS

Aardal, K. *et al.*. Approximation algorithms for hard capacitated k-facility location problems. **European Journal of Operational Research**, v. 242, n. 2, p. 358-368, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.011>

Alves Ribeiro, S. **Identification of Bottlenecks in Software Development Development Process: A Proposal Based**. Proposal Based on the Principles of the Theory of Constraints. Tese de doutorado. Instituto Tércio - Pacitti Institute for Applications and Computational, Graduate Program in Informatics. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

Ballou, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial**. Bookman editora, 2009.

\_\_\_\_\_/ **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. Trad. Hugo T.Y.Y. 1 ed. 26 reimp. São Paulo: Atlas, 2012.

Beckedorff, I.A. **Logística de suprimentos e distribuição**. Indaial: Uniasselvi, 2013.

Bergmann, F.M. *et al.*. A integrating first-mile pickup and last-mile delivery on shared vehicle routes for efficient urban e-commerce distribution. **Transportation Research Part B journal**, 131. 2019, 26–62 Homepage: [www.elsevier.com/locate/trb](http://www.elsevier.com/locate/trb).

<https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.09.013>

Billewar, S.R. *et al.*. e-Commerce Shopping Gets Real: The Rise of Interactive Virtual Reality Biosc. **Biotech. Res. Comm. Special Issue**. Vol.14. Nº 05, p. 130-132, 2021.

<https://doi.org/10.21786/bbrc/14.5/25>

Bressan, G.M; Campos, L.A.O. Otimização de problemas de roteamento de veículos: soluções heurísticas. **C.Q.D – Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, v. 18, p. 60–76. Bauru, Jul. 2020.

<https://doi.org/10.21167/cqdv18ic202023169664gmb1aoc6076>

Ceschia, S. *et al.*. The on-demand warehousing problem. **International Journal of Production Research**, p. 1- 19, 2022.

Chen, C. *et al.*. The adoption of self-driving delivery robots in last mile logistics. **Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review**, [S.L.], **Elsevier BV**, v. 146, p. 102-214, Fev. 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102214>

Ching, H.Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada: Supply Chain**. São Paulo: Atlas, 1999.

Christopher, M. **Logistics & Supply Chain Management. Financial Times/ Prentice Hall**, 5. Ed. Feb. 2016.

De Rainville, F.M. *et al.*. Deap: A python framework for evolutionary algorithms. In: Proceedings of the 14th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation. **Journal of Machine Learning Research**, Vol. 13, p. 85-92. 2012.  
<https://doi.org/10.1145/2330784.2330799>

D'lamare Portela, P.L. **Roteamento de drones autônomo**: um estudo algorítmico. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação. Natal, 2020.

Drexler, M., Schneider, M. A survey of variants and extensions of the location-routing problem. **European Journal of Operational Research journal**. Elsevier B.V. All rights reserved. 2015. Homepage: [www.elsevier.com/locate/ejor](http://www.elsevier.com/locate/ejor).  
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.09.013> 0191-2615/© 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.08.030>

Franklin, B. **The importance of reverse logistics in supply chain management**. Nov. 2021. Disponível em: <https://www.oneadvanced.com/news-and-opinion...in-supply-chain-management>. Acesso em Set. 2023.

Flores, D.A.N. **Bim revolucionário (recurso eletrônico)**: aplicabilidade de algoritmos de inteligência artificial no desenvolvimento de projetos de edificações. Dissertação de Mestrado. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. 2021.

Goldberg, D. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. 11 janeiro 1989. Addison Wesley 1989.

Goldratt, M.; COX, J. **A Meta**: um processo de melhoria contínua. 2. ed. São Paulo: Nobel, 2006.

