

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Rafael Uehara Martins

Estudo do impacto da localização de galpões logísticos na Região Metropolitana
de São Paulo

São Carlos

2023

Rafael Uehara Martins

Estudo do impacto da localização de galpões logísticos na Região Metropolitana
de São Paulo

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Materiais e Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Becker

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA,
DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes
da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M379e Martins, Rafael Uehara
 Estudo do impacto da localização de galpões
 logísticos na Região Metropolitana de São Paulo /
 Rafael Uehara Martins; orientador Marcelo Becker . São
 Carlos, 2023.

 Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e
 Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
 Universidade de São Paulo, 2023.

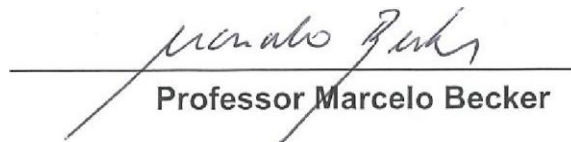
 1. Localização de Galpões Logísticos. 2. Cadeia
 de Suprimentos. 3. Eficiência Operacional. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato / Student: Rafael Uehara Martins	
Título do TCC / Title: Estudo do impacto da localização de galpões logísticos na Região Metropolitana de São Paulo	
Data de defesa / Date: 14/12/2023	
Comissão Julgadora / Examining committee	Resultado / Result
Professor Marcelo Becker (orientador)	APROVADO
Instituição / Affiliation: EESC - SEM	
Doutor Antonio José Felix de Carvalho	Aprovado
Instituição / Affiliation: EESC - SMM	
Doutor Walther Azzolini Júnior	Aprovado
Instituição / Afiliation: EESC- SEP	

Presidente da Banca / Chair of the Examining Committee


Professor Marcelo Becker

DEDICATÓRIA

*Em memória da minha avó que fugiu
de uma terra arrasada, e me legou a
essência de um sorriso genuíno.*

AGRADECIMENTOS

Aos queridos familiares, amigos e todos que caminharam ao meu lado nesta jornada inesquecível, este é o momento em que uma fase se encerra e outra se revela diante de nós.

Primeiramente, minha gratidão à República OUR. Mais do que um lar em São Carlos, foi o epicentro de memórias preciosas, onde partilhamos vivências, aprendemos a cooperação e compreendemos a riqueza das diferenças e das várias gerações que por ali passaram. Cada experiência foi a forja que moldou quem sou hoje, e guardo cada lembrança com imenso carinho.

Um agradecimento especial à equipe da EESC USP Baja SAE. Vocês expandiram meus horizontes, me fizeram crescer profissionalmente e despertaram uma resiliência que desconhecia. Com vocês, aprendi a importância de um propósito claro e a dedicação incansável para atingir nossos objetivos. Nas vitórias, celebramos; nas derrotas, nos fortalecemos, transformando-as em degraus para o crescimento.

Às empresas Accenture e Genial Investimentos, onde dei meus primeiros passos como estagiário, minha profunda gratidão. Essas experiências foram janelas para o mundo corporativo, ensinando-me a importância do compromisso e da excelência.

À minha família e amigos, o mais sincero agradecimento. Sei que não teria alcançado este ponto sem o apoio incansável de vocês, a paciência nos momentos difíceis e as celebrações nas conquistas.

Aos professores que me guiaram na compreensão fundamental do caráter na jornada profissional, sendo os verdadeiros arquitetos do futuro do Brasil.

Por fim, à Escola de Engenharia de São Carlos, palco desta aventura grandiosa, meu agradecimento por ser parte indelével da minha história.

Como disse Nassim Taleb: "A vida é sacrifício e aceitação de riscos, e nada que não envolva uma dose moderada do primeiro, dentro da restrição de satisfazer o último, se aproxima do que chamamos de vida. Se não assumimos o risco de danos reais, reparáveis ou até potencialmente irreparáveis, de uma aventura, então não é uma verdadeira aventura.". Gratidão a todos por fazerem desta jornada uma experiência verdadeiramente inesquecível.

EPÍGRAFE

“Dois homens chegaram a um buraco no céu. Um pediu ao outro ajuda para se erguer até a abertura... Mas era tão bonito no céu que o homem que espiou pela beirada esqueceu tudo, esqueceu o companheiro a quem tinha prometido ajudar a subir e simplesmente saiu correndo para entrar em todo esplendor celeste.”

Knud Rasmussen (1879-1933),
explorador ártico da Groenlândia.

RESUMO

Martins, U. R. **Estudo do impacto da localização de galpões logísticos na Região Metropolitana de São Paulo**. 2023. 72 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Este estudo analisou como a localização estratégica de galpões logísticos afeta a eficiência das cadeias de suprimentos no Brasil. Foi utilizada uma abordagem quantitativa, combinando análise de dados espaciais e estatísticos. Os resultados destacaram que a localização precisa desses galpões é crucial para otimizar as operações logísticas, especialmente diante da alta demanda e competição. A proximidade de centros urbanos e rotas de transporte é essencial para reduzir tempos de entrega e custos logísticos, atendendo às expectativas dos consumidores. Os Fundos de Investimento Imobiliário especializados nesse setor surgem como opções atrativas de investimento, dada a expansão contínua do mercado. Decidir sobre a localização estratégica de galpões logísticos e investir em Fundos de Investimento Imobiliário nesse ramo tornou-se crucial para empresas que lidam com o crescimento do comércio online e mudanças no consumo.

Palavras-chave: Localização de Galpões Logísticos. Cadeia de Suprimentos. Eficiência Operacional.

ABSTRACT

Martins, U. R. **Study of the Impact of the Location of Logistic Warehouses in the Metropolitan Region of São Paulo**, 2023. 72 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

This study analyzed how the strategic location of logistics warehouses affects the efficiency of supply chains in Brazil. It used a quantitative approach, combining spatial and statistical data analysis. The results highlighted that the precise location of these warehouses is crucial for optimizing logistics operations, especially in the face of high demand and competition. Proximity to urban centers and transportation routes is essential for reducing delivery times and logistics costs, meeting consumer expectations. Brazilian Real Estate Investment Funds specialized in this sector emerge as attractive investment options, given the continuous expansion of the market. Deciding on the strategic location of logistics warehouses and investing in Brazilian Real Estate Investment Funds in this field has become crucial for companies dealing with the growth of online commerce and changes in consumption.

Keywords: Logistics Warehouses Location. Supply Chain. Operational Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Cadeia de suprimentos imediata de empresa.....	26
Figura 2 –	Quarta fase da Logística.....	27
Figura 3 –	Processo coordenado e colaborativo de planejamento de marketing e operações.....	28
Figura 4 –	Relação entre o gerenciamento de frotas e sistemas de monitoramento com serviços logísticos.....	30
Figura 5 –	Balança entre Oferta e Demanda.....	30
Figura 6 –	Exemplo de um problema do “Caixeiro Viajante”	31
Figura 7 –	Abordagens para o estudo de um sistema.....	32
Figura 8 –	Relação temporal e as interações entre validação, verificação e estabelecimento de credibilidade.....	33
Figura 9 –	Metodologia baseada na concepção, implementação e análise de resultado.....	34
Figura 10 –	Funcionamento básico de um FII de galpão logístico.....	35
Figura 11 –	Tela principal do QGIS.....	37
Figura 12 –	Exemplo de um evento a ocorrer.....	38
Figura 13 –	Visualização no mapa das isócronas calculadas. A isócrona estática (à esquerda) não leva em consideração a situação do tráfego, enquanto as dinâmicas o fazem....	38
Figura 14 –	Tela principal do OpenDoorLogistics.....	39
Figura 15 –	Problema clássico de VRP.....	40
Figura 16 –	Mapa isócrono intervalado de 10 em 10 minutos do marco polo de São Paulo/SP.....	42
Figura 17 –	Mapa isócrono do CLE e DCB de 30 minutos de cobertura.....	44
Figura 18 –	Output de dados gerado pelo ChatGPT.....	46
Figura 19 –	Demonstração do princípio de “Arruinar e Reconstruir”	47
Figura 20 –	Diagrama de Gantt dos veículos utilizados do Cenário 1 pelo tempo do dia....	49
Figura 21 –	Rotas geradas para o Cenário 1.....	49
Figura 22 –	Diagrama de Gantt dos veículos utilizados do Cenário 2.....	50
Figura 23 –	Diagrama de Gantt dos veículos utilizados do Cenário 3.....	51
Figura 24 –	Rotas geradas para o Cenário 4.....	52
Figura 25 –	Descarregamento de veículos ao longo do tempo.....	52

Figura 26 – Rotas geradas para o Cenário 5 e descarregamento de veículos ao longo do tempo.....	54
Figura 27 – Custo de Viagem x Distância percorrida (km) - Cenário 5.....	56
Figura 28 – Custo de Viagem x Tempo - Cenário 5.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Localizações variáveis dos Galpões de FIIs na RMSP.....	42
Tabela 2 –	Parte do input de dados para o otimizador de rotas.....	46
Tabela 3 –	Parâmetros de input para capacidade e número de veículos utilizado no otimizador de rota.....	47
Tabela 4 –	Parâmetros utilizados para o Cenário 1.....	48
Tabela 5 –	Parâmetros utilizados para o Cenário 2 e 3.....	50
Tabela 6 –	Parâmetros utilizados para o Cenário 4.....	51
Tabela 7 –	Diferença aplicada dos primeiros quatro cenários com relação ao Cenário 5...	53
Tabela 8 –	Parâmetros utilizados para o Cenário 5.....	53
Tabela 9 –	Resultados dos cinco cenário tratando das Rota Usadas, Pedidos Atendidos, Quantidade (adimensional) entregue e Tempo Total (da operação)	55
Tabela 10 –	Resultados dos cinco cenários tratando do Custo de Viagem (adimensional), bem como Distância (percorrida em km), Tempo em Viagem (em horas) e Tempo em Espera (horas).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	Artificial Intelligence
ALNS	Adaptive Large Neighborhood Search
API	Application Programming Interface
BRCO11	Bresco Logística
CLE	Centro Logístico Embu
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
DCB	Distribution Center Barueri
FIIs	Fundos de Investimento Imobiliário
HGLG11	CSHG Logística
LSPs	Logistics Service Providers
ODL	OpenDoorLogistics
PO	Pesquisa Operacional
QGIS	Sistema de Informação Geográfica
REITS	Real Estate Investment Trust
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
S&OP	Sales and Operations Planning
SCM	Supply Chain Management
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TSP	Traveling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
XPLG11	XP Log

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 Questão central da pesquisa.....	25
1.2 Objetivo e definição de problema.....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1 Logística.....	26
2.2 Modelo S&OP.....	28
2.3 Gestão de Frota.....	29
2.4 Demanda e Oferta.....	30
2.5 Pesquisa Operacional.....	31
2.6 Simulação Computacional.....	32
2.7 Fundos de Investimento Imobiliário.....	34
2.8 Ferramentas selecionadas para resolver o problema.....	36
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Contextualizar o tipo de problema a resolver.....	41
3.2 Variáveis da questão da pesquisa.....	44
3.3 Extração de dados.....	45
3.4 Procedimentos e desenvolvimento dos modelos.....	47
3.5 Validação e Discussão.....	55
4 CONCLUSÃO.....	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS.....	62
GLOSSÁRIO.....	66
APÊNDICE A - Base de dados utilizado para o otimizador de rotas.....	68
ANEXO A – Sumário Executivo do Imóvel Logístico em Barueri - SP (Distribution Center Barueri (DCB))	71
ANEXO B – Sumário Executivo do Imóvel Logístico em Embu das Artes - SP (Centro Logístico Embu – (CLE))	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Questão central da pesquisa

De acordo com Ballou (2006), a logística pode ser definida como o planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações desde a origem até o cliente. Essa definição é especialmente relevante quando aplicada ao contexto do estudo do impacto da localização de galpões logísticos brasileiros onde o foco está sempre na satisfação das demandas dos clientes. Em um cenário amplo de atividades logísticas, Ballou (2006) ressalta que o transporte é frequentemente o elemento que representa os maiores custos logísticos para uma empresa. Portanto, um sistema de transporte eficaz não apenas contribui para a obtenção de economias de escala, mas também facilita a redução de custos em geral. Considerando a importância dessa definição em relação aos custos, a elaboração de um sistema de transporte eficaz requer a aplicação de ferramentas apropriadas para embasar decisões estratégicas.

Gavira (2003), em sua dissertação de mestrado, enfatiza que, quando se trata de decisões em sistemas complexos, a simulação computacional é uma ferramenta valiosa. Ela oferece uma compreensão abrangente do problema ou sistema em estudo. Através do uso de modelos, é possível examinar o comportamento do sistema real sem incorrer em custos associados a equipamentos e pessoas, além de reduzir os riscos de falhas. Esta pesquisa tem como objetivo, portanto, de avaliar o impacto da localização estratégica de galpões logísticos brasileiros com base na eficiência das operações e custos envolvidos, tomando como referência a abordagem de uma simulação computacional.

1.2 Objetivo e definição de problema

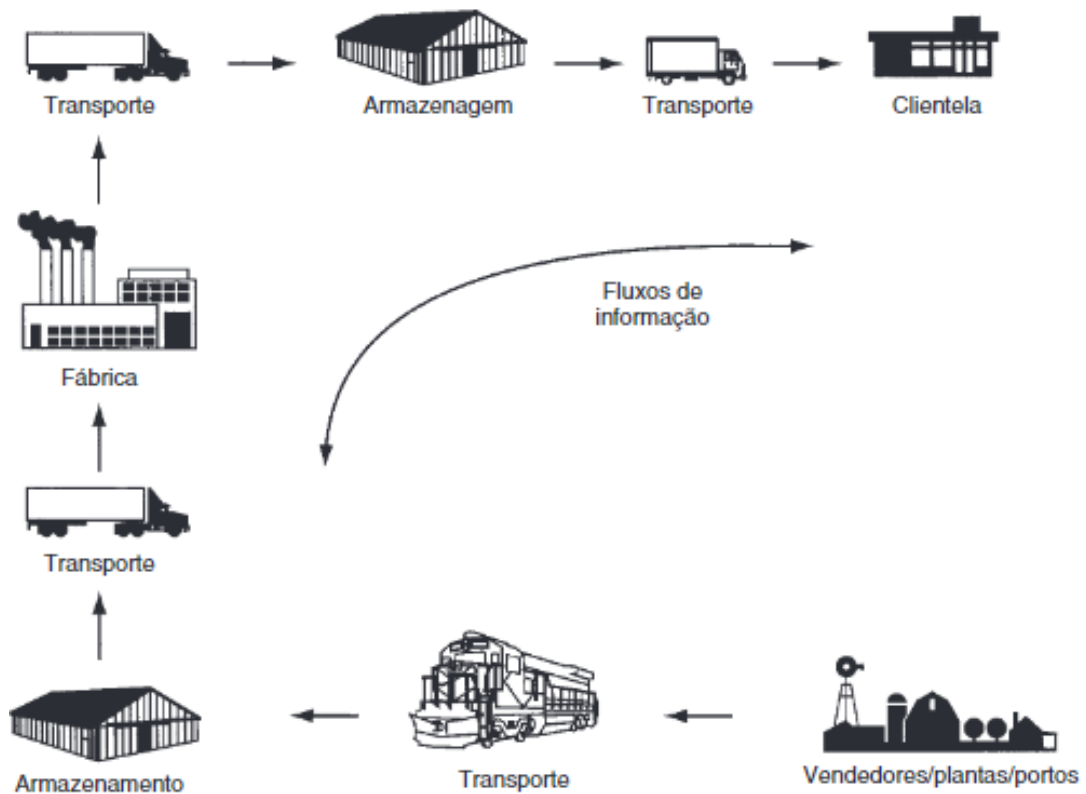
A região metropolitana em questão oferece um cenário único devido à sua dinâmica socioeconômica e infraestrutura logística diversificada, crucial para compreender como a eficiência na distribuição pode influenciar a cadeia de suprimentos. O objetivo central é identificar estratégias de localização que minimizem os custos operacionais e aumentem a eficiência logística, alinhadas com a satisfação das demandas dos clientes. A pesquisa procura compreender o impacto direto da localização dos galpões logísticos na eficiência operacional e nos custos logísticos, dando ênfase ao transporte como fator-chave nesse contexto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Logística

Segundo Ballou (2006), os custos logísticos são responsáveis por uma parte significativa dos gastos empresariais, representando 12,7% do PIB do Brasil, de acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2016). De acordo com Ballou (2006), a missão da logística é assegurar que produtos ou serviços sejam entregues nos lugares certos, nos momentos apropriados e nas condições desejadas, acrescentando valor à empresa. A logística desempenha um papel estratégico ao contribuir para a competitividade de mercado, com transporte eficiente que aumenta economias de escala e reduz custos de produtos ou serviços. Wood (1998) também enfatiza que a logística está entrelaçada com as decisões e a metodologia organizacional, abrangendo atividades táticas, estratégicas e operacionais. A logística é um elemento fundamental na cadeia de suprimentos das empresas, abrangendo desde o suprimento até a entrega ao cliente final. A Figura 1, baseada no trabalho de Ballou (2006), ilustra as atividades logísticas que compõem a cadeia de suprimentos de uma empresa.

