



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Lucas Silva Rodrigues

Dark Store: Um estudo comparativo de implementação de modelos de roteirização na cidade de São Paulo.

Florianópolis

2024

Lucas Silva Rodrigues

Dark Store: Um estudo comparativo de Implementação de modelos de roteirização em uma *Dark Store* na cidade de São Paulo.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, habilitação para Engenharia de Produção

Orientador(a): Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.(a)

Florianópolis

2024

Silva Rodrigues, Lucas

Dark Store: Um estudo comparativo de implementação de modelos de roteirização na cidade de São Paulo. / Lucas Silva Rodrigues ; orientador, Ricardo Villarroel Dávalos, 2024.

82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Dark Store. 3. Heurística. 4. Métodos de roteirização. 5. Melhoria operacional. I. Villarroel Dávalos, Ricardo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. III. Título.

Lucas Silva Rodrigues

Título: Dark Store: Um estudo comparativo de Implementação de modelos de roteirização em uma Dark Store na cidade de São Paulo.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil

Local Florianópolis, 16 de dezembro de 2024.

Profa. Mônica Maria Mendes Luna, Dra
Coordenação do Curso

Banca Examinadora

Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.
Orientador

Prof. Carlos Ernani Fries, Dr.
Instituição UFSC

Profa. Fabiana Santos Lima
Instituição UFSC

Florianópolis

2024

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Ricardo Villaroel Dávalos por toda orientação e suporte durante a construção deste Trabalho de Conclusão de Curso.

À Universidade Federal de Santa Catarina como instituição e especialmente ao corpo docente pela formação de excelência.

Agradeço o apoio dado pela minha irmã, Francielle, pela minha mãe, Catarina, e a todos meus amigos que prestaram suporte durante minha trajetória.

RESUMO

O cenário atual, marcado por desafios constantes, exige das empresas uma capacidade ágil de adaptação às variações do mercado, evidenciando a necessidade de identificar oportunidades de melhoria. Com o aumento da exigência dos consumidores, a logística exerce papel fundamental na fidelização e o planejamento inadequado pode afetar significativamente a experiência do cliente. Nesse contexto, é fundamental realizar uma análise estratégica e econômica para minimizar os riscos de falhas e melhorar constantemente os processos.

Este estudo de caráter exploratório, utiliza a metodologia de estudo de caso para analisar melhorias operacionais no processo de roteirização, visando um melhor dimensionamento da frota de uma *Dark Store* situada na cidade de São Paulo. Para embasar o estudo, foi realizada revisão de literatura abrangendo temas fundamentais como logística, heurísticas e métodos de roteirização.

No decorrer do estudo foi analisado o método de roteirização atual da empresa, que se baseia em regiões fixas de entrega. Em seguida, foram aplicados métodos alternativos de roteirização para comparar as melhorias fornecidas por cada um deles em relação ao modelo empregado atualmente. Essa análise permitiu identificar possíveis ganhos de eficiência e verificar como estratégias mais dinâmicas podem melhorar o uso dos recursos logísticos, reduzindo custos e melhorando o desempenho operacional da *Dark Store* estudada.

Palavras chave: *Dark Store*, heurística, métodos de roteirização, melhoria operacional.

ABSTRACT

The current landscape, marked by constant challenges, requires companies to adapt quickly to market fluctuations, highlighting the need to identify improvement opportunities. With increasing consumer demands, logistics plays a fundamental role in customer loyalty, and inadequate planning can significantly impact the customer experience. In this context, conducting a strategic and economic analysis is essential to minimize risks of failure and continuously improve processes.

This exploratory study employs a case study methodology to analyze operational improvements in the routing process, aiming for better fleet sizing for a dark store located in São Paulo. To support the study, a literature review was conducted, covering fundamental topics such as logistics, heuristics, and routing methods.

Throughout the study, the company's current routing method, based on fixed delivery regions, was analyzed. Alternative routing methods were then applied to compare the optimization provided by each one relative to the currently employed model. This analysis helped identify potential efficiency gains and demonstrated how more dynamic strategies could optimize the use of logistical resources, reducing costs and improving the operational performance of the dark store under study.