Gutierrez-Franco, E. Data-Driven Methodology to Support Long-Lasting Logistics and Decision Making for Urban Last-Mile Operations. **Sustainability**, Vol. 13(11), 6230. 2021 DOI.org/10.3390/su13116230  
<https://doi.org/10.3390/su13116230>

He, B. The Features and Evolution of Cluster Supply Chain Network. **Open Journal of Business and Management**, 4, 751-762. 2016. doi:10.4236/ojbm.2016.44073  
<https://doi.org/10.4236/ojbm.2016.44073>

Hofmann, E.; Rüscher, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>

Holland, J.H. **Adaptation in natural and artificial systems**: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. MIT press, 1992.  
<https://doi.org/10.7551/mitpress/1090.001.0001>

- Holzapfel, A. *et al.*. Product allocation to different types of distribution center in retail logistics networks. **European Journal of Operational Research**. 264, 948-966, 2018.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.013>
- Huang, B ; Xue, X. An Application Analysis of Cluster Supply Chain: A Case Study of JCH. **Kybernetes**, 2, 254-280. 2012. <http://dx.doi.org/10.1108/03684921211213070>.  
<https://doi.org/10.1108/03684921211213070>
- Hui, h.; Gongqian, L. Design Strategy for the Reverse Supply Chain Based on Time Value of Product. School of Management, Northwestern Polytechnic University, Xi'an, P.R. China. **Proceedings of the 7th International Conference on Innovation & Management**, 1537, 710072, 2022.
- Ishfaq, R. *et al.*. Realignment of the physical distribution process in omni-channel fulfillment. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. Vol. 46, p. 543-561, 2016.  
<https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2015-0032>
- Izdebski, A. *et al.*. The Social Burden of Resilience: A Historical Perspective. **Hum. Ecol. Interdiscip. J.**, Vol. 46, p. 291–303. Jun. 2018.  
<https://doi.org/10.1007/s10745-018-0002-2>
- Ivanov, D.; Dolgui, A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0, **Production Planning & Control**, Vol. 32(9), p. 775-788, 2021.  
<https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>
- Jadhay, K. *et al.*. The rise of 3D E-Commerce: the online shopping gets real with virtual reality and augmented reality during COVID-19. **World Journal of Engineering**. 2021. DOI 10.1108/WJE-06-2021-0338.  
<https://doi.org/10.1108/WJE-06-2021-0338>
- Janjevic, M; Winkenbach, M. Characterizing urban last-mile distribution strategies in mature and emerging e-Commerce markets. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Vol.133, p.164 -196, Mar. 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.003>
- Kaggle. **Base de dados Kaggle**. Disponível em: <https://www.kaggle.com/olistbr/brazilian-ecommerce>. Acesso em: Jun. 2023.
- Lambert, D.M; Cooper, M.C. Issues in Supply Chain Management. **Industrial Marketing Management**, Vol. 29, nº 1, p. 65-83. Jan. 2000.  
[https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00113-3)
- Lambert, D.M. *et al.*. Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, Vol. 9, Nº 2, p. 19, 1998.  
<https://doi.org/10.1108/09574099810805807>

Leithner, M; Fikar, C. A simulation model to investigate impacts of facilitating quality data within organic fresh food supply chains. **Annals of Operations Research**, Vol. 314(1). Jul. 2022. DOI:10.1007/s10479-019-03455-0.

<https://doi.org/10.1007/s10479-019-03455-0>

Li, J. *et al.*. Intelligent Model Design of Cluster Supply Chain with Horizontal Cooperation. **Journal of Intelligent Manufacturing**, Vol. 4, p. 1-15. 2012.

Li, B. *et al.*. Theoretical and Applied Climatology. **Springer Vienna**, Vol. 111, n. 3, p. 401-415, 2013.

<https://doi.org/10.1007/s00704-012-0658-2>

Lima, F.S *et al.*. Formação de clusters para o gerenciamento da cadeia de suprimentos em operações humanitárias. **Exacta – EP**, Vol. 12, n. 1, p. 55-68. São Paulo, 2014.

<https://doi.org/10.5585/exactaep.v12n1.4696>

Lopes, D.M.M. *et al.*. Improving post-sale reverse logistics in department stores: a Brazilian case study. By: Diana Mery Messias Lopes; Márcio de Almeida D'Agosto; Amanda Fernandes Ferreira; Cintia Machado de Oliveira. Research Directory. **J. Transp. Lit.**, Vol. 8 (2), Abr. 2014.