Figura 1: Cadeia de suprimentos imediata de empresa

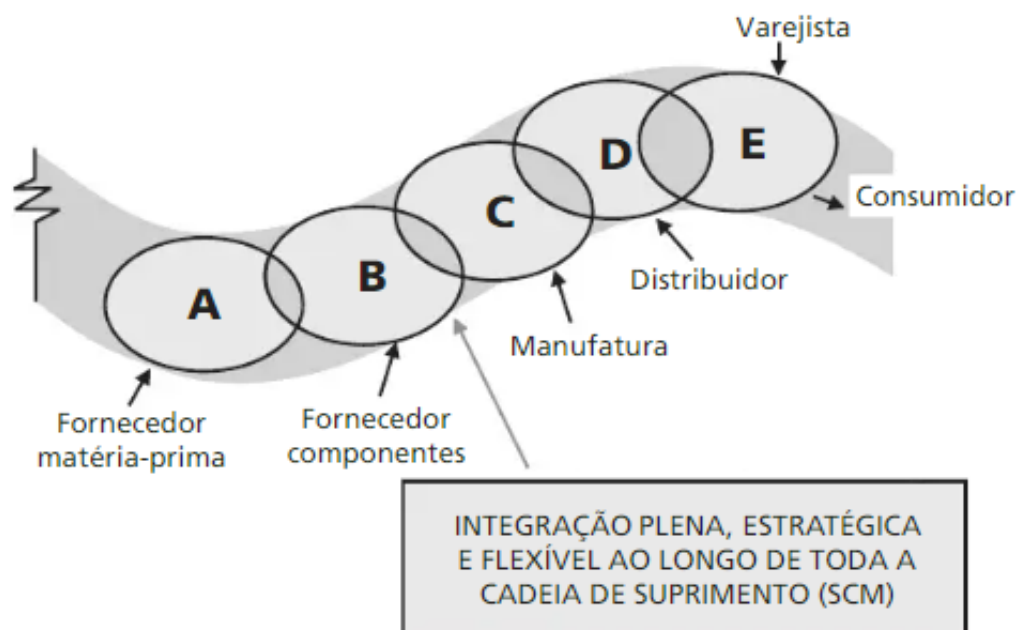


Fonte: Ballou (2006).

Dentro dessa estrutura, as empresas agregam valor aos seus clientes por meio do atendimento ao cliente e processamento de pedidos. A armazenagem e o transporte estão diretamente ligados à localização dos materiais, custos de manutenção e custos de transporte até o cliente (Dalmina, 2017). Conforme Novaes (2007), a gestão da cadeia de distribuição compreende diversos elementos, como armazéns, centros de distribuição, estoque de mercadorias, meios de transporte e serviços complementares. Os canais de distribuição desempenham um papel vital ao conectar as operações aos clientes, garantindo a qualidade na prestação de serviços.

Ao longo do desenvolvimento logístico, as empresas atravessaram distintas fases na gestão de suas cadeias de suprimento. Inicialmente, na fase inicial, predominavam operações pontuais, onde o foco recaía na otimização interna dos processos. Em seguida, na fase de integração interna, houve uma evolução para o controle de custos, integrando áreas dentro da organização. A terceira fase marcou um ponto crucial com a integração externa, priorizando parcerias e colaboração entre os elos da cadeia. Por fim, na fase estratégica, o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (SCM) veio à tona, destacando uma abordagem holística, focada na satisfação do cliente, parcerias estratégicas e na busca incessante pela maximização de valor em todos os pontos da cadeia, conforme Novaes (2007), na Figura 2, essa separação já não é mais nítida, havendo uma interpenetração de operações entre os elementos da cadeia.

Figura 2: Quarta fase da Logística



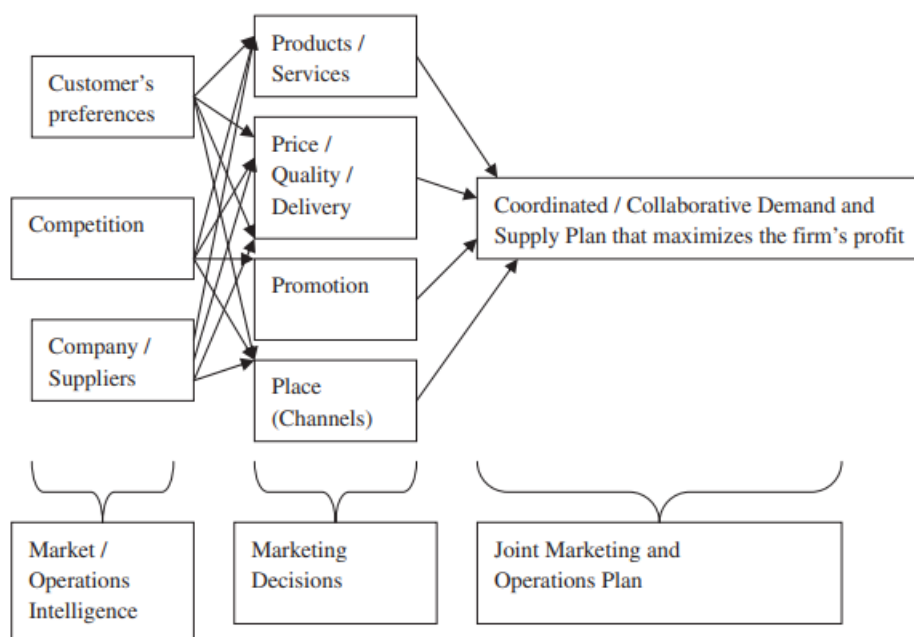
Fonte: Novaes (2007).

2.2 Modelo S&OP

O Sales and Operations Planning (S&OP) é um processo que se destaca por integrar distintas áreas de uma organização, alinhando estratégias de vendas com capacidades de produção. Originado na década de 1950, recebeu atenção significativa na literatura a partir dos anos 1990, quando se evidenciou a necessidade de integração estratégica e tática para superar conflitos entre funções empresariais (Singhal & Singhal, 2007; Grimson & Pyke, 2007). Seu objetivo principal é equilibrar oferta e demanda, minimizando custos e maximizando lucros em um horizonte de planejamento de 6 meses a 3 anos (Lim et al., 2014). O S&OP desempenha um papel crítico ao coordenar vendas, produção e finanças, prevenindo problemas como desabastecimento e desequilíbrio financeiro, especialmente em face de aumentos inesperados na demanda (Mollenkopf et al., 2011; Shapiro, 1977).

O processo do S&OP envolve reuniões regulares para revisão e ajuste dos planos, categorizando empresas em estágios de maturidade baseados em fatores críticos de sucesso (Lapide, 2005; Viswanathan, 2009). Autores ressaltam a importância da integração entre áreas, destacando a coordenação como fundamental para o sucesso do S&OP. A colaboração entre vendas, produção e outras funções empresariais se mostra crucial para garantir a eficiência do processo (Tang, 2010; Galeazzo et al., 2014) como podemos demonstrar na Figura 3.

Figura 3: Processo coordenado e colaborativo de planejamento de marketing e operações



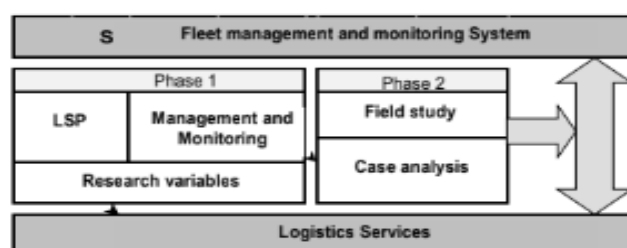
Fonte: Tang (2010).

Rexhausen et al. (2012) salientam a necessidade de coordenação entre participantes do S&OP, sugerindo a presença de um coordenador para facilitar o processo. A estrutura do S&OP é composta por etapas que abrangem desde a revisão dos dados de vendas e produção até a apresentação dos resultados para a alta gerência, passando pela definição do plano de vendas, revisão dos planos de suprimentos e reuniões de análise e proposição de soluções (Grimson & Pyke, 2007). É fundamental para empresas em diversos setores industriais, possibilitando a otimização de recursos e a redução de problemas decorrentes de falta de alinhamento entre vendas e capacidade produtiva (Oliva & Watson, 2009; Lapide, 2005). Dessa forma, o S&OP emerge como uma ferramenta vital para empresas que buscam integrar estratégias de vendas com capacidades operacionais, garantindo o equilíbrio entre oferta e demanda e maximizando os resultados financeiros (Rexhausen et al., 2012; Lim et al., 2014)

2.3 Gestão de Frota

A gestão de frotas, conforme delineada por Valente (1997), vai além do simples gerenciamento de veículos em uma empresa ou serviço prestado por ela. Ela compreende uma ampla gama de elementos que vão desde a definição do tamanho e especificações ideais dos veículos até o planejamento de rotas, controle de custos, manutenção e renovação da frota. Uma ênfase particular é dada à manutenção, não apenas para corrigir falhas já existentes, mas como uma medida preventiva crucial para evitar problemas futuros. Vivaldini, Pires e Souza (2012) enfatizam que os sistemas de gestão de frotas desempenham um papel central ao fornecerem informações valiosas que auxiliam nas tomadas de decisão relacionadas ao controle e monitoramento dos recursos utilizados nos transportes. Metodologia que envolve compreender o papel dos Prestadores de Serviços Logísticos (LSPs) e sistemas de rastreamento e gestão de frotas, que permitem compreender a relação entre sistemas de rastreamento, controle de frete e gestão do serviço ao cliente, como podemos ver na Figura 4.

Figura 4: Relação entre o gerenciamento de frotas e sistemas de monitoramento com serviços logísticos



Fonte: Vivaldini, Pires e Souza (2012).

2.4. Demanda e Oferta

A relação entre demanda e oferta é um elemento fundamental na gestão de operações e estratégia de negócios, com implicações significativas nas operações das empresas. Como citado por Proud (1999), a demanda representa todas as necessidades por um produto ou componente, podendo ser originada de diversas fontes, incluindo pedidos de clientes ou previsões baseadas em relatórios de vendas. A oferta, por outro lado, é a quantidade de bens disponíveis para utilização, seja como reposição planejada ou em resposta à demanda.

Essa relação entre demanda e oferta pode ocorrer em dois cenários distintos, conforme Proud (1999) demonstrado na Figura 5:

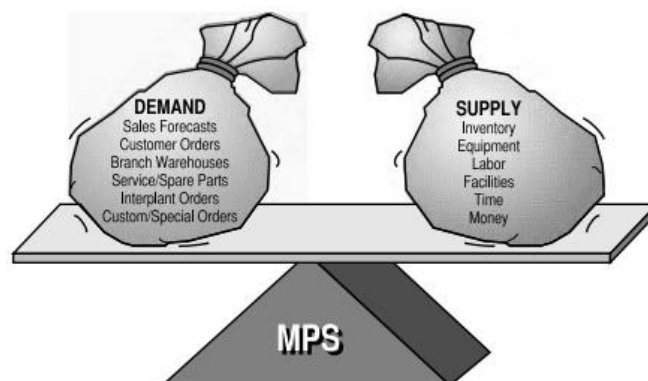
(1) Demanda > Oferta:

Neste cenário, a demanda excede a oferta, o que pode acarretar diversos desafios operacionais, como atrasos na entrega, riscos para a imagem da empresa, aumento dos custos de produção devido às horas extras ou transporte expresso não planejado, e possivelmente uma diminuição na qualidade do produto.

(2) Oferta > Demanda:

No cenário oposto, em que a oferta supera a demanda, isso pode resultar em aumentos nos níveis de estoque, queda na produtividade devido à paralisação da demanda e diminuição das margens de lucro devido à necessidade de oferecer descontos e promoções para escoar o estoque.

Figura 5: Balança entre Oferta e Demanda



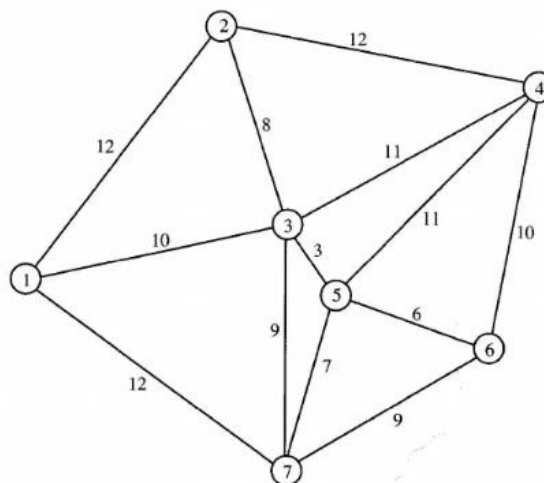
Fonte: Proud (1999).

Em uma operação logística estrategicamente localizada, a precisão na previsão de vendas é vital. Ela impacta diretamente a eficiência operacional, permitindo um gerenciamento otimizado de estoque, produção e recursos financeiros. Uma previsão precisa possibilitar a redução de custos logísticos, aprimora o planejamento de produção, facilita decisões orçamentárias fundamentadas e eleva o atendimento ao cliente, garantindo não apenas a disponibilidade oportuna de produtos, mas também a satisfação do cliente e a rentabilidade do negócio.

2.5 Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO), segundo Hillier e Lieberman (2013), é uma metodologia usada para resolver problemas complexos de decisão em organizações. Envolve etapas como definir o problema, formular um modelo matemático, desenvolver um procedimento para resolvê-lo e implementar as soluções propostas. É crucial envolver os tomadores de decisão desde o início e coletar dados relevantes, muitas vezes usando técnicas como mineração de dados para lidar com grandes conjuntos de informações. No âmbito da PO, problemas complexos podem não ter solução ótima viável. Para isso, métodos heurísticos, como as meta-heurísticas, são usados. Eles buscam encontrar soluções viáveis próximas do ideal para problemas específicos, como o famoso "Problema do Vendedor Itinerante", ou "Problema do Caixeiro Viajante". Nesse problema, o vendedor precisa visitar cidades exatamente uma vez, minimizando a distância total percorrida durante um circuito, apresentando em Figura 6.

Figura 6: Exemplo de um problema do “Caixeiro Viajante”

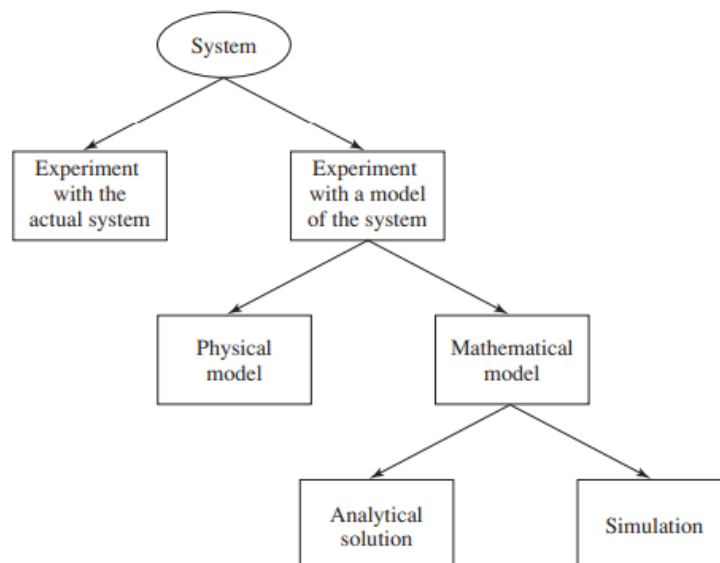


Esse problema é representado por cidades (nós) e suas conexões (arestas) em um grafo, onde cada aresta possui um valor associado, como distância ou tempo entre as cidades. O objetivo é encontrar a rota mais eficiente que visite todas as cidades uma vez e retorne à cidade de origem.

2.6 Simulação Computacional

A simulação computacional é uma ferramenta valiosa para compreender o funcionamento de sistemas complexos, permitindo a análise de diferentes cenários. Envolve a criação de modelos que replicam o comportamento de sistemas reais (Silva, 2005). Na prática, o significado de "sistema" depende dos objetivos de um estudo específico. O conjunto de entidades que compõe um sistema em um estudo pode ser apenas um subconjunto do sistema geral em outro. O estado de um sistema é definido como a coleção de variáveis necessárias para descrever um sistema em um momento específico, em relação aos objetivos de um estudo. Nesse sentido, Law (2007) classifica os sistemas em dois tipos: discretos e contínuos. Um sistema discreto é aquele em que as variáveis de estado mudam instantaneamente em pontos separados no tempo. Um sistema contínuo é aquele em que as variáveis de estado mudam continuamente em relação ao tempo. Poucos sistemas na prática são completamente discretos ou completamente contínuos, mas como um tipo de mudança predomina na maioria dos sistemas, geralmente será possível classificar um sistema como sendo discreto ou contínuo. A Figura 7 mapeia diferentes maneiras pelas quais um sistema pode ser estudado.

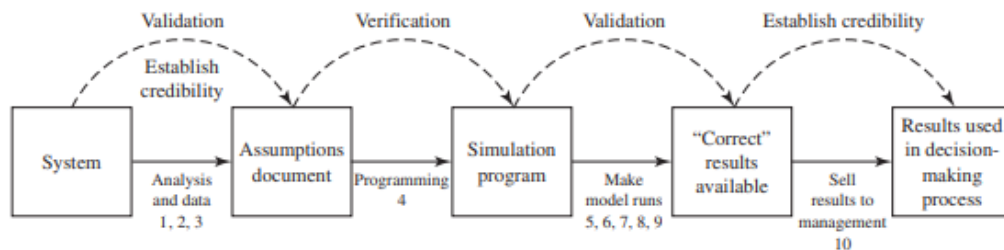
Figura 7: Abordagens para o estudo de um sistema



Fonte: Law (2007).