Keywords: dark store, heuristic, routing methods, operational improvement.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de serviços por região	33
Tabela 2: Resultado da roteirização da empresa	33
Tabela 3: Médias dos parâmetros roteirização da empresa	37
Tabela 4: Quantidade de motoristas e tempos da empresa	37
Tabela 5: Tabela reduzida das demandas dos clientes	39
Tabela 6: Diferenças de latitudes e longitudes da <i>dark store</i> para os clientes.....	39
Tabela 7: Matriz de distâncias reduzida	43
Tabela 8: Roteirização com o Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade...	45
Tabela 9: Médias da roteirização do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade.....	50
Tabela 10: Quantidade de motoristas e tempos do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	50
Tabela 11: Roteirização com o Método do Vizinho mais próximo com Busca de Alternativas	51
Tabela 12: Médias da roteirização do Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	56
Tabela 13: Quantidade de motoristas e tempos do Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção.....	57
Tabela 14: Tabela de reduzida de economias	58
Tabela 15: Roteirização com o Clarke & Wright com Capacidade.....	58
Tabela 16: Médias da roteirização do Clarke & Wright com Capacidade	62
Tabela 17: Quantidade de motoristas e tempos do Clarke & Wright com Capacidade	63
Tabela 18: Comparação entre os métodos: quantidade de rotas	64
Tabela 19: Comparação entre os métodos: quantidade de serviços	65
Tabela 20: Comparação entre os métodos: distância.....	66
Tabela 21: Comparação entre os métodos: taxa de ocupação.....	67
Tabela 22: Comparação entre os métodos: tempo de rota.....	68
Tabela 23: Comparação entre os métodos: veículos	68
Tabela 24: Ranqueamento dos métodos em relação aos parâmetros.....	69

Tabela 25: Demanda dos clientes e diferença de latitude e longitude em relação à Dark Store.....	78
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Junção de nós.....	23
Figura 2: Etapas Metodológicas	28
Figura 3: Descrição das atividades	30
Figura 4: Regionalização da empresa	32
Figura 5: Rotas da empresa em polígono	36
Figura 6 em polígono Figura 6: Rotas do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade em polígono	46
Figura 7: Rota 1 gerada pelo Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade....	48
Figura 8: Rota 46 gerada pelo Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade..	49
Figura 9: Rotas do Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção em polígono	54
Figura 10: Rota 1 gerada pelo Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	55
Figura 11: Última rota gerada pelo Método Vizinho mais próximo com Busca Por Alternativas	56
Figura 12: Rotas do Clarke & Wright com Capacidade representadas no mapa	60
Figura 13: Rota 1 gerada pelo Clarke & Wright com Capacidade	61
Figura 14: Última rota gerada pelo Clarke & Wright com Capacidade	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	13
1.2 PROBLEMA	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 ESTRUTURA DO TCC.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.2 PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS (VRPS)	19
2.3 ALGORITMOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	20
2.4 HEURÍSTICA	21
2.4.1 Vizinho Mais Próximo	21
2.4.2 Clarke & Wright	22
2.5 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM CAPACIDADE (CVRP)	23
2.5.1 Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade.....	23
2.5.2 Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	24
2.5.3 Clarke & Wright com Capacidade.....	24
2.6 DARK STORE	25
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
3. METODOLOGIA	27
3.1. DEFINIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA	27
3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	28
3.3 DELIMITAÇÕES	29
4. ESTUDO DE CASO	30
4.1 A EMPRESA	30
4.1.1 Descrição das atividades	30
4.1.2 Demanda	31
4.1.3 Roteirização por divisão de áreas	31
4.1.4 Quantidade de entregas por região	32
4.1.5 Rotas	33

4.2 ROTEIRIZAÇÃO	38
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	40
4.3.1 Abordagem	41
4.3.2 Aplicação dos métodos de roteirização	44
4.3.2.1 Método do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	44
4.3.2.2 Método do Vizinho Mais Próximo com Busca de Alternativas	51
4.3.2.3 Clarke & Wright com Capacidade.....	57
4.4 COMPARAÇÃO DO RESULTADO OBTIDO PELOS MÉTODOS	63
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	71
5.1 CONCLUSÕES.....	71
5.2 TRABALHOS FUTUROS	72
6. REFERÊNCIAS	74
7. APÊNDICES	78

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada uma contextualização do tema abordado no trabalho, expondo também a problemática de pesquisa. Além disso, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos, bem como a justificativa para a escolha do tema. Por fim, será descrita a estrutura do estudo, oferecendo uma visão geral da estrutura do trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

O crescimento do e-commerce, potencializado pela pandemia mundial de COVID-19, modificou as expectativas do consumidor sobre os padrões para a entrega de produtos (EBIT NIELSEN, 2020). Nesse contexto de rápida transformação, as *Dark Stores* surgem como uma estratégia para enfrentar os desafios da demanda crescente por entregas rápidas e eficientes de consumidores cada vez mais exigentes (VITA & NOBRE, 2020).