<https://doi.org/10.1590/S2238-10312014000200014>

Long, Qingqi. A multi-methodological collaborative simulation for inter-organizational supply chain networks. **Knowledge-Based Systems**, Vol. 96, p. 84–95, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.12.026>

Melo, S.S. *et al.*. Desafios da logística de transporte rodoviário: o caso das empresas prestadoras de serviços na área de transporte de carga localizadas no Estado do Ceará. **Encontro de Iniciação Científica III**. Encontro de Iniciação Científica da UFCA, 2017.

Milazzo, F.O. *et al.*. **Algoritmos Genéticos aplicados ao problema de localização de armazéns capacitados por meio de uma abordagem de otimização e visualização sob demanda**. CEEL - Universidade Federal de Uberlândia. Dez. 2022. DOI:10.56316/2596-2221.xxceel.2022.747 ISSN 2596-2221.

<https://doi.org/10.56316/2596-2221.xxceel.2022.747>

Moshref-Javad M. *et al.* A comparative analysis of synchronized truck-and-drone delivery models. **Computers & Industrial Engineering**. Vol. 162, Dez. 2021.

Muñoz-Villamizara, A. *et al.*. The impact of shipment consolidation strategies for green home delivery: a case study in a Mexican retail company, **International Journal of Production Research**. 2021. DOI: 10.1080/00207543.2021.1893852.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1893852>

Nahry, T.A. Optimizing the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window on Urban Last Mile Delivery. Published in **IOP Conference Series: Earth...**

Business, Computer Science. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021.

DOI:10.1088/1755-1315/830/1/012100. Corpus ID: 238263773

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012100>

Owen, S.H; Daskin, M.S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**, Vol. 111, n. 3, p. 423-447, 1998.

[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00186-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00186-6)

Ozcan, T. *et al.*. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications**, Vol. 38(8), p. 9773-9779. 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.022>

Peppel, M. How will last-mile delivery be shaped in 2040? A Delphi-based scenario study. **Technological Forecasting and Social Change**. Vol. 177, Abr. 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121493>

Pereira, K.B. *et al.*. A transversalidade e a interdisciplinaridade em Educação Ambiental: uma reflexão dentro da escola. **Revista Histedbr: História, Educação e Sociedade no Brasil**. UNICAMP – Universidade de Campinas, 2007.

Platt, A.A. **Logística e cadeia de suprimentos**. 3. Ed. – Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/ UFSC, 2015.

Roy, V. Decoding the elemental arcs of superior performance in sustainable supply chains: A knowledge-based view. **Management Decision**, 2018.

DOI.org/10.1108/MD-03-2017-0269.

<https://doi.org/10.1108/MD-03-2017-0269>

Roy, V. *et al.* Toward an Enhanced Understanding of the Transformation toward Sustainable Supply Chain Management: Applying Force-Field Analysis and the Concept of Differential Efforts. **Journal of Purchasing and Supply Management**, Vol. 26, N. 3. Jun. 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.pursup.2020.100612>

Saleh, K. **The importance of same day delivery** – Statistics and trends (online). Invespcro. 2018. Disponível em: <https://www.invespcro.com/blog/same-day-delivery/> Acesso em Set. 2023.

Santana, W.A.L. **Utilização da simulação a eventos discretos para o gerenciamento do almoxarifado de materiais utilizados numa indústria automotiva**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/items/94b81cb0-e90b-46d0-bfc9-b325aeaf566d> Acesso em Ago. 2023.

Sato, F.R.L. Problemas e métodos decisórios de localização de empresas. **RAE electron.**, Vol. 1(2). Dez 2002. DOI.org/10.1590/S1676-56482002000200011.

<https://doi.org/10.1590/S1676-56482002000200011>

Schluter, F. *et al.*. “A Simulation-Based Evaluation Approach for Digitalization Scenarios in Smart Supply Chain Risk Management. **Journal of Industrial Engineering and Management Science**, Vol. 1, p. 179–206, 2017. DOI:10.13052/jiems2446-1822. 2017.009.