No entanto, é importante observar que a simulação fornece estimativas que requerem validação cuidadosa, pois os resultados podem variar de acordo com as execuções do modelo conforme Law (2007). A Figura 8 ilustra a relação temporal e as interações entre validação, verificação e estabelecimento de credibilidade. Ela representa os estados do modelo ou sistema, indicando as ações necessárias para transição entre esses estados e onde os conceitos de validação, verificação e credibilidade são mais aplicados. A validação, contrastada com a análise de saída, visa estimar as verdadeiras medidas de desempenho do modelo de simulação, incluindo a duração da simulação, o período de aquecimento e o número de execuções independentes do modelo.

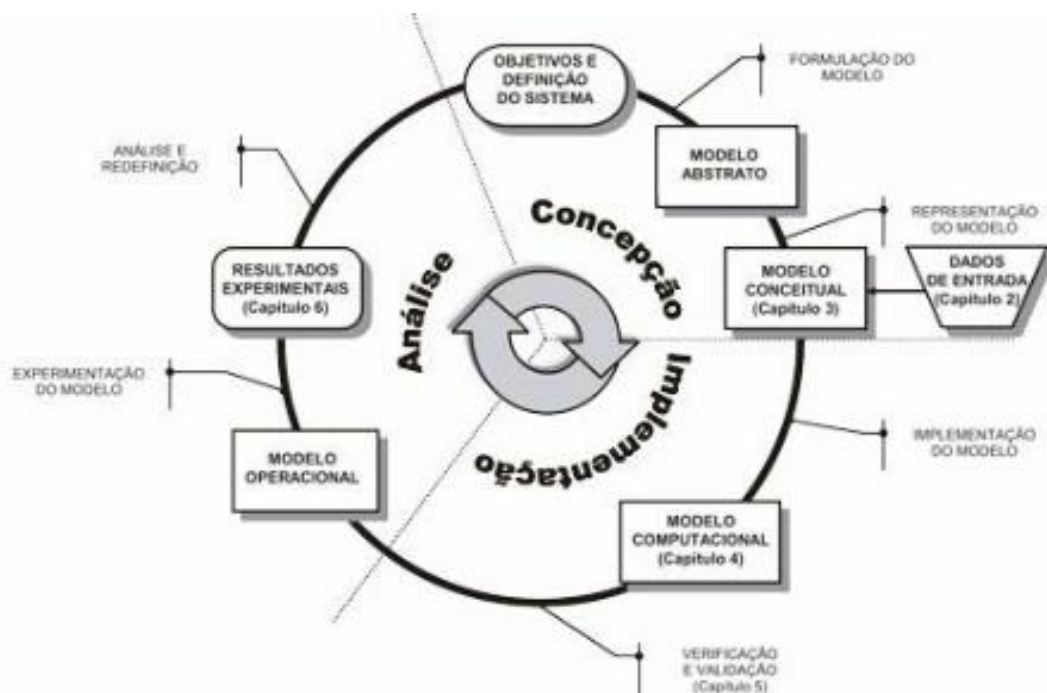
Figura 8: Relação temporal e as interações entre validação, verificação e estabelecimento de credibilidade



Fonte: Law (2007).

Para desenvolver um projeto de simulação, é essencial seguir três etapas: formulação do modelo, implementação do modelo e análise dos resultados (Chwif e Medina, 2015) como abordado na Figura 9. Cada fase requer atenção cuidadosa e validação para garantir resultados confiáveis. Isso inclui definir o escopo, hipóteses e a coleta de dados adequados para alimentar o modelo. Na etapa de implementação, o modelo conceitual é traduzido em um modelo computacional, comparando-se os dois para validação. Por fim, na fase de análise, ocorrem os experimentos com múltiplas execuções do modelo, resultando em análise e documentação dos resultados para gerar conclusões e recomendações sobre o sistema. É importante notar que essas etapas não seguem uma sequência linear e podem envolver iterações e realimentações no processo, especialmente diante de mudanças no entendimento do problema a ser simulado.

Figura 9: Metodologia baseado na concepção, implementação e análise de resultados



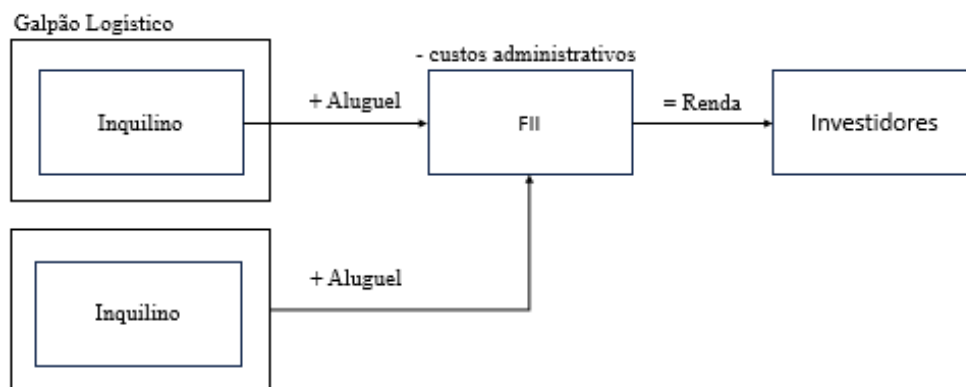
Fonte: Chwif e Medina (2015).

2.7 Fundos de Investimento Imobiliário

De acordo com a Instrução CVM 472, de 31 de outubro de 2008, que estabelece as diretrizes para Fundos de Investimentos Imobiliários (FIIs), esses fundos representam a reunião de recursos obtidos através do sistema de distribuição de valores mobiliários, voltados para a aplicação em empreendimentos imobiliários. Os FIIs desempenham um papel crucial no cenário econômico brasileiro, atuando como veículos de investimento, especialmente no setor logístico. Estes fundos funcionam como meios de captação de recursos destinados ao mercado imobiliário e são constituídos por uma carteira de ativos, que engloba propriedades como imóveis comerciais, residenciais, shoppings, galpões logísticos, entre outros. Gerenciados por instituições financeiras, os FIIs estão sujeitos à regulamentação da Comissão de Valores Mobiliários (CVM). Operando como um consórcio de investidores, os cotistas adquirem cotas do fundo, e o patrimônio total é investido em ativos imobiliários. Os rendimentos provenientes desses ativos são periodicamente distribuídos aos cotistas sob a forma de dividendos. Podemos visualizar na Figura 10, o funcionamento básico de um Fundo de Investimento Imobiliário (FII) envolve o pagamento de aluguéis por parte do inquilino do galpão logístico. Esse valor recebido do inquilino é repassado ao FII, que, por sua vez, cobra taxas administrativas para a gestão do fundo. Essas taxas são destinadas a cobrir os custos de administração, gestão, manutenção e

possíveis melhorias nos imóveis do fundo. Após a dedução das taxas administrativas, o valor restante é distribuído aos investidores do FII, geralmente de forma periódica, como dividendos. Essa distribuição pode ocorrer mensalmente, trimestralmente ou em outros intervalos, dependendo das políticas do fundo. É através desses dividendos que os investidores recebem o retorno sobre o investimento no FII, baseado nos rendimentos provenientes dos aluguéis dos imóveis que compõem o portfólio do fundo.

Figura 10: Funcionamento básico de um FII de galpão logístico



Fonte: Autoria própria.

A relevância dos FIIs no contexto logístico brasileiro é notável. Entre eles, destacam-se a estabilidade econômica evidenciada a partir dos anos 90, em parte graças às medidas implementadas para controlar a inflação, como o Plano Real, avanços nas leis reguladoras do setor imobiliário e o aumento dos investimentos estrangeiros, resultado das crises econômicas em países desenvolvidos (Ferreira, 2011). Investir em imóveis envolve aspectos tanto de consumo quanto de investimento, sendo essenciais tanto para moradia como para o portfólio de investimento das famílias. A integração entre decisões de consumo e investimento imobiliário pode limitar a otimização das escolhas de um investidor nesse mercado. No entanto, os FIIs oferecem uma solução ao permitir que os investidores otimizem suas decisões de consumo e investimento, oferecendo maior acessibilidade, especialmente para pequenos investidores, que podem aplicar nesse segmento por meio de frações de imóveis (Valim, 2013). Kucko (2007) também ressalta que as vantagens dos FIIs em termos de diversificação, liquidez, custos e retornos reais contribuem significativamente para explicar seu sucesso como instrumentos de poupança. Com um ambiente econômico e social favorável, o setor imobiliário prosperou, levando o mercado de capitais a lançar produtos financeiros mais simples e com menor

burocracia, aumentando a popularidade dos FIIs entre os investidores desse tipo de aplicação (Franke, 2012).

Os FIIs oferecem uma maneira eficiente e acessível para investidores de diferentes portes acessarem o mercado imobiliário logístico, que frequentemente requer investimentos substanciais. Como resultado, eles desempenham um papel estratégico na expansão e modernização do setor logístico, contribuindo para o crescimento econômico do país, e a escolha minuciosa de um FII com galpões bem localizados se torna elemento crucial para o investidor.

2.8 Ferramentas selecionadas para resolver o problema

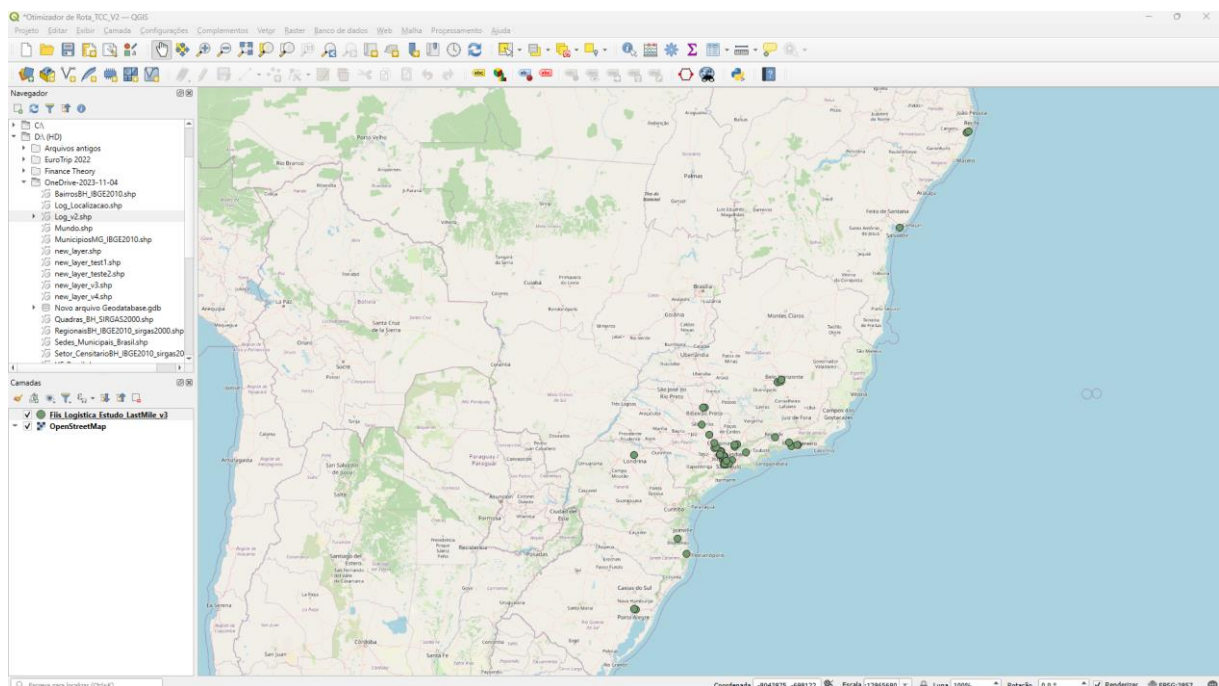
Neste estudo, a ferramenta de simulação desempenha um papel crucial na análise de pesquisa operacional e logística. A simulação é uma técnica que envolve a imitação de operações ou processos do mundo real para estudar o comportamento de um sistema por meio de um modelo. Os modelos de simulação usam parâmetros reais para analisar as características operacionais e prever o impacto no desempenho. Conforme destacado por Silva (2005) e Miyagi (2006), o avanço da tecnologia e o surgimento de novos equipamentos e linguagens de simulação impulsionaram a utilização dessa técnica em diversas áreas, incluindo a projeção e análise de sistemas, avaliação de desempenho e administração de sistemas de transporte. De acordo com Law e Kelton (1991), existem duas principais classes de software de simulação: linguagens de simulação e simuladores. As linguagens de simulação são pacotes genéricos que oferecem flexibilidade para modelar qualquer tipo de sistema, mas exigem conhecimentos específicos de programação. Por outro lado, os simuladores são pacotes que simplificam a modelagem de sistemas específicos com menos programação, proporcionando facilidade de uso.

No contexto da análise do impacto da localização de galpões, o software QGIS foi selecionado como um "simulador", como ilustrado na Figura 11, utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto. O QGIS oferece um conjunto robusto de ferramentas para análise espacial, sendo fundamental para investigações nesse âmbito. Essa escolha é respaldada por autores proeminentes como Longley et al. (2005) em "Geographic Information Systems and Science", os quais ressaltam a relevância das análises espaciais detalhadas no contexto de SIG. O QGIS possibilita a importação de dados geoespaciais, incluindo informações sobre a localização dos galpões logísticos, fábricas, estradas e outros

elementos relevantes. Uma vez que esses dados estejam disponíveis, é possível explorar de forma abrangente como a distribuição e a proximidade dos galpões logísticos.

Através das funcionalidades do QGIS, podem-se realizar análises espaciais que abrangem desde a identificação de áreas de cobertura dos galpões até a avaliação de rotas de transporte e suas eficiências. O uso de camadas geoespaciais permite visualizar a localização dos galpões em relação a centros de produção e mercados de consumo.

Figura 11: Tela principal do QGIS

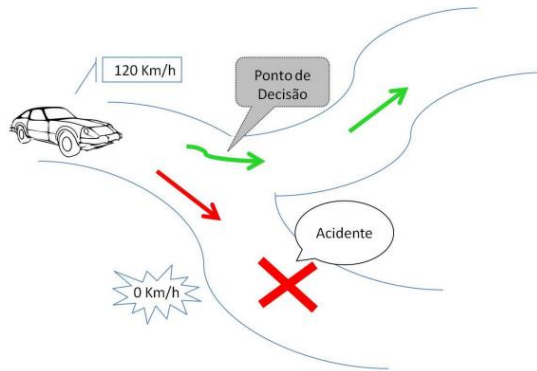


Fonte: Autoria própria.

Para calcular distâncias entre os galpões logísticos e outros locais de interesse, como fábricas e centros de distribuição, a ferramenta "Distance Matrix" é fundamental. A matriz de distância gerada por essa ferramenta proporciona informações cruciais para a tomada de decisões logísticas. Barreira (2016) discute a importância do cálculo de distâncias precisas na logística e suas implicações para o planejamento de rotas comparando diversos algoritmos utilizados para otimização de rotas logísticas, destacando a determinação dos custos envolvidos na definição da rota. Esses custos, como velocidade, distância, consumo de combustível e preço, possuem pesos diferentes dependendo das preferências do usuário (curta, rápida, econômica). Em uma análise mais aprofundada, se há um acidente em uma estrada e o usuário deseja a rota mais rápida, o custo da velocidade passa a ser o foco principal no cálculo da rota ideal, descartando a rota afetada pelo acidente. Porém, se a preferência for a rota mais curta, mesmo

com um evento como um acidente, essa rota não é descartada, pois continua sendo considerada a rota ideal. Quando há bloqueios no trânsito, o sistema busca alternativas, mesmo que a única opção disponível seja a rota mais longa como podemos observar na Figura 12.

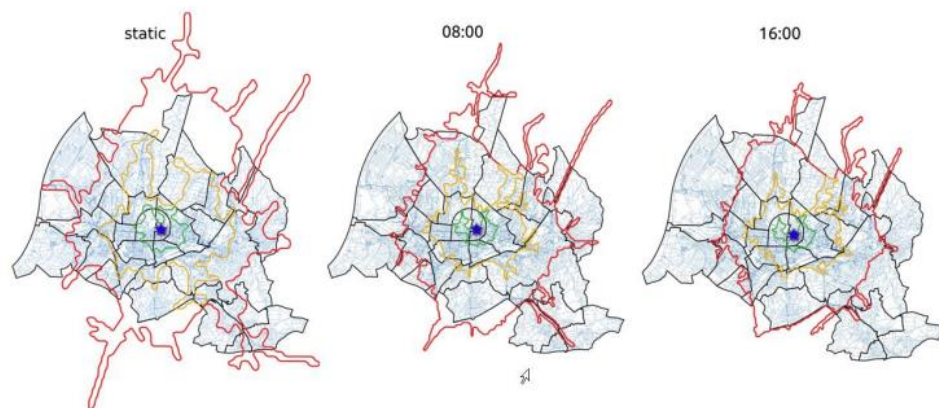
Figura 12: Exemplo de um evento a ocorrer



Fonte: Barreira (2016).

A criação de mapas isócronos, que representam áreas alcançáveis a partir de um ponto central em um determinado período, é uma técnica valiosa para avaliar a acessibilidade e eficiência logística. Com o QGIS, é possível configurar mapas isócronos que destacam regiões que podem ser alcançadas dentro de tempos específicos a partir dos galpões logísticos. Autores como Li, Budde e Bruns (2021) destacam o uso de mapas isocrômicos como ferramenta essencial para analisar e visualizar a relação entre movimento e tempo em várias situações urbanas como visto na Figura 13.