Com a finalidade de estar mais próximas dos clientes, as *Dark Stores* são operações de armazenamento, coleta, separação e distribuição localizadas em centros urbanos para pedidos realizados exclusivamente online. A tecnologia fez as *Dark Stores* serem mais presentes no mundo todo e, apesar de o crescimento ser mais facilmente visto em países desenvolvidos, já pode ser observado seu crescimento em solo brasileiro (VITA & NOBRE, 2020).

Na cidade de São Paulo, principal centro econômico do Brasil, a adoção de *Dark Stores* é uma solução inteligente para melhorar a eficiência e reduzir os custos operacionais (YOSHITA et. al, 2021). Diante deste cenário, torna-se relevante realizar a melhoria das rotas, a fim de obter uma roteirização eficaz das entregas, possibilitando que a eficiência operacional e satisfação do cliente seja melhorada e, conseqüentemente, melhorando o tempo de resposta às demandas dos consumidores e dinâmica do mercado (BEKTAS, 2006).

Deste modo, o presente trabalho tem como proposta contribuir com o tema através da aplicação de heurísticas e métodos de roteirização em uma *Dark Store*

localizada na cidade de São Paulo e, através da análise dos resultados obtidos, determinar a menor frota possível para atender à demanda dos consumidores.

1.2 PROBLEMA

A roteirização em *Dark Stores* que utilizam regiões pré-definidas enfrenta desafios que comprometem sua eficiência. Em geral, uma das principais dificuldades apresentadas é a falta de flexibilidade para ajustar rotas, resultando em eventuais ineficiências operacionais que podem estar presentes no mau uso da frota, por exemplo. Além disso, a utilização de regiões fixas pode não refletir a necessidade da operação e do cliente, implicando em dificuldades diárias para enxergar oportunidades de roteirização, tornando-se insustentável à medida que a operação ganha escala.

Diante deste cenário, a tendência é que os custos operacionais se tornem cada vez mais elevados, sendo estes repassados, pelo menos parcialmente, ao consumidor final. Esta abordagem pode ser tornar prejudicial para a empresa no mercado, uma vez que concorrentes que possuem operação com menor custo podem se tornar a preferência de consumidores que buscam constantemente opções mais competitivas.

Sendo assim, tornar o processo de roteirização dinâmico é relevante não só para melhorar os processos internos e possibilitar mais agilidade nas tomadas de decisão do dia a dia, mas também para reduzir custos e melhorar o posicionamento da empresa num mercado cada vez mais agressivo e volátil.

1.3. OBJETIVOS

Nesse tópico são apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, que serviram como base para a consulta do referencial teórico e para o desenvolvimento.

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar modelos roteirização baseados em heurísticas para dimensionamento de frota de uma *Dark Store* na cidade de São Paulo.

1.3.2. Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja atingido, devem ser cumpridos os seguintes objetivos específicos:

1. Modelar e documentar a distribuição geográfica dos clientes a serem atendidos pela *Dark Store* a partir do software RoutEasy;
2. Aplicar três métodos de roteirização para o Problema de Roteirização de Veículos com Capacidades (CVRP) baseados nas heurísticas Vizinho Mais Próximo e Clarke & Wright;
3. Analisar a partir de indicadores chave de desempenho (*Key Performance Indicators* - KPI) os parâmetros retornados para avaliar a solução de diferentes cenários.
4. Representar as soluções de forma cartográfica visando avaliar as rotas geradas pelos métodos de roteirização aplicados.

1.4 JUSTIFICATIVA

No estudo foram aplicadas as heurísticas do Vizinho Mais Próximo e Clarke & Wright com demanda, por gerarem soluções que, apesar de normalmente serem subótimas, são capazes de fornecer um bom resultado inicial que pode ser aprimorado com outras técnicas.