SEBRAE – **Importância da análise de SWOT para uma empresa**. Agosto, 2021. Disponível em: <https://www.sebraeatende.com.br/artigo/qual-importancia-da-analise-swot-para-uma-empresa>. Acesso em Ago. 2023.

Seghezzi, A. Mangiaracina, R. Investigating multi-parcel crowdsourcing logistics for B2C e-commerce last-mile deliveries. **International Journal of Logistics Research and Applications**, Vol. 25(1): p.1-18. Fev. 2021. DOI:10.1080/13675567.2021.1882411. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1882411>

Sharma, A. The metrics of relationships: measuring satisfaction, loyalty and profitability of relational customers. **Journal of Relationship Marketing**, Vol. 6, n. 2, p. 33-50, 2007. [https://doi.org/10.1300/J366v06n02\\_04](https://doi.org/10.1300/J366v06n02_04)

Sirino, R.C; Dias, M.C. Logística 4.0 e as implicações para o mercado de trabalho do setor logístico. **XII FATECLOG - Gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: Desafios e oportunidades no contexto atual**. Fatec Mogi Das Cruzes, SP. Brasil, 18 e 19 Jun. 2021. ISSN 2357-9684.

Souza, A. *et al.*. A Importação por meio dos aplicativos de *E-Commerce* Estrangeiros: preferência de compra dos consumidores ludovicenses. **CEDS**, São Luís, Vol. 2, n. 10, ago./dez. 2022. ISSN 2447-0112.

Souza, M.F. **Otimização locacional de novas unidades armazenadoras de grãos em Minas Gerais**. Dissertação (mestrado). UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2019. Disponível em: [repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30703/](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30703/). Acesso em Set. 2023.

Srivatsa, S.S; Marathe, R.R. Moving towards “mobile warehouse”: Last-mile logistics during COVID-19 and beyond Transportation. **Research Interdisciplinary Perspectives**, Vol. 10, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100339>

Torres, F. *et al.*. Crowdshipping: An open VRP variant with stochastic destinations. **Transportation Research Part C**, Vol. 140, p.103-677. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103677>

Tseng, C.H *et al.*. The efficiency of mobile media richness across different stages of online consumer behavior. **International Journal of Information Management**. Elsevier, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.010>

UCLA. **Sustainability Committee**. Disponível em:  
<https://www.sustain.ucla.edu/what-is-sustainability/> Acesso em Out. 2023.

Unnu, K; Pazour, J. Evaluating on-demand warehousing via dynamic facility location models. **IISE Transactions**, Vol. 54, N. 10, p. 988-1003. 2022.  
<https://doi.org/10.1080/24725854.2021.2008066>

Vanovermeire, C; Sörensen, K. Integration of the cost allocation in the optimization of collaborative bundling. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. Vol. 72, p. 125-143. Dec. 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.09.009>

Vieira, J.G.V. *et al.*. Um estudo exploratório sobre colaboração logística em um grande varejo supermercadista. An exploratory study on logistics collaboration in a large supermarket retailer. **Rev. Produção**, Vol. 20, n.1, São Paulo, Mar. 2010.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-65132010005000007>

Xu, N.R. *et al.*. Research on Evolutionary Mechanism of Agile Supply Chain Network via Complex Network Theory. **Mathematical Models for Supply Chain Management**, 2016.  
<https://doi.org/10.1155/2016/4346580>

Wang, X. *et al.*. An integrated modeling method for collaborative vehicle routing: Facilitating the unmanned micro warehouse pattern in new retail. **Expert Systems With Applications**, Vol. 168, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114307>

Winkel, J.J.H. *et al.*. Augmented Reality could transform last-mile logistics. In **Symposium on Spatial User Interaction (SUI '20)**, Oct 31/Nov 01, 2020. Virtual Event, Canada. ACM, New York (NY), USA. 2020  
<https://doi.org/10.1145/3416797.3416829>.