Figura 13: Visualização no mapa das isócronas calculadas. A isócrona estática (à esquerda) não leva em consideração a situação do tráfego, enquanto as dinâmicas o fazem

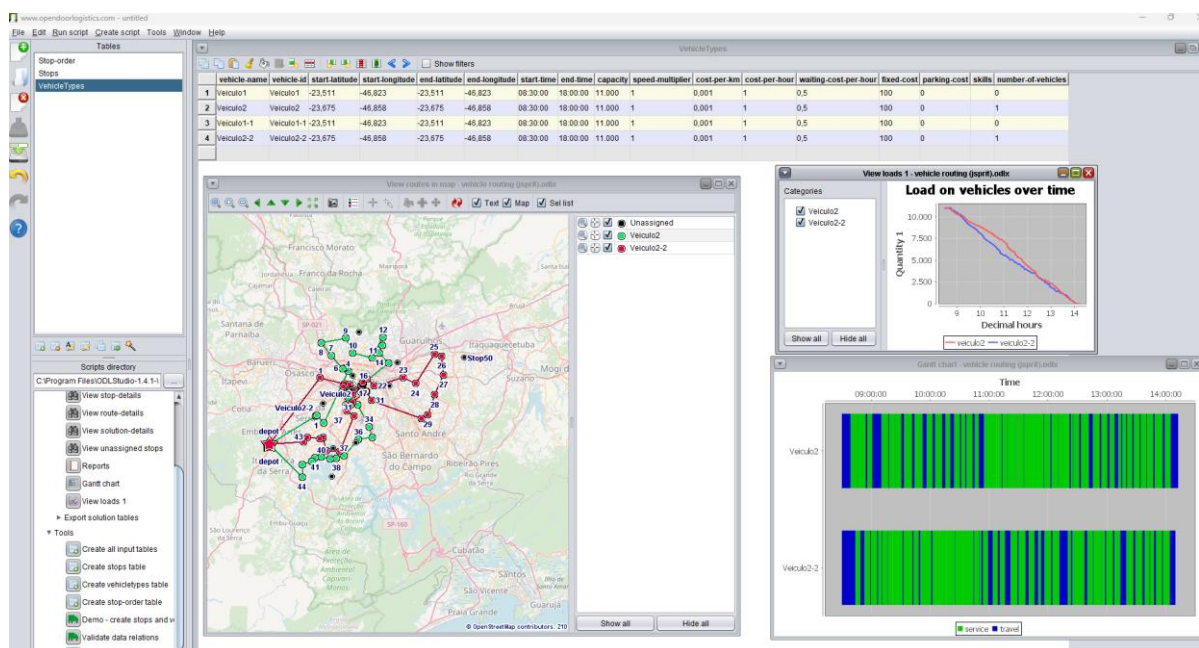


Fonte: Li, Budde e Bruns (2021)

Esses mapas têm sido empregados para diversas finalidades, como comparar a acessibilidade de diferentes locais por diferentes modos de transporte, visualizar desigualdades de acesso e analisar os efeitos de mudanças potenciais para planejamento urbano e de transporte enfatizando a importância de entender a origem e o grau de incerteza nos mapas isócronos, destacando que o nível aceitável de incerteza depende do contexto da aplicação.

Ainda, foi usado o software OpenDoorLogistics (ODL) na Figura 14 que se utiliza de uma aplicação de roteamento de veículos e mapeamento de territórios.

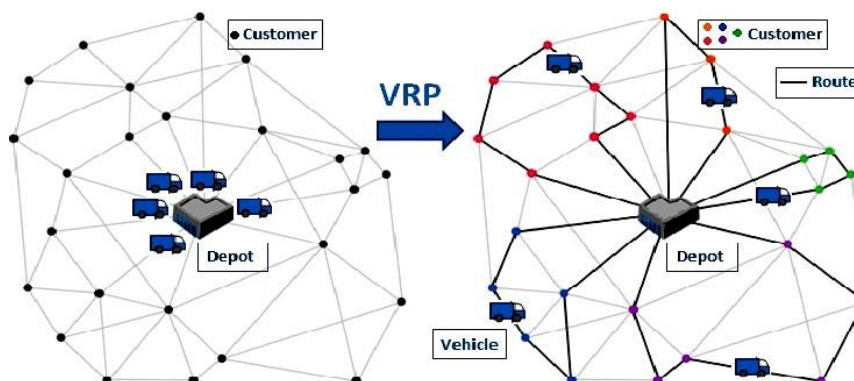
Figura 14: Tela principal do OpenDoorLogistics



Fonte: Autoria Própria

Neste contexto, temos a cerne do problema, sendo o Problema de Roteamento de Veículos (VRP, na sigla em inglês) que é uma questão crítica na otimização de trajetos de veículos onde as rotas dos veículos começam e terminam em um ponto central ao visitar apenas um cliente, como podemos ver na Figura 15 apresentado por Gupta e Saini (2017).

Figura 15: Problema clássico de VRP



Fonte: Gupta e Saini (2017)

3 METODOLOGIA

Este capítulo abrange as percepções teóricas de abordagem e o conjunto de técnicas que permitem construir a realidade. Ele define os métodos e tipos de pesquisa utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Conforme Gil (2007), a pesquisa científica é um procedimento racional e sistemático que visa fornecer respostas a problemas propostos. A pesquisa é conduzida através de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados. Além disso, a pesquisa científica pode ser classificada quanto à finalidade, natureza, objetivos, métodos e procedimentos.

No que se refere à finalidade da pesquisa, este estudo se enquadra como pesquisa aplicada, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009). A pesquisa aplicada busca gerar conhecimento para aplicação prática, com o objetivo de solucionar problemas específicos, abrangendo verdades e interesses locais. A pesquisa experimental, conforme destacado por Fonseca (2002), envolve a seleção de grupos de sujeitos semelhantes que passam por tratamentos diferentes, analisando as variáveis resultantes e verificando se as diferenças são estatisticamente significativas. Portanto, a classificação deste estudo se enquadra como pesquisa de laboratório, uma vez que visa compreender as relações de causa e efeito em um ambiente controlado. Para desenvolver instrumentos de coleta de dados, são necessários testes de eficácia na medição da proposta da pesquisa.

Quanto à natureza da pesquisa, ela se enquadra como pesquisa quantitativa. De acordo com Fonseca (2002), a pesquisa quantitativa fornece resultados quantificados e enfoca a objetividade. Essa abordagem utiliza a quantificação na coleta de informações e no seu tratamento, empregando técnicas estatísticas, conforme mencionado por Michel (2005). Este

estudo se enquadra como pesquisa explicativa, de acordo com Gil (2007). A pesquisa explicativa visa identificar os fatores determinantes ou contribuintes para a ocorrência de fenômenos, como complementado por Zanella (2013), que descreve o processo de registro, análise, classificação e interpretação dos fenômenos estudados para identificar seus fatores determinantes.

A pesquisa se classifica como pesquisa transversal, uma vez que os dados foram coletados em um curto período, como descrito por Rouquayrol (1994).

A modelagem e simulação são os métodos de pesquisa escolhidos. Conforme Law (2007), a simulação permite criar e experimentar um sistema por meio de um modelo matemático computacional, sendo uma ferramenta valiosa para analisar sistemas complexos que não permitem avaliação analítica. A coleta de dados foi realizada por meio de observação in loco e entrevistas com colaboradores da empresa. Essas ferramentas forneceram informações primárias, dados e variáveis necessários para o desenvolvimento do estudo, seguindo as diretrizes de Fonseca (2002).

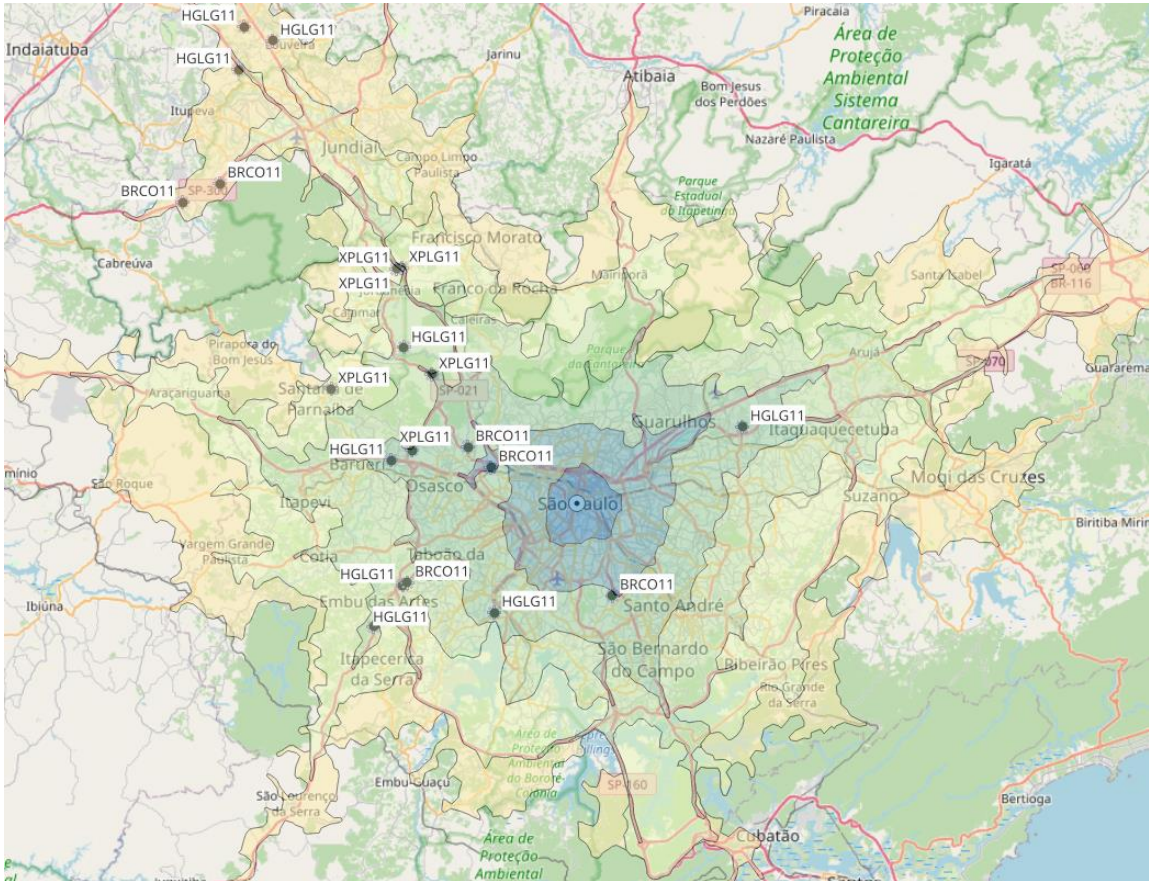
O resultado da pesquisa é classificado como modelagem de sistemas e processos. Vernadat (1996) descreve a modelagem de processos como um conjunto de atividades para criar um ou mais modelos que representam, comunicam, analisam, sintetizam, apoiam a tomada de decisão ou controlam um sistema. Esse enfoque proporciona uma melhor compreensão e representação uniforme da empresa, permitindo um controle mais eficaz de suas operações, conforme destacado por Prado (2009).

3.1 Contextualizar o tipo de problema a resolver

No início, foi desenvolvido um mapa isócrono no QGIS, representando visualmente as áreas alcançáveis a partir do marco polo na cidade de São Paulo. Esse mapa foi criado usando um otimizador de rota fornecido pelo openrouteservice.com, reconhecido por sua variedade de serviços robustos para cálculos de rotas e distâncias entre múltiplos pontos. Essa abordagem permitiu uma análise eficiente das distâncias, tempos de trajeto e ofereceu uma visão abrangente da influência da densidade urbana das ruas de São Paulo. A capacidade do sistema de processar matrizes possibilita calcular esses dados de forma mais ágil do que recorrer repetidamente à API de direções. Essa aplicação é altamente valorizada por organizações logísticas em busca da rota mais otimizada para suas entregas, viabilizando uma gestão eficaz da logística e um planejamento de rotas mais eficiente. Nesse sentido, podemos ver na Figura 16, as camadas

intervaladas até 60 minutos para todos os pontos de São Paulo/SP, do ponto central apresentado, com um intervalo e 10 em 10 minutos. E para uma melhor visualização da distribuição de alguns galpões logísticos dos FIIs, foi atribuído também as devidas localizações no mapa na Tabela 1.

Figura 16: Mapa isócrono intervalado de 10 em 10 minutos do marco polo de São Paulo/SP.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1: Localizações variáveis dos Galpões de FIIs na RMSP

Fundo	Imóvel	Área (m²)	Latitude	Longitude
HGLG11	DCR – Distribution Center Rodoanel	77.587	-23,63369	-46,82653
HGLG11	CLE – Centro Logístico Embu	66.521	-23,67519	-46,85829
HGLG11	DCB - Distribution Center Barueri	90.484	-23,50746	-46,83897
HGLG11	DCC – Distribution Center Cajamar	102.708	-23,39322	-46,82546
XPLG11	Especulativo Cajamar	125.717	-23,31262	-46,82770
XPLG11	CD Leroy Cajamar	110.209	-23,31356	-46,83291
XPLG11	CD B2W	82.049	-22,69806	-43,70009
XPLG11	Syslog SP	66.378	-23,42043	-46,79419
XPLG11	SBP - Santana Business Park	50.181	-23,43507	-46,90533
XPLG11	WTTP2 - WTTP II	24.654	-23,49759	-46,81623
XPLG11	Especulativo Extrema - Fase 1	15.027	-22,79551	-46,33331
XPLG11	CD Leroy Expansão	21.349	-23,31356	-46,83291

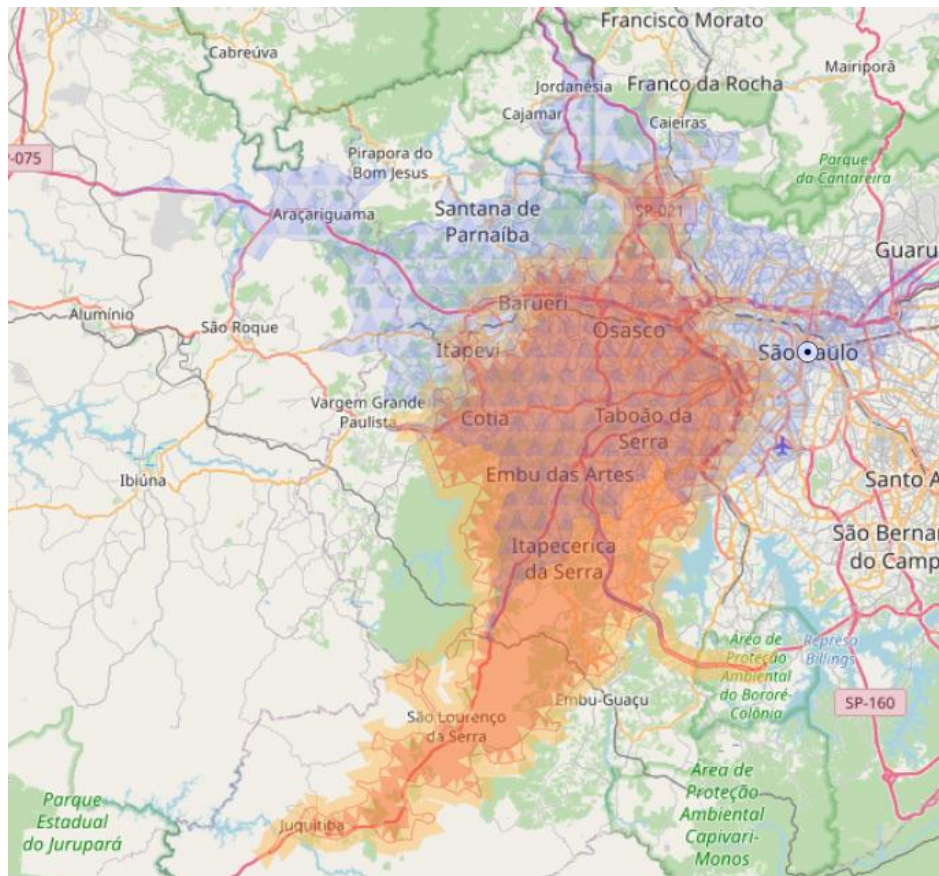
BRCO11	Whirlpool São Paulo	50953	-23,64412	-46,59567
BRCO11	HUB Natura Itupeva	34845	-23,24623	-47,06885
BRCO11	GPA CD04 São Paulo	35510	-23,49387	-46,75479
BRCO11	Bresco Embu	18082	-23,63087	-46,82155
BRCO11	GPA CD06 São Paulo	53765	-23,51435	-46,72928
...	...	...	...	...

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os padrões de acessibilidade a partir de um ponto central na cidade de São Paulo, torna-se evidente que as regiões abrangidas pelos primeiros intervalos de 10 e 20 minutos não conseguem alcançar nenhuma localização dos galpões mapeados. No entanto, à medida que se expande para os patamares de 30 e 40 minutos, observa-se que alguns galpões têm a capacidade de atender o ponto central da cidade. Os intervalos de 50 e 60 minutos abrangem praticamente toda a extensão da cidade de São Paulo. Um aspecto crucial destacado pelo otimizador é a presença de galpões localizados às margens das estradas e em regiões mais afastadas, conferindo-lhes uma vantagem devido ao escoamento facilitado pelas estradas. Essa análise revela que as extremidades da última camada isócrona seguem um padrão assimétrico em relação às camadas isócronas mais centrais, evidenciando a influência da localização estratégica dos galpões em relação à rede viária na acessibilidade e distribuição eficiente na cidade.