O tema das *Dark Stores* tem ganhado relevância, especialmente no período pós pandemia, pois o isolamento social fez com que diversas lojas físicas tivessem que operar, mesmo que periodicamente, como *Dark Stores*, ou seja, sem a presença de clientes, somente para pedidos realizados online e com entrega em domicílio, possibilitando o atendimento da demanda dos consumidores. Mesmo após este período, os pedidos online têm crescido, pois cada vez mais consumidores têm utilizado este serviço;

No estudo os métodos aplicados são comparados e ranqueados de acordo com os parâmetros analisados. Esta abordagem contribui para o estudo de implantação em outros modelos de negócio com restrições operacionais similares.

Sendo assim, a importância deste trabalho se dá devido à aplicação de heurísticas num caso real com objetivo de avaliar qual melhor se adapta ao cenário da *Dark Store* do estudo.

1.5 ESTRUTURA DO TCC

A estrutura do presente trabalho está organizada em cinco capítulos, cada um com um objetivo específico que contribui para a compreensão abrangente do tema.

O primeiro capítulo apresenta a contextualização do estudo, onde são explanados os objetivos da pesquisa e a justificativa para a escolha do tema, ressaltando a importância de entender como uma boa roteirização impacta na eficiência operacional de uma *Dark Store*.

No segundo capítulo, é apresentado o referencial teórico que fundamenta o trabalho. Aqui são discutidas as principais teorias e conceitos relacionados aos métodos aplicados no trabalho, bem como o conceito de *Dark Store*.

O terceiro capítulo detalha os procedimentos e a metodologia utilizados para a realização da pesquisa. São descritas as etapas do estudo, incluindo a coleta de dados, as ferramentas de análise empregadas e as estratégias adotadas para garantir a robustez e a confiabilidade dos resultados.

O quarto capítulo oferece uma análise aprofundada das subseções que compõem o desenvolvimento da pesquisa. São contextualizados os principais processos da empresa do estudo de caso, bem como apresentado o desenvolvimento do estudo.

O quinto e último capítulo apresenta as discussões finais, onde são explanadas as principais análises e as conclusões da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LOGÍSTICA

Define-se logística como as atividades envolvidas na transformação de matéria-prima em produto acabado, interligando cada parte do sistema com o objetivo de atender às exigências do consumidor final. Além de ser responsável pelo fluxo de materiais, a logística também é responsável pelo fluxo de informações, visando garantir o funcionamento do sistema como um todo (NOVAES, 2016). Já Bowersox et al. (2013, p. 32) definem logística como a projeção e administração de transportes e estoques de matéria-prima, produtos em processamento e produtos acabados, visando consumir a menor quantidade de recursos possível e, conseqüentemente, reduzir o custo final. Para Ballou (2006, p.27), a logística é responsável pelo planejamento, a implantação e o controle do fluxo de mercadorias, serviços e informações, de maneira eficiente e eficaz, desde a origem até o ponto de consumo, cujo objetivo é atender às demandas e exigências dos clientes.

Ballou (2006, p.52 - 53) acrescenta que o sistema logístico é composto por todo o sistema de distribuição, desde a matéria-prima até o consumidor final. Além disso, os problemas de decisão relacionados à distribuição em logística são divididos nos níveis estratégico, tático e operacional. A principal diferença entre eles está no horizonte de tempo: decisões no nível estratégico são relacionadas de longo prazo, comumente de mais de um ano, os de nível tático de médio prazo, normalmente inferior a um ano e o operacional se refere a decisões tomadas no dia a dia e, portanto, considerado de curto prazo.

Segundo a Secretaria de Educação do Ceará (2012, p. 120 - 121), o nível estratégico molda o sistema logístico em aspectos mais gerais, como a decisão da localização de armazéns, escolha dos modais de transporte ou do sistema para processamento de pedidos. As decisões táticas estão voltadas para a utilização dos recursos de maneira eficiente e estão ligadas a investimentos em partes específicas do sistema de distribuição como, por exemplo, a quantidade de veículos e os equipamentos para manuseio dos produtos. Já ao nível operacional compete a supervisão e realização de tarefas para garantir que os produtos tenham fluência em

todo o canal de distribuição. Para isso, este nível executa ações diárias como, por exemplo, roteirização, carregamento de veículos para entrega, embalagem de produtos para o carregamento e manutenção dos registros de inventário.

Moura (2006) ressalta que, em um mercado tão competitivo, o segredo para o sucesso empresarial pode estar na logística e na exploração do potencial de reduzir seus custos, o tempo de atendimento da demanda dos clientes e na melhoria do nível de serviço. Para Christopher (2016), uma das estratégias de diferenciação que pode ser adotada está voltada ao aumento da qualidade do produto e/ou redução de custos, o qual pode ser reduzido através de maior integração entre os elos da cadeia, acarretando redução de tempo de processamento e de custos de transporte, por exemplo.