Na análise “inversa”, focando em galpões específicos do HGLG11, o Centro Logístico Embu (CLE) e o Distribution Center Barueri (DCB), traçamos os mapas isócronos para entender seu alcance e distribuição (Sumário Executivo dos galpões disponíveis em Anexo A e Anexo B). Observando as regiões mapeadas até 30 minutos, percebe-se que apenas o galpão de Barueri teria a capacidade de realizar entregas ao marco zero de São Paulo nesse intervalo de tempo. No entanto, a análise se estende para compreender a influência das estradas na capacidade de cobertura. As linhas laranjas mais alongadas mostram uma conexão mais eficiente desses galpões com áreas distantes, destacando a importância das vias de acesso na determinação da capacidade de atendimento dos galpões em diferentes regiões da cidade como podemos ver na Figura 17.

Figura 17: Mapa isócrono do CLE e DCB de 30 minutos de cobertura



Fonte: Autoria própria.

Essa análise evidencia a complexidade das operações logísticas e a relevância de variáveis-chave no processo de entrega de produtos. Aspectos como o número de veículos envolvidos na logística, a capacidade dos caminhões, a definição de rotas consideradas "ótimas", as ineficiências decorrentes da não entrega de alguns produtos e a otimização de múltiplas emergem como desafios cruciais a serem enfrentados. A otimização desses elementos se torna fundamental para garantir uma distribuição eficiente, reduzir custos operacionais e minimizar as falhas que podem comprometer a qualidade do serviço. Além disso, a análise também sugere a importância de considerar a influência das condições das estradas e a localização estratégica dos galpões na melhoria da cobertura e na eficiência geral das operações logísticas.

3.2 Variáveis da questão da pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi utilizado o OpenDoorLogistics (ODL), uma aplicação para desktop que oferece soluções de roteamento de veículos e mapeamento/gestão de territórios. Permite gerar rotas de entrega para um dia, revisá-las e imprimir relatórios. Essa

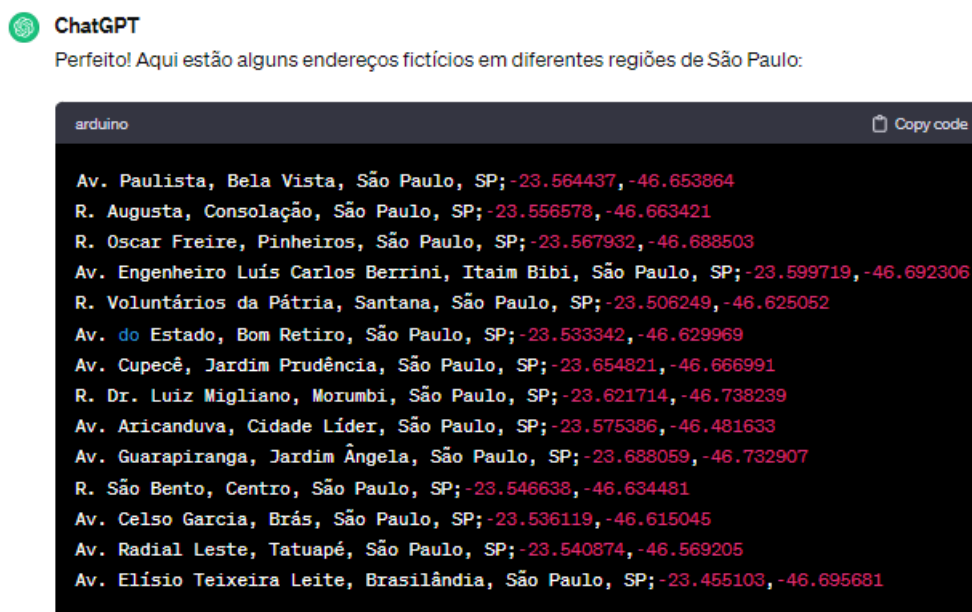
ferramenta utiliza a biblioteca de roteamento de veículos jsprit para proporcionar capacidades de roteamento e agendamento. Com a integração do jsprit, é possível planejar rotas eficientes para uma frota de entrega atender pontos específicos. É viável editar essas rotas com um editor de roteamento intuitivo de arrastar e soltar, analisá-las de diversas formas, inspecioná-las em um mapa ou exportar relatórios detalhados.

O processo começa com a criação de dados de demonstração no ODL Studio, utilizando uma planilha do Excel. O software permite a configuração de parâmetros como paradas, tipos de veículos e a geração de gráficos de carregamento nos veículos ao longo do tempo, gráficos de Gantt e mapas para visualizar as rotas planejadas. Além disso, é possível analisar estatísticas das rotas, exportar os dados para a planilha do Excel e até mesmo gerar relatórios em formato PDF. Para realizar o roteamento, o ODL Studio utiliza a tabela de paradas (Stops) e a tabela de tipos de veículos (VehicleTypes) em uma planilha do Excel. As paradas contêm informações como localização, horários de serviço, quantidade de carga e habilidades necessárias, enquanto os tipos de veículos descrevem características como capacidade, custos e horários de operação. É importante ressaltar que o ODL Studio trabalha globalmente, embora a qualidade dos dados de rede viária do OpenStreetMap, utilizados pelo software, varie de país para país. A ferramenta também exige coordenadas geográficas precisas das paradas para o planejamento correto das rotas. O ODL Studio oferece diversas funcionalidades avançadas, como a definição de tipos de trabalho com diferentes características, a inclusão de entregas vinculadas (pickups e deliveries), a configuração do número de iterações para otimização das rotas e a definição do uso de distâncias em rede viária real ou distâncias em linha reta.

3.3 Extração de dados

Para aprimorar o modelo, foram inseridas variáveis locais, como latitudes e longitudes, na área de estudo. Utilizando o ChatGPT, uma base de dados diversificada foi modelada, buscando uma ampla gama de endereços e evitando redundâncias em áreas próximas. Foram considerados fatores como tempo necessário para serviço e descarga, variedade de tamanhos de lote de entrega, assim como diferentes horários de início e término para garantir a eficiência na entrega dos produtos. O padrão do OpenDoorLogistics entrega exemplos para estressar o modelo em países como Inglaterra e Estados Unidos, mas não sendo explorado no Brasil. Por isso, a definição de parâmetros no modelo de A.I pelo ChatGPT entrega uma aproximação quanto a variações em localizações, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18: Output de dados gerado pelo ChatGPT



Fonte: Autoria própria.

Após a entrega dessa base de dados, foi posto na Tabela 2 de “Stops” no software. Nesse caso foram utilizadas 100 entregas para efeito do modelo que pode ser vista por completo no Apêndice A.

Tabela 2: Parte do *input* de dados para o otimizador de rotas

Entrega	Endereço	Latitude	Longitude	Tempo de descarga	Horário início	Horário final	“Tamanho”
Stop1	A	-23,56593	-46,65655	00:07:00	09:00:00	18:30:00	201
Stop2	B	-23,63398	-46,73632	00:06:00	08:30:00	17:45:00	220
Stop3	C	-23,60327	-46,66235	00:08:00	10:15:00	18:00:00	180
Stop4	D	-23,59795	-46,69054	00:05:00	09:45:00	17:15:00	250
Stop5	E	-23,56666	-46,68458	00:09:00	08:00:00	16:45:00	190
Stop6	F	-23,67187	-46,67638	00:06:00	08:45:00	17:30:00	195
Stop7	G	-23,56861	-46,68750	00:08:00	09:30:00	18:15:00	205
Stop8	H	-23,58639	-46,68195	00:07:00	08:15:00	17:00:00	230
...	...	...	...	...	...	...	...

Fonte: Autoria própria.

Para utilização de dois diferentes lugares de análise, foi necessário o uso de veículos de partida e chegada no mesmo ponto. Para análise foi utilizado o galpão e as localizações do galpão HGLG11, o Centro Logístico Embu (CLE) e o Distribution Center Barueri (DCB) como referência aos pontos aleatórios de entregas já gerados e objeto de estudo. A tabela de input nesse caso foi feita de forma manual, com a definição de parâmetros de latitude e longitude,

horário de saída e chegada, capacidade do veículo, bem como alguns parâmetros padrões financeiros como podemos ver na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros de input para capacidade e número de veículos utilizado no otimizador de rota

ID do Veículo	Lat. Início	Long.de Início	Lat. de Fim	Long. de Fim	Hora de Início	Hora de Término	Capacidade	#Veículos
Veiculo1	-23,511	-46,823	-23,511	-46,823	08:30:00	18:00:00	A	F
Veiculo2	-23,675	-46,858	-23,675	-46,858	08:30:00	18:00:00	B	G
Veiculo1-1	-23,511	-46,823	-23,511	-46,823	08:30:00	18:00:00	C	H
Veiculo2-2	-23,675	-46,858	-23,675	-46,858	08:30:00	18:00:00	D	I

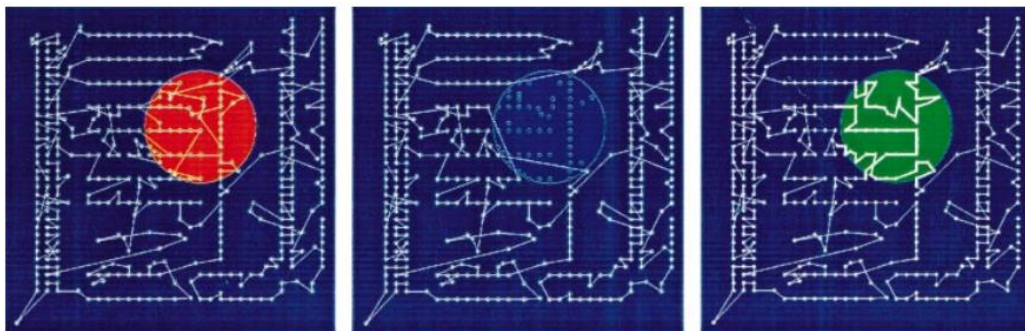
Fonte: Autoria própria

A atribuição de Veiculo1 e Veiculo1-1 se referem aos veículos do galpão Distribution Center Barueri (DCB), e Veiculo2 e Veiculo2-2, se referem aos veículos Centro Logístico Embu (CLE). Para análises futuras podemos alterar os níveis de capacidade dos veículos bem como a utilização ou não deles no modelo. A coluna “Capacidade”, de forma arbitrária, colocado a quantidade máxima de carga, e a coluna “#Veículos”, o número de veículos usados. O restante das colunas representa a latitude de início e retorno para a mesma localidade, com horários de início e fim máximos estipulados.

3.4 Procedimentos e desenvolvimento dos modelos

A abordagem do algoritmo OpendoorLogistics, baseado no jsprit, destaca sua ferramenta de código aberto em Java para resolver problemas complexos, como Roteamento de Veículos (VRP) e o clássico Problema do Caixeiro Viajante (TSP). Esse método faz uso do meta-algoritmo desenvolvido por Schrimpf et al. (2000), aplicando o princípio de arruinar e reconstruir, conforme exemplificado na Figura 19.

Figura 19: Demonstração do princípio de “Arruinar e Reconstruir”



Fonte: Gerhard Schrimpf et al. (2000)

À esquerda, encontramos uma representação inicial ou atual da solução, a qual pode ser considerada relativamente subótima em termos de otimização. No centro da Figura 19, observamos o resultado após uma "ruína radial", na qual uma parte significativa da solução foi perturbada. Essa ruína envolve a remoção de algumas cidades (representadas na área sombreada) do percurso atual e a reconexão das cidades restantes para formar um trajeto mais curto. Essas cidades excluídas já não fazem parte do percurso do caixeiro viajante. O desafio mais complexo ocorre na etapa seguinte, que consiste na reconstrução dessa solução parcial após a ruína, para restaurar uma solução completa para o Problema do Caixeiro Viajante. Há diversas abordagens para reconstruir a parte danificada da solução. Essa reconstrução pode ser conduzida aplicando uma regra de decisão para determinar se devemos aceitar a estrutura reconstruída ou manter a original como em soluções superiores (conhecido como "Algoritmo Guloso"), ou seguindo métodos como o "Simulated Annealing", "Threshold Accepting" ou "Great Deluge".

Nesta implementação, foram utilizadas 500 iterações do algoritmo para buscar soluções de alta qualidade para problemas complexos com muitas restrições, com estratégias de Pisinger e Ropke (2007) se utilizando de, por exemplo do Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS). Nele, várias heurísticas competem para modificar e melhorar a solução atual. Cada iteração escolhe heurísticas para destruir e reparar partes da solução, aceitando o novo resultado se atender a critérios definidos se utilizando de diferentes vizinhanças estruturais definidas por heurísticas específicas.

A lógica para criar o primeiro cenário se baseou em um problema de capacidade e prioridade. Foi parametrizado, portanto, a mesma capacidade para todos os veículos de forma igual na tentativa de atender todos os pedidos que somam 20.686, uma quantidade adimensional estabelecida para o caso. Nesse sentido, utilizamos uma capacidade de 5500 de cada veículo de cada galpão, ou seja, 2 veículos atendendo a 2 galpões.

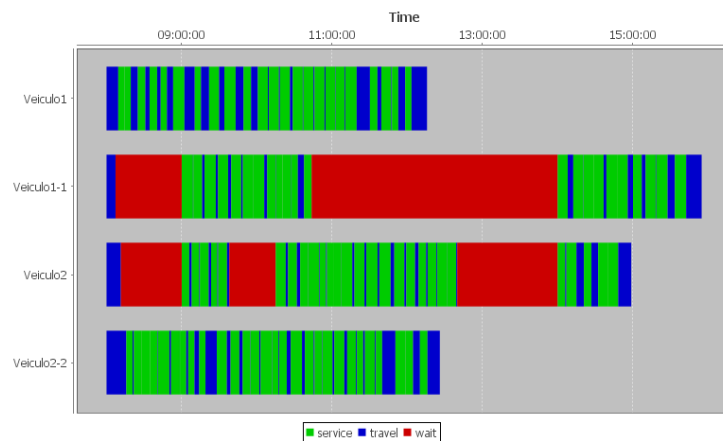
Tabela 4: Parâmetros utilizados para o Cenário 1

ID do Veículo	Lat. Início	Long.de Início	Lat. de Fim	Long. de Fim	Hora de Início	Hora de Término	Capacidade	#Veículos
Veiculo1	-23,511	-46,823	-23,511	-46,823	08:00:00	18:00:00	5500	1
Veiculo1-1	-23,511	-46,823	-23,511	-46,823	08:00:00	18:00:00	5500	1
Veiculo2	-23,675	-46,858	-23,675	-46,858	08:00:00	18:00:00	5500	1
Veiculo2-2	-23,675	-46,858	-23,675	-46,858	08:00:00	18:00:00	5500	1
Total							22.000	4

Fonte: Autoria própria.

Nessa abordagem nota-se uma ineficiência logística uma vez que os horários de cada cliente precisam atender a restrições específicas, como a entrega dos pedidos dentro de intervalos definidos, como manhã (08:00h - 12:00h), horário de almoço (12:00h - 14:00h) e tarde (14:00h - 18:00). Para cada pedido, há uma localização designada. Ao representar essa situação por meio de um “Gantt Chart”, que detalha o tempo dedicado a cada tarefa, foram identificados dois casos de espera prolongada: o Veículo1-1 e o Veículo2 na Figura 20.

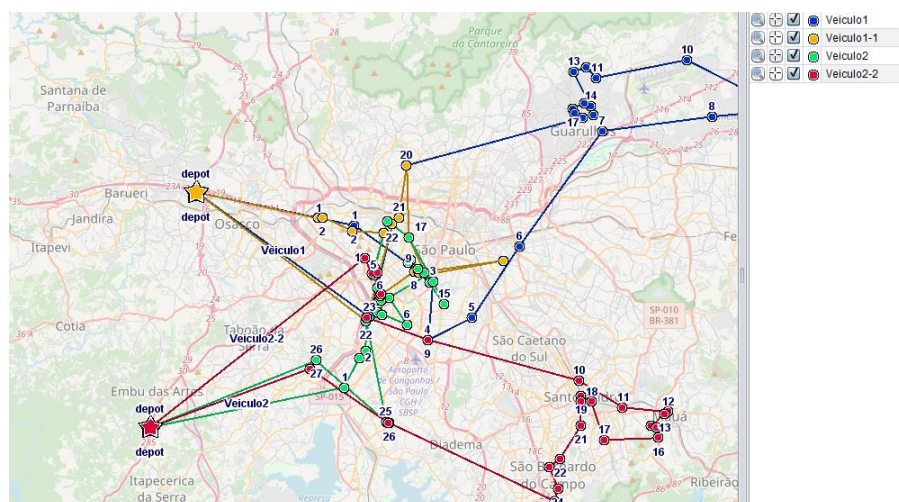
Figura 20: Diagrama de Gantt dos veículos utilizados do Cenário 1 pelo tempo do dia



Fonte Autoria própria.

Essa situação ocorre, pois, as rotas iniciais começam a ser definidas, mas encontram restrição suficiente para esperar e continuar sua rota programada uma vez que outras rotas estão otimizadas. Apesar dessa ineficiência, o mapa de rotas apresentado parece logicamente fazer sentido no que tange a divisão atendida de regiões, como podemos perceber uma clara diferenciação entre regiões centrais de São Paulo, região do ABC e Guarulhos na Figura 21.

Figura 21: Rotas geradas para o Cenário 1



Fonte: Autoria Própria.

Para o segundo cenário foi estabelecido que os dois veículos agora, teriam que dobrar suas capacidades, mas atendendo apenas galpão DCB. Ou seja, foi feito de forma individual uma avaliação quanto a capacidade de “estocagem” somente para um galpão. Ness sentido, fez-se o terceiro cenário, mas para o galpão CLE parametrizados conforme a Tabela 5.

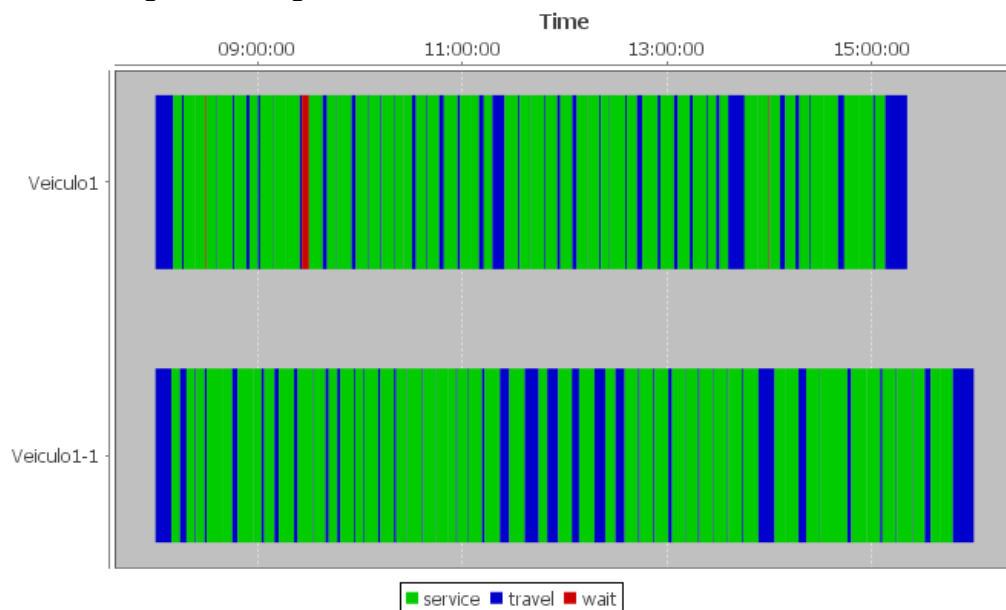
Tabela 5: Parâmetros utilizados para o Cenário 2 e 3

	ID do Veículo	Hora de Início	Hora de Término	Capacidade	#Veículos
Cenário 2	Veiculo1	08:00:00	18:00:00	11000	1
	Veiculo1-1	08:00:00	18:00:00	11000	1
	Veiculo2	08:00:00	18:00:00	0	0
	Veiculo2-2	08:00:00	18:00:00	0	0
Cenário 3	Veiculo1	08:00:00	18:00:00	0	0
	Veiculo1-1	08:00:00	18:00:00	0	0
	Veiculo2	08:00:00	18:00:00	11000	1
	Veiculo2-2	08:00:00	18:00:00	11000	1

Fonte: Autoria própria.

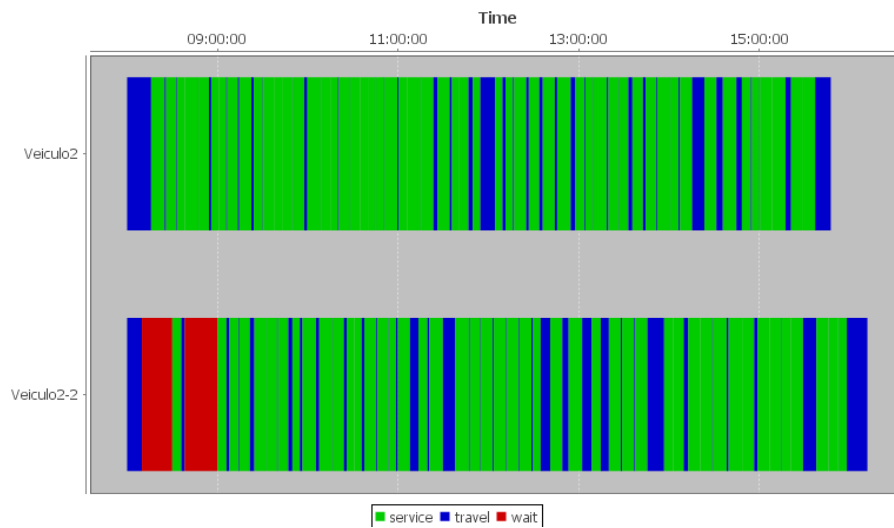
A complexidade do sistema de entrega se mostra eficiência para o Cenário 2, uma vez que composição de estocagem se beneficia de uma rota sem pausas, evidentemente, em um cenário de um galpão mais próximo de todas as entregas, observado na Figura 22. O problema encontrado para o Cenário 3 é de uma composição que enfrenta no começo de seu roteiro entregas que “valem a pena o tempo de espera” para continuar com sua rota sem paradas adicionais conforme as listras vermelhas aparecem na Figura 23 de forma mais espessa evidenciando certamente maior tempo uma vez plotado em relação ao tempo.

Figura 22: Diagrama de Gantt dos veículos utilizados do Cenário 2



Fonte: Autoria própria.

Figura 23: Diagrama de Gantt dos veículos utilizados do Cenário 3



Fonte: Autoria própria.

O quarto cenário foi trabalhado de restrições de horário. Dessa vez, o comportamento avaliado seria de um cenário mais “estressado” com restrições aparentemente mais rígidas, uma vez cortada 3 horas de cada veículo. foi colocado o horário de início para 08:00h e término as 15h, e o Veículo1-1 com a flexibilidade necessária para definir sua rota 3 horas mais tarde, definidos na Tabela 6.

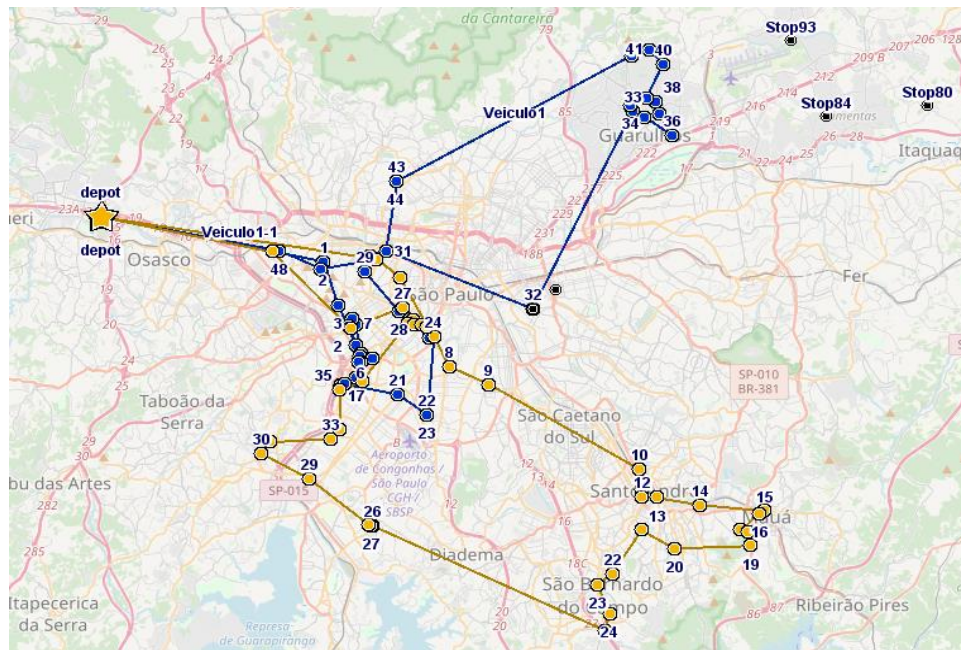
Tabela 6: Parâmetros utilizados para o Cenário 4

ID do Veículo	Lat. Início	Long.de Início	Lat. de Fim	Long. de Fim	Hora de Início	Hora de Término	Capacidade	#Veículos
Veículo1	-23,511	-46,823	-23,511	-46,823	08:00:00	15:00:00	5500	1
Veículo1-1	-23,511	-46,823	-23,511	-46,823	11:00:00	18:00:00	5500	1
Veículo2	-23,675	-46,858	-23,675	-46,858	08:00:00	18:00:00	0	0
Veículo2-2	-23,675	-46,858	-23,675	-46,858	08:00:00	18:00:00	0	0
Total							11.000	2

Fonte: Autoria própria.

Nessa abordagem, o modelo entende que, para voltar antes do horário de término das 15h, e mesmo considerando uma rota ótima de um segundo veículo, no caso o Veículo1-1, vemos que a rota prioriza, evidentemente, os pontos mais próximos de passagem. Portanto, existe a decisão de não passar, por exemplo, nas localizações mais longínquas em “Stop 93”, “Stop84” e “Stop80” visto na Figura 24.

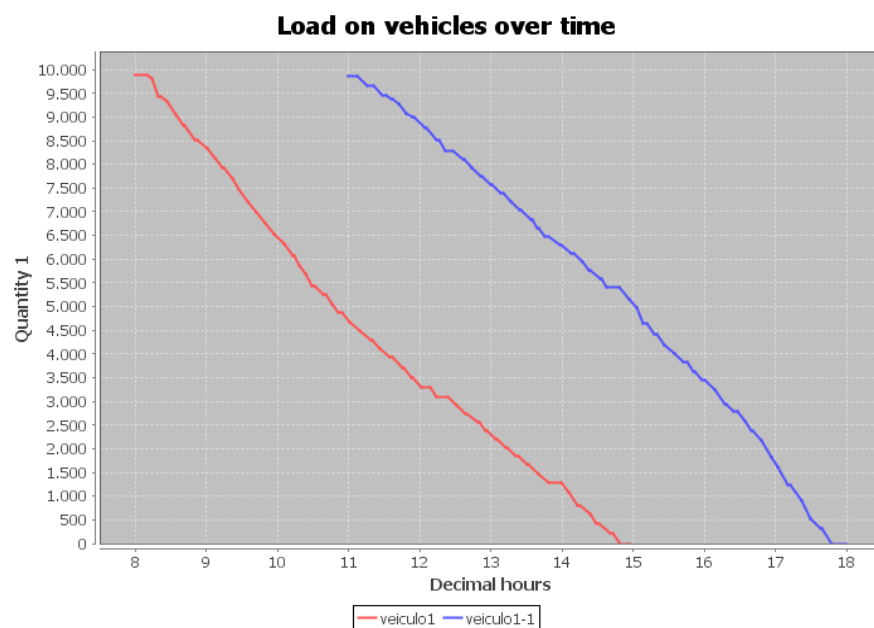
Figura 24: Rotas geradas para o Cenário 4



Fonte: Autoria própria.

Note que ambos os veículos acabam operando em sua capacidade máxima. A Figura 25, mostra que existe o descarregamento de forma linear de ambos os veículos a medida que começam efetivamente suas entregas, e finalizam praticamente nos horários delimitados conforme a linha vermelha e azul, respectivamente do Veículo1 e Veículo1-1.

Figura 25: Descarregamento de veículos ao longo do tempo



Fonte: Autoria própria.

Para um último cenário, foi utilizado alguns parâmetros de custo. Temos uma situação em que o modelo pode descartar possíveis ineficiências quanto aos custos/km, custos/hora, custo de espera/hora e custo fixo. Dessa forma a capacidade foi dobrada apenas para o Veiculo1 do DCB, porém todos os parâmetros financeiros foram também dobrados conforme mostra na Tabela 7 da diferença aplicada dos primeiros cenários.

Tabela 7: Diferença aplicada dos primeiros quatro cenários com relação ao Cenário 5

#Cenário	Custo/km	Custo/hora	Custo de espera/hora	Custo fixo
1,2,3 e 4	0.001	1.0	0.5	100.0
5	0.002	2.0	1.0	200.0

Fonte: Autoria própria

Para o cenário 5 foram habilitados os seguintes parâmetros, conforme a Tabela 8.

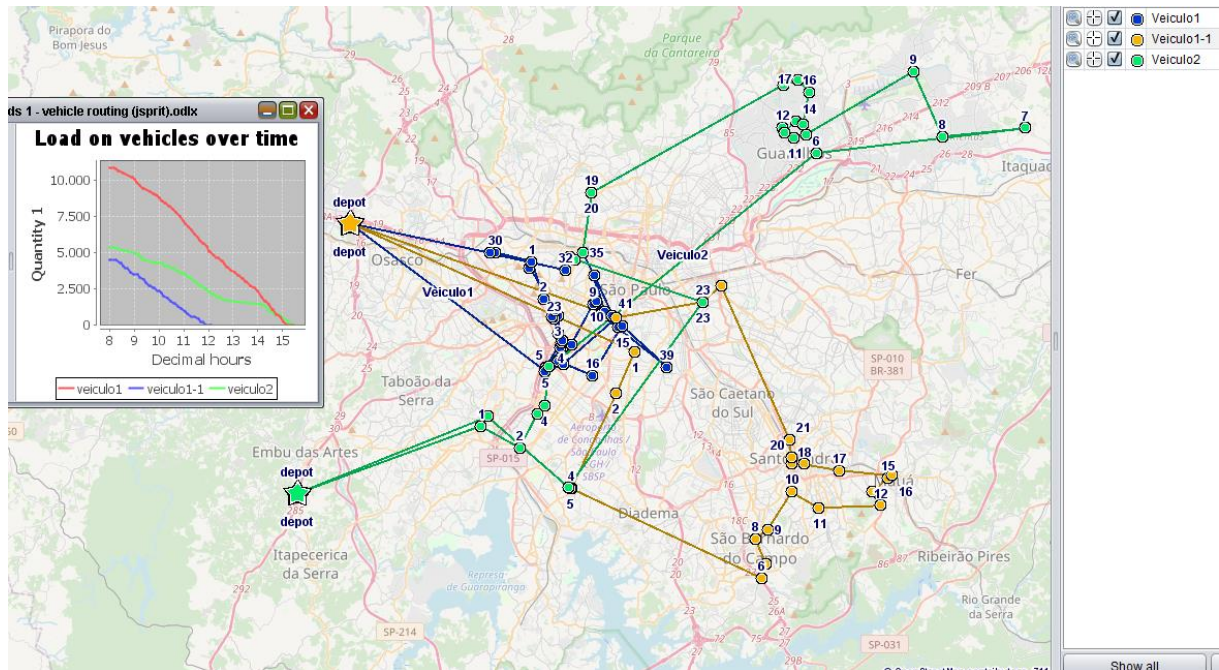
Tabela 8: Parâmetros utilizados para o Cenário 5

ID do Veículo	Hora de Início	Hora de Término	Capacidade	#Veículos
Veiculo1	08:00:00	18:00:00	11000	1
Veiculo1-1	08:00:00	18:00:00	5500	1
Veiculo2	08:00:00	18:00:00	5500	1
Veiculo2-2	08:00:00	18:00:00	5500	1

Fonte: Autoria própria

A escolha do modelo foi priorizar um veículo com o dobro da capacidade, mesmo considerando o custo adicional, devido à sua eficiência. Esta decisão foi fundamentada em uma análise que indicou que as primeiras entregas mais perto do galpão DCB definiriam até então o veículo mais custoso, mas priorizando a capacidade de realizar as rotas com o mínimo possível de veículos adicionais, que demandariam mais custos fixos. Assim, o veículo de maior capacidade foi direcionado para seguir uma rota mais rápida, minimizando os custos operacionais, mesmo com seu custo dobrado, e permitindo que dois veículos adicionais fossem utilizados para atender todos os pedidos necessários. Essa estratégia demonstrou ser a mais vantajosa, garantindo a otimização do processo logístico e assegurando a satisfação das demandas de maneira eficaz como podemos observar na Figura 26, onde o Veiculo1, mais custoso, faz uma rota em uma região mais próxima do DCB, e volta antes do 12:00h para o ponto de saída como podemos ver no complemento da Figura 26 com o descarregamento realizado na linha azul.

Figura 26: Rotas geradas para o Cenário 5 e descarregamento de veículos ao longo do tempo



Fonte: Autoria própria.

As Tabelas 9 e 10 resumem os comportamentos dos cenários apresentados. O Cenário 1 acaba sendo extremamente ineficiente uma vez que o modelo foi “forçado” para entregar seus pedidos com seus veículos a partir de seus dois galpões. Entende-se que nesse caso temos rotas mais inteligentes, utilizando-se de 4 rotas distintas, mas com custos de operacionais elevados.

Neste caso, o ODL se utiliza de um parâmetro adimensional de custos por km e custos por hora, bem como custo fixo, para gerarmos o mesmo padrão financeiro de otimização de rotas, e, portanto, o tempo de espera de aproximadamente 7h, bem como novos veículos utilizados acabam levando o custo de viagem para 8,73, praticamente o dobro encontrado nas situações em que se usa apenas dois veículos, logicamente.

Para o Cenário 2 e 3, a disputa de critério é definido pela melhor localização. Para o Cenário 4 temos, aparentemente uma rota mais curta, mas tomado pela decisão de não entrega de algumas ordens para efeito de validação do modelo com um custo menor de viagem, mas não entregando efetivamente todos os pedidos.