O transporte é uma etapa essencial para a movimentação de mercadorias e a escolha do modo de transporte adequado é fundamental para o funcionamento adequado da cadeia de suprimentos, possibilitando atender de maneira eficiente as expectativas dos clientes. Deste modo, a gestão de transportes é uma área de alta relevância dentro da estratégia logística (BALLOU, 2007, p. 151 - 155). No Brasil, o principal meio de transporte utilizado é o rodoviário, o qual é adequado para entregas fracionadas e permite que as entregas sejam realizadas de maneira flexível e rápida. Atualmente, estima-se que cerca de 60 a 65% das mercadorias são transportadas através deste meio no país (PRESTEX, 2023).

Deste modo, adotar estratégias de gestão logística que promovam a redução de custos e o aumento do nível de serviço são fundamentais para a competitividade da empresa em um mercado cada vez mais dinâmico e exigente.

2.2 PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS (VRPS)

O problema de roteirização de veículos (VRP) tem a finalidade de determinar um conjunto de rotas que minimize o custo total, o objetivo é atingido através da redução da distância total e do número de veículos, por exemplo. Nos problemas clássicos as rotas iniciam e terminam no depósito e a demanda é determinística, ou seja, cada nó é visitado somente uma vez por um único veículo, cuja capacidade é

limitada em uma ou mais dimensões (peso, volume, caixas etc.) (BELFIORE, FÁVERO & ALVAREZ, 2006). Em cada nó existe uma distância custo associados e o objetivo é minimizá-los (SILVA & RESENDO, 2023). Para que a resolução seja possível e aplicável é necessário compreender e considerar aspectos geográficos, além de analisar restrições de horário no processo de formação das rotas, caso seja uma restrição do problema (BRANCO & GIGIOLI, 2014).

Os problemas de roteirização (VRP) são resolvidos através de algoritmos exatos, os quais são capazes de fornecer a solução ótima do problema, ou de métodos heurísticos, que não necessariamente fornecem uma solução ótima, mas viável (LAPORTE, 1992). Para Laporte *et al.* (2000) as principais características dos problemas de roteirização contemplam:

- Tamanho da frota disponível;
- Origem dos veículos;
- Localização da demanda;
- Restrições de capacidade dos veículos;
- Entre outras variáveis do problema.

O correto mapeamento das restrições do problema de roteirização é essencial para que seja possível gerar uma solução aplicável ao dia a dia da operação.

2.3 ALGORITMOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Para se resolver um problema existem dois componentes principais: representação, cujo objetivo é capturar características relevantes do problema através de tabelas e imagens, por exemplo, e busca, o qual estrutura a representação de maneira lógica para que possa ser resolvido (LUGER, 2013). Para isso, uma das formas mais utilizadas são os algoritmos, os quais segundo Cormen (2009) são definidos como uma sequência finita de ações não ambíguas que, quando executadas, visam a execução de alguma tarefa ou a resolução de algum problema. Para que sua aplicação seja efetiva, há algumas diretrizes que se associam a resolução para a construção de algoritmos:

- Identificação do Problema: nesta etapa é determinado que problema deve ser resolvido e porque objetiva-se resolvê-lo;

- Identificação dos dados de entrada: compreensão de quais informações estão disponíveis e/ou serão disponibilizadas para modelagem e resolução do problema;
- Identificação dos dados de saída: compreensão de quais informações serão geradas como resultado da aplicação do algoritmo;
- Definir os passos a serem realizados: modelar a sequência de ações que devem ser executadas para que o problema possa ser solucionado;
- Concepção do algoritmo: registrar a sequência de comandos, detalhando o máximo possível cada ação dentro de cada passo;
- Teste da solução: execução dos passos do algoritmo construído, seguindo o fluxo estabelecido, para detectar a necessidade de possíveis correções e ajustes.

Algoritmos são aplicados nos mais diversos campos de estudo para resolução de problemas de diversos níveis de complexidade.

2.4 HEURÍSTICA

Define-se heurística como uma técnica que não garante soluções ótimas, mas que objetiva gerar boas soluções em tempo razoável. A solução gerada é factível, mas é impossível aferir o quão próxima está da solução ótima (FERREIRA, 2011). De acordo com Glover e Kochenberger (2003), em problemas