Entende-se que, para o último cenário avaliado, faz-se uma comparação com o primeiro cenário em relação ao custo efetivamente da operação. Enquanto o Cenário 1 priorizou a utilização de quatro rotas, resultando em um tempo total de 23:35:13, custo de viagem mais

elevado (8,74), e um considerável tempo de espera de 06:54:55, o Cenário 5 adotou uma estratégia mais focada na eficiência do veículo e da rota. Mesmo com uma quantidade ligeiramente menor de rotas (três no total), o Cenário 5 entregou os mesmos 100 pedidos, alcançou uma redução significativa no tempo total (19:01:54), apresentou um custo de viagem mais baixo (7,74) e reduziu consideravelmente o tempo de espera para 02:47:39. Esta abordagem evidenciou uma maior eficácia ao priorizar um veículo com o dobro da capacidade, mesmo a um custo superior, destacando a importância da escolha estratégica de veículos e rotas na eficiência e economia operacional.

Tabela 9: Resultados dos cinco cenários tratando das Rota Usadas, Pedidos Atendidos, Quantidade (adimensional) entregue e Tempo Total (da operação)

Cenário	Rotas Usadas	Pedidos atendidos	Quantidade entregue	Tempo Total
1	4	100	20.686	23:35:13
2	2	100	20.686	15:20:09
3	2	100	20.686	15:59:26
4	2	95	19.746	13:56:16
5	3	100	20.686	19:01:54

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10: Resultados dos cinco cenários tratando do Custo de Viagem (adimensional), bem como Distância (percorrida em km), Tempo em Viagem (em horas) e Tempo em Espera (horas)

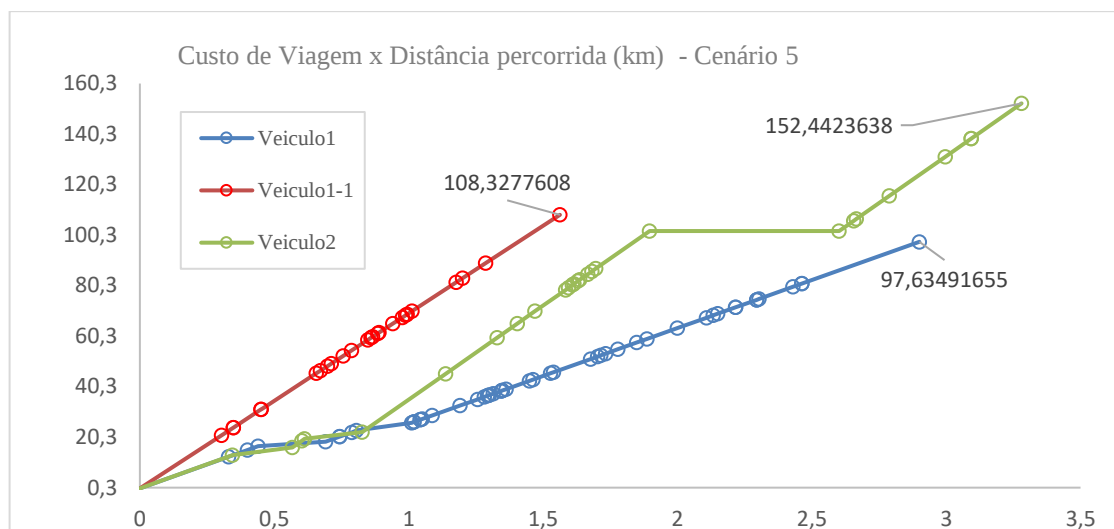
Cenário	Custo de Viagem	Distância	Tempo em Viagem (h)	Tempo em Espera (h)
1	8,739438627	393,3 km	04:53:18	06:54:55
2	3,787773452	278,8 km	03:27:54	00:05:15
3	4,140727072	282,4 km	03:30:33	00:41:53
4	3,048238637	227 km	02:49:16	00:00:00
5	7,743729186	358,4 km	04:27:14	02:47:39

Fonte: Autoria própria.

3.5 Validação e Discussão

Por fim, foi traçado jornadas distintas para cada veículo no cenário 5 para um maior entendimento do processo decisório quanto a escolha de uma boa localização de estocagem. O Veículo1 partiu às 8h e percorreu 97,63km até alcançar seu destino de volta às 15h23 min. Durante sua viagem, a distância percorrida apresentou uma variação no custo de viagem inferior aos outros dois veículos, quando observado no espectro de Custo de Viagem x Distância percorrida (km) como demonstrado na Figura 27.

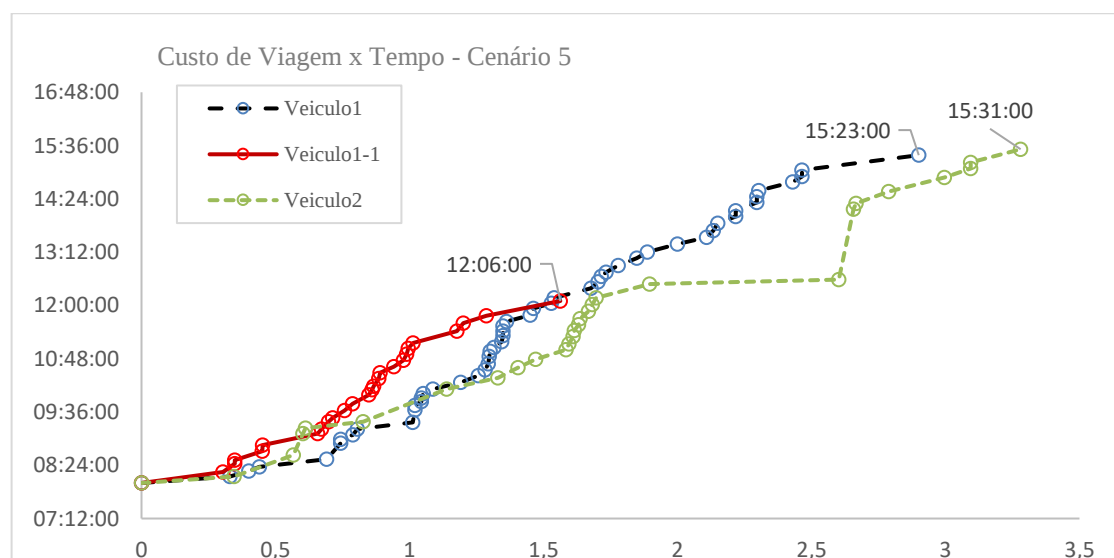
Figura 27: Custo de Viagem x Distância percorrida (km) - Cenário 5



Fonte: Autoria própria

Por sua vez, o Veículo1-1, iniciando no mesmo horário, chegou mais cedo, por volta das 12h06min como visto na Figura 28, após cobrir uma distância de 108,327 km, curiosamente o modelo entende que vale mais apenas o veículo percorrer um trajeto atendendo uma região mais longínqua (Região do ABC) com poucos pedidos e retornar mais cedo deixando o Veículo1 trabalhar com uma operação de descarregamento mais próxima da do galpão. Portanto, o Veículo1-1 pode “perder” seu tempo, sem que os custos se elevem, atendendo a vários pedidos, considerando o tempo de descarga de cada pedido e por isso o trajeto acaba sendo mais curto, mas voltando em um horário mais tarde.

Figura 28: Custo de Viagem x Tempo - Cenário 5



Fonte: Autoria própria

Essa combinação acaba sendo benéfica, e deixa uma terceira rota ao dispor do terceiro veículo, no caso o Veículo2, com início e término da operação em outra localização, mas que pode fazer um trajeto, também mais longo, como podemos ver, na Figura 27, na linha verde, sendo um “mix” dos primeiros dois veículos. O veículo2 acaba percorrendo um trajeto maior, e de fato acaba sendo o último a chegar atendendo aos pedidos em uma região mais distante ao seu ponto de partida (Embu – Guarulhos) percorrer o trajeto “que sobrar”.

Ao avaliar as jornadas distintas dos veículos no Cenário 5, fica evidente que a escolha da localização de estocagem impacta diretamente na eficiência das rotas. O Veículo1 demonstrou uma viagem mais curta, porém com menor variação no custo ao longo da distância percorrida. Já o Veículo1-1, ao priorizar uma região mais distante e retornar mais cedo para operações próximas ao galpão, ilustra a flexibilidade na gestão de tempo e recursos, otimizando trajetos. O Veículo2, por sua vez, percorreu uma rota intermediária entre as estratégias dos demais, atendendo a pedidos mais extremos em sua jornada.

O modelo de otimização de rota mais acurado envolve considerar nuances das ruas, o adensamento urbano e, de forma mais profunda, integrar dados de tráfego para um planejamento mais preciso. Adaptações para um nível mapa isócrono, que leva em conta a realidade das ruas, e a inclusão de previsões de tráfego podem aprimorar ainda mais a eficiência das rotas. Nesse contexto, estratégias de S&OP (Sales and Operations Planning) podem ser aplicadas para integrar esses dados e promover uma abordagem mais holística na gestão de rotas, considerando não apenas a demanda, mas também os recursos disponíveis e as dinâmicas do ambiente urbano para alcançar resultados otimizados.

4 CONCLUSÃO

O estudo e implementação de modelos de roteamento de veículos, como o desenvolvido no OpenDoorLogistics, representam um avanço significativo na otimização dos processos logísticos. Este trabalho apresentou uma abordagem para resolver problemas complexos de roteamento, considerando a entrega de pedidos em diferentes localidades, restrições de tempo e capacidade dos veículos. A utilização de algoritmos baseados em princípios de arruinar e reconstruir, meta-algoritmos e heurísticas específicas como o Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) demonstrou ser uma estratégia promissora para lidar com a complexidade do Problema do Caixeiro Viajante e do Roteamento de Veículos (VRP). A análise minuciosa de diferentes cenários permitiu identificar a importância da escolha estratégica dos veículos, das capacidades de estocagem e das rotas mais eficientes para garantir uma operação logística otimizada. A avaliação comparativa dos cenários revelou que a escolha criteriosa de estratégias, incluindo a alocação de veículos com maior capacidade e a definição de rotas inteligentes, pode resultar em melhorias significativas no tempo total de operação, no custo de viagem e no tempo de espera. O destaque foi para a estratégia que priorizou um veículo com maior capacidade, equilibrando custos operacionais mais elevados com uma redução expressiva no tempo de operação e no tempo de espera.

Nesse contexto, os Fundos de Investimento Imobiliário (FIIs) surgem como peças-chave para capitalizar e desenvolver o mercado de galpões logísticos, especialmente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Esta área, de grande relevância no setor logístico nacional e internacional, concentra uma demanda considerável por espaços de armazenamento e distribuição. Os FIIs oferecem uma oportunidade única para investidores acessarem indiretamente o mercado imobiliário de galpões e centros de distribuição na RMSP. Com aporte menor, é possível diversificar investimentos em diferentes galpões logísticos, aproveitando o potencial de crescimento econômico e valorização desses ativos. Esses fundos proporcionam não apenas a oportunidade de investir em um mercado aquecido, mas também oferecem uma fonte estável de retorno financeiro por meio dos dividendos provenientes dos aluguéis dos galpões. Essa modalidade atrai investidores individuais e institucionais, contribuindo para o desenvolvimento e a eficiência do setor imobiliário logístico na RMSP.

Ao considerar a otimização dos processos logísticos, uma estratégia crucial foi a implementação de um “centro de gravidade inicial” para aumentar a eficiência e as análises de comparação entre as entregas. Essa abordagem proporciona o modelo se referenciar de forma estratégica próxima aos clientes, visando aprimorar a eficiência e a precisão na distribuição dos

produtos. A análise da localização, baseada nos endereços dos clientes, na demanda por casos e na frequência de entrega, permitiu um redesenho territorial que melhorou significativamente a eficácia das operações de distribuição. Neste contexto, a análise meticulosa entre a localização estratégica dos centros de distribuição mostra uma clara vantagem competitiva em escolher Barueri em comparação com Embu. Embora Embu, com um valor de aluguel por metro quadrado de R\$ 23,45 (Anexo A), ofereça um custo atraente, a localização em Barueri, com seu preço mais elevado de R\$ 28,73 por metro quadrado (Anexo B), revela um valor substancialmente maior, representando uma variação de aproximadamente 22,5%. Barueri não só oferece espaço adequado, mas também se destaca pela proximidade a um mercado mais amplo e com maior demanda logística. A infraestrutura robusta e a localização privilegiada de Barueri a tornam uma escolha estratégica superior para operações logísticas, apesar do custo um pouco mais alto. Investir nessa localização não só reflete uma vantagem competitiva imediata, mas também garante uma eficiência operacional superior, reduzindo os custos gerais de distribuição e elevando a satisfação do cliente.

A conjugação entre a aplicação de modelos avançados de roteamento de veículos e o investimento estratégico em galpões logísticos, impulsionado pelos FIIs, evidencia a importância da inovação tecnológica e do planejamento estratégico na otimização da cadeia logística. Este estudo não apenas explorou e implementou soluções para desafios logísticos complexos, mas também ressaltou o papel fundamental dos FIIs na capitalização e no desenvolvimento do mercado imobiliário, especialmente na Região Metropolitana de São Paulo. Com isso, reforça-se a necessidade contínua de avanços tecnológicos e investimentos estratégicos para aprimorar a eficiência operacional e impulsionar o crescimento econômico em setores cruciais como o de logística.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para um planejamento logístico mais preciso, é essencial considerar nuances das ruas, o adensamento urbano e a integração de dados de tráfego. A aplicação de estratégias de Planejamento de Vendas e Operações (S&OP) pode integrar esses dados, promovendo uma abordagem holística na gestão de rotas. Ao considerar a demanda, recursos disponíveis e dinâmicas urbanas, é possível alcançar resultados otimizados.

Além disso, é crucial considerar as limitações das ruas ao utilizar rotas entre pontos, para evitar problemas que possam surgir devido restrições de rotas complexas, como por exemplo, as restrições de vias de mão dupla, restrições de horário para os diversos veículos de carga e suas respectivas leis e estoque máximo. Porém, as diferentes categorias abordadas nesta pesquisa, como os trabalhos de parada única, de coleta-entrega, alternativos e personalizados, conseguiram oferecer oportunidades para otimizar as operações. A capacidade de escolher a versão mais eficiente do trabalho, adaptando-se à situação específica, pode trazer benefícios consideráveis, especialmente em serviços sob demanda ou entregas com múltiplos pontos.

Por fim, ressalto a importância dos critérios e parâmetros financeiros nos estudos logísticos. Exemplos concretos com problemas reais podem ilustrar de maneira clara a redução mais eficiente na quantidade de rotas, a consolidação da entrega de pedidos em uma rota única, a notável diminuição do tempo total, a redução dos custos de viagem e a significativa diminuição do tempo de espera. Esses resultados enfatizam a importância estratégica na seleção criteriosa de veículos e rotas para maximizar a eficiência e economia operacional. Essas considerações fortalecem a necessidade contínua de avaliar não somente a logística em si, mas também seus desdobramentos financeiros, visando alcançar operações mais eficazes e econômicas para uma melhor análise da localização dos galpões logísticos. E como sugestões de trabalhos futuros, entendo que o mesmo estudo feito nessa pesquisa, mas focado em outras regiões nas diferentes capitais do Brasil, ou regiões logísticas como Extrema/MG e Manaus/AM podem trazer novos insights para entendermos esse grande e complexo setor de logística no Brasil.

REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARREIRA, Nuno Manuel Couto. **Sistema Inteligente para Otimização de Rotas**. 2016. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre (Licenciado em Ciências de Engenharia e de Computadores) - Departamento de Engenharia Eletrotécnica Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2016.

BRASIL. Comissão de Valores Mobiliários (CVM). **Instrução Normativa nº 472, de 31 de outubro de 2008**. Dispõe sobre a constituição, a administração, o funcionamento, a oferta pública de distribuição de cotas e a divulgação de informações dos Fundos de Investimento Imobiliário – FII. Revoga as Instruções CVM nº 205, de 14 de janeiro de 1994, nº 389, de 3 de junho de 2003, nº 418, de 19 de abril de 2005 e nº 455, de 13 de junho de 2007. Acrescenta o Anexo III-B à Instrução CVM nº 400, de 29 de dezembro de 2003. Disponível em: <<https://conteudo.cvm.gov.br/>>. Acesso em: 31/08/2023.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações** – 4.Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

COLLIERS TECHNICAL SERVICES LTDA. Nº 12.049A/2023. **Laudo de Avaliação**. Disponível em: <https://fnet.bmfbovespa.com.br/fnet/publico/exibirDocumento?id=510474&cv m=true>. Acesso em: 13 set. 2023.

COLLIERS TECHNICAL SERVICES LTDA. Nº 12.051A/2023. **Laudo de Avaliação**. Disponível em: <https://fnet.bmfbovespa.com.br/fnet/publico/exibirDocumento?id=510479&cv m=true>. Acesso em: 13 set. 2023.

DALMINA, R. **CUSTOS LOGÍSTICOS: Um estudo na empresa TRR Alfa Combustíveis Ltda**. 2017. 65 f. TCC (Graduação em Administração) – FAT – Faculdade e Escola, Tapejara, 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FRANKE, Gabriel de Azevedo. **Fundo de Investimento imobiliário como alternativa de investimento no mercado financeiro – Um estudo comparativo**. Monografia (Trabalho de conclusão - Bacharel em Administração) - Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GALEAZZO, A., FURLAN, A., & VINELLI, A. (2014). **Understanding environmental-operations integration: the case of pollution prevention projects**. *International Journal of Production Economics*, 153(1), 149-160.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1. Ed. Porto Alegre, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
Grimson, J. A., & Pyke, D. F. (2007). **Sales and operations planning: an exploratory study and framework**. *International Journal of Logistics Management*, 18(3), 322-346.

GUPTA, Ashima; SAINI, Sanjay. **An Enhanced Ant Colony Optimization Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows**. 2017 Ninth International Conference on Advanced Computing (ICoAC), 2017.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. (2013). **Introdução à Pesquisa Operacional** (9a ed.). Rio de Janeiro: AMGH, 2013.

LAPIDE, L. (2005). **Sales & operations planning part III: a diagnostic model**. *Journal of Business Forecasting*, 24(1), 13-16.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 2. Ed. ,cGraw Hill, Inc: New York, 1991.

LAW. A. M. **Simulation Modeling Analysis** - 4°. Ed. - New York McGraw-Hill Education, 2007

LI, David; BUDDE, Matthias; BRUNS, Julian. Towards **Dynamic Isochrone Mapping Accounting for Uncertainty**. *GI_Forum* 2021, Volume 9, Issue 2, p. 193 - 201, 2021.

LIM, L. L., APAN, G., & PENZ, B. (2014). **Reconciling sales and operations management with distant suppliers in automotive industry: a simulation approach**. *International Journal of Production Economics*, 151(1), 20-36.

LONGLEY, P.A., et al., 2005. **Geographic information systems and science**. 2nd ed. New York: Wiley

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 2005

MIYAGI, P. **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006

MOLLENKOPF, D., FRANKEL, R., & RUSSO, I. (2011). **Creating value through returns management: exploring the marketing-operations interface**. *Journal of Operations Management*, 29(5), 391-403.

OLIVA, R., & WATSON, N. (2009). **Managing functional bias in organizational forecast: a case study in consensus forecast in supply chain management**. *Production and Operations Management*, 18(2), 138-151

PISINGER, David; ROPKE, Stefan. **A general heuristic for vehicle routing problems**. *Computers & Operations Research* 34, 2007. 2403 – 2435 p. PRADO, Darci S. *Teoria das Filas e da Simulação*. 4ª Edição. Belo Horizonte: INDG, 2009.

PROUD, J. F. **Master Scheduling**. New York: John Wiley & Sons, 1999.

REXHAUSEN, D., PIBERNIK, R., & KAISER, G. (2012). **Customer facing supply chain practices: the impact of demand and distribution management on supply chain success**. *Journal of Operations Management*, 40(4), 269-281

ROUQUAYROL, M. Z. **Epidemia & Saúde**. 527 p. Rio de Janeiro: Medsi Editora Médica e Científica Ltda., 1994.

SCHRIMPF, Gerhard et al. **Record Breaking Optimization Results Using the Ruin and Recreate Principle**. *Journal of Computational Physics* 159, 2007. 139–171 p

SHAPIRO, B. P. (1977). **Can marketing and manufacturing co-exist?** *Harvard Business Review*, 55(5), 104-114

SILVA, L. C. **Simulação de Processos**. Universidade Estadual do Espírito Santo. 2005.

SINGHAL, J., & SINGHAL, K. (2007). **Holt, Modigliani, Muth, and Simon's work and its role in the renaissance and evolution of operations management.** Journal of Operations Management, 25(2), 300-309

TANG, C. S. (2010). **A review of marketing-operations interface models: from co-existence to coordination and collaboration.** International Journal of Production Economics, 125(1), 22-40

VALENTE A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G. **Gerenciamento de Transportes e frotas.** São Paulo: Pioneira, 1997.

VERNADAT, F. B. **Enterprise Modeling and Integration: principles and applications.** London, 1996.

VISWANATHAN, N. (2009). **Sales and Operations Planning: integrate with finance and improve revenue.** Boston: Aberdeen Group.

VIVALDINI, M.; SOUZA, F. B.; PIRES, S. R. I. **Improving logistics services through the technology used in fleet management.** São Paulo: TECSI FEA USP, 2012.

GLOSSÁRIO

Algoritmo do Roteamento de Veículos (VRP): Um problema fundamental na logística, envolvendo a determinação da melhor rota para um conjunto de veículos visitarem um grupo de destinos, minimizando custos como tempo, distância ou quantidade de veículos.

Algoritmo Guloso: Uma abordagem algorítmica que faz escolhas locais ótimas em cada etapa, na esperança de alcançar uma solução global ideal. A cada passo, faz a escolha mais vantajosa no momento, sem considerar impactos futuros.

Algoritmo Metaheurístico: Método geral de otimização baseado em estratégias heurísticas. São abordagens mais flexíveis e menos precisas, mas úteis para encontrar soluções em espaços de busca muito grandes ou complexos.

Great Deluge: Um algoritmo de busca local usado para resolver problemas de otimização. É uma variação do algoritmo de recozimento simulado, onde uma "enchente" gradual ocorre para alcançar a solução ideal.

Isócronas: Representações visuais que mostram áreas alcançáveis a partir de um ponto central em um determinado período, comumente usadas em logística para delinear regiões alcançáveis dentro de uma determinada janela temporal.

Matriz de Distância: Um conjunto de informações que registra as distâncias entre pontos, crucial para cálculos e tomadas de decisões logísticas, especialmente no VRP.

Modelagem e Simulação: Métodos de pesquisa que envolvem criar e experimentar sistemas por meio de modelos matemáticos computacionais, úteis para prever e entender comportamentos de sistemas complexos.

OpenDoorLogistics (ODL): Uma aplicação de roteamento de veículos e mapeamento de territórios, empregando ferramentas como jsprit para proporcionar capacidades de roteamento e agendamento.

Otimização: O processo de tornar algo o mais eficiente possível, frequentemente usado para reduzir custos ou maximizar recursos, como no caso da otimização de rotas logísticas.

Simulated Annealing: Uma técnica probabilística usada para encontrar uma boa aproximação de uma solução ótima de um problema de otimização, inspirada no processo físico de recozimento de materiais.

Sistema de Informação Geográfica (SIG): Ferramenta para análise espacial que permite a coleta, armazenamento, processamento e visualização de dados georreferenciados, útil para investigações sobre o impacto da localização de galpões, por exemplo.

Stops (Pontos de entrega): Pontos específicos de entrega ou visitação, essenciais para o planejamento de rotas em sistemas de roteamento de veículos.

Threshold Accepting: Um algoritmo baseado em estratégias de aceitação para encontrar soluções viáveis para problemas de otimização, onde soluções aceitáveis são determinadas por um limite (threshold).

jsprit: Uma ferramenta de código aberto em Java utilizada para resolver problemas complexos de Roteamento de Veículos (VRP) e o Problema do Caixeiro Viajante (TSP), empregada no ODL para proporcionar capacidades de roteamento e agendamento. Utiliza um meta-algoritmo baseado no princípio de "arruinar e reconstruir" para otimizar trajetos de veículos.

APÊNDICE A – Base de dados utilizado para o otimizador de rotas

Parada	Latitude	Longitude	Tempo de descarga	Horário de início	Horário de término	Quantidade
Stop1	-23,56593	-46,65655	00:07:00	09:00:00	18:30:00	201
Stop2	-23,63398	-46,73632	00:06:00	08:30:00	17:45:00	220
Stop3	-23,60327	-46,66235	00:08:00	10:15:00	18:00:00	180
Stop4	-23,59795	-46,69054	00:05:00	09:45:00	17:15:00	250
Stop5	-23,56666	-46,68458	00:09:00	08:00:00	16:45:00	190
Stop6	-23,67187	-46,67638	00:06:00	08:45:00	17:30:00	195
Stop7	-23,56861	-46,68750	00:08:00	09:30:00	18:15:00	205
Stop8	-23,58639	-46,68195	00:07:00	08:15:00	17:00:00	230
Stop9	-23,53792	-46,70373	00:09:00	09:00:00	18:00:00	185
Stop10	-23,59807	-46,61228	00:05:00	08:30:00	16:15:00	240
Stop11	-23,57396	-46,64511	00:08:00	09:15:00	17:45:00	195
Stop12	-23,62629	-46,69840	00:06:00	08:45:00	17:30:00	210
Stop13	-23,53065	-46,67722	00:07:00	08:30:00	17:15:00	220
Stop14	-23,64749	-46,71037	00:06:00	09:00:00	16:45:00	235
Stop15	-23,58622	-46,68304	00:08:00	08:45:00	17:30:00	205
Stop16	-23,56678	-46,65341	00:05:00	09:30:00	18:15:00	195
Stop17	-23,58870	-46,63416	00:09:00	08:15:00	16:00:00	230
Stop18	-23,62153	-46,69359	00:07:00	08:45:00	17:30:00	185
Stop19	-23,56346	-46,68664	00:06:00	09:00:00	18:00:00	210
Stop20	-23,67167	-46,67580	00:08:00	08:30:00	17:15:00	240
Stop21	-23,59827	-46,69277	00:05:00	08:45:00	16:30:00	200
Stop22	-23,55984	-46,66150	00:09:00	09:30:00	18:15:00	175
Stop23	-23,49175	-46,66249	00:06:00	08:00:00	17:45:00	225
Stop24	-23,52856	-46,66835	00:08:00	09:45:00	17:30:00	205
Stop25	-23,57780	-46,68483	00:07:00	08:15:00	16:45:00	230
Stop26	-23,52871	-46,73026	00:09:00	09:00:00	17:15:00	195
Stop27	-23,58214	-46,68187	00:05:00	08:30:00	16:00:00	240
Stop28	-23,53898	-46,68021	00:08:00	09:15:00	18:00:00	210
Stop29	-23,55786	-46,65917	00:06:00	08:45:00	17:30:00	195
Stop30	-23,52830	-46,72624	00:07:00	09:00:00	16:45:00	225
Stop31	-23,56751	-46,68903	00:06:00	08:30:00	17:15:00	240
Stop32	-23,54230	-46,66074	00:08:00	09:45:00	18:30:00	210
Stop33	-23,61374	-46,64597	00:05:00	08:15:00	17:00:00	205
Stop34	-23,56697	-46,64876	00:09:00	09:30:00	18:15:00	185
Stop35	-23,56423	-46,65382	00:07:00	08:00:00	16:45:00	220
Stop36	-23,55856	-46,58853	00:06:00	09:15:00	18:00:00	195
Stop37	-23,58301	-46,68273	00:08:00	08:45:00	17:30:00	235
Stop38	-23,53265	-46,67343	00:05:00	09:00:00	16:45:00	210
Stop39	-23,57326	-46,64195	00:09:00	08:30:00	17:15:00	230
Stop40	-23,56784	-46,64606	00:06:00	09:45:00	18:30:00	205
Stop41	-23,53399	-46,70229	00:05:00	08:00:00	12:00:00	380

Stop42	-23,62807	-46,73142	00:08:00	14:00:00	19:00:00	180
Stop43	-23,58214	-46,68187	00:09:00	08:00:00	12:00:00	300
Stop44	-23,59621	-46,68144	00:06:00	14:00:00	19:00:00	150
Stop45	-23,56423	-46,65382	00:05:00	08:00:00	12:00:00	80
Stop46	-23,60049	-46,69328	00:08:00	14:00:00	19:00:00	200
Stop47	-23,59458	-46,68486	00:07:00	08:00:00	12:00:00	250
Stop48	-23,67097	-46,67799	00:06:00	14:00:00	19:00:00	320
Stop49	-23,54839	-46,57645	00:09:00	08:00:00	12:00:00	160
Stop50	-23,49175	-46,66249	00:07:00	14:00:00	19:00:00	280
Stop51	-23,55684	-46,69456	00:05:00	08:00:00	12:00:00	90
Stop52	-23,52856	-46,66835	00:08:00	14:00:00	19:00:00	170
Stop53	-23,58433	-46,67594	00:07:00	08:00:00	12:00:00	220
Stop54	-23,60049	-46,69328	00:09:00	14:00:00	19:00:00	310
Stop55	-23,56751	-46,68903	00:06:00	08:00:00	12:00:00	190
Stop56	-23,54230	-46,66074	00:08:00	14:00:00	19:00:00	380
Stop57	-23,55786	-46,65917	00:05:00	08:00:00	12:00:00	70
Stop58	-23,56697	-46,64876	00:08:00	14:00:00	19:00:00	220
Stop59	-23,56751	-46,68903	00:07:00	08:00:00	12:00:00	270
Stop60	-23,54230	-46,66074	00:09:00	14:00:00	19:00:00	330
Stop61	-23,61374	-46,64597	00:06:00	08:00:00	12:00:00	180
Stop62	-23,56697	-46,64876	00:08:00	14:00:00	19:00:00	350
Stop63	-23,56423	-46,65382	00:05:00	08:00:00	12:00:00	100
Stop64	-23,55856	-46,58853	00:08:00	14:00:00	19:00:00	240
Stop65	-23,58301	-46,68273	00:07:00	08:00:00	12:00:00	250
Stop66	-23,53265	-46,67343	00:09:00	14:00:00	19:00:00	320
Stop67	-23,57326	-46,64195	00:06:00	08:00:00	12:00:00	200
Stop68	-23,56784	-46,64606	00:08:00	14:00:00	19:00:00	370
Stop69	-23,53399	-46,70229	00:05:00	08:00:00	12:00:00	90
Stop70	-23,62807	-46,73142	00:08:00	14:00:00	19:00:00	180
Stop71	-23,598271	-46,692767	00:05:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop72	-23,452271	-46,535953	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop73	-23,697149	-46,545631	00:07:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop74	-23,664006	-46,462864	00:06:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop75	-23,458651	-46,527948	00:09:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop76	-23,661189	-46,497702	00:07:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop77	-23,726524	-46,549674	00:05:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop78	-23,426468	-46,535249	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop79	-23,665635	-46,465795	00:07:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop80	-23,452456	-46,374233	00:09:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop81	-23,652992	-46,529746	00:06:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop82	-23,448439	-46,526698	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop83	-23,67507	-46,4721	00:05:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop84	-23,458047	-46,429108	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop85	-23,455515	-46,534589	00:07:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop86	-23,683647	-46,511902	00:09:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop87	-23,682199	-46,47032	00:06:00	08:45:00	19:00:00	180

Stop88	-23,423327	-46,525165	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop89	-23,702672	-46,553796	00:05:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop90	-23,430687	-46,518101	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop91	-23,657052	-46,521109	00:07:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop92	-23,673971	-46,475647	00:09:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop93	-23,418067	-46,448364	00:06:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop94	-23,642055	-46,531157	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop95	-23,467999	-46,512973	00:05:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop96	-23,717786	-46,546753	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop97	-23,456451	-46,519933	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop98	-23,656751	-46,529378	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop99	-23,450442	-46,522107	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180
Stop100	-23,673975	-46,52951	00:08:00	08:45:00	19:00:00	180

Fonte: Autoria própria.

ANEXO A – Sumário Executivo do Imóvel Logístico em Barueri - SP
(Distribution Center Barueri (DCB))

Imóvel Logístico em Barueri– SP.	
Solicitante	CSHG LOGÍSTICA – FUNDO DE INVESTIMENTOS – FII
Finalidade e Uso pretendido	Estimativa do valor de mercado de locação e de venda para balizar tomada de decisão do Cliente.
Data de Referência	Maio de 2023
Data da Vistoria	24 de maio de 2023
Endereço	Av. Piracema, Quadra 5, Lotes 9 a 16 e 17, 15 – Tamboré
Município	Barueri – SP
Área de Terreno	154.914,64 m ² (conforme Capítulo 3 deste laudo)
Área de Construção	90.484,02 m ² , sendo 25.739,90 m ² do Galpão “A”, 46.654,42 m ² do Galpão “B” e 18.089,70 m ² do Galpão “C” (conforme Capítulo 3 deste laudo)
Tipologia do Imóvel	Imóvel Logístico
Idade	Entre 3 a 20 anos (idade estimada)
Estado de Conservação	Entre Novo e Regular (B) a Necessitando de Reparos Simples (D)
Metodologia	Locação: Método Comparativo Direto e Venda: Método da Capitalização de Renda
Valor de Mercado para Locação	R\$ 2.600.000,00/mês (Dois milhões e seiscentos mil reais mensais)
Valor de Mercado para Venda	R\$ 471.200.000,00 (Quatrocentos e setenta e um milhões e duzentos mil reais)
Grau de Fundamentação Obtido	Locação: Grau II e Venda: Grau II
Grau de Precisão Obtido	Locação: Grau III e Venda: Não se aplica

**ANEXO B – Sumário Executivo do Imóvel Logístico em Embu das Artes - SP
(Centro Logístico Embu – (CLE))**

Imóvel Logístico em Embu das Artes– SP.	
Solicitante	CSHG LOGÍSTICA – FUNDO DE INVESTIMENTOS – FII
Finalidade e Uso pretendido	Estimativa do valor de mercado de locação e de venda para balizar tomada de decisão do Cliente.
Data de Referência	Maio de 2023
Data da Vistoria	24 de maio de 2023
Endereço	Rua José Semião Rodrigues Agostinho, 1.370 – Água Espraiada
Município	Embu das Artes – SP
Área de Terreno	145.310,00 m ² (conforme Capítulo 3 deste laudo)
Área de Construção	66.521,25 m ² (conforme Capítulo 3 deste laudo)
Tipologia do Imóvel	Imóvel Logístico
Idade	10 anos (idade estimada)
Estado de Conservação	Regular (C)
Metodologia	Locação: Método Comparativo Direto e Venda: Método da Capitalização de Renda
Valor de Mercado para Locação	R\$ 1.560.000,00/mês (Um milhão e quinhentos e sessenta mil reais mensais)
Valor de Mercado para Venda	R\$ 237.300.000,00 (Duzentos e trinta e sete e trezentos mil reais)
Grau de Fundamentação Obtido	Locação: Grau II e Venda: Grau II
Grau de Precisão Obtido	Locação: Grau III e Venda: Não se aplica

Fonte: COLLIERS TECHNICAL SERVICES LTDA. Nº 12.049A/2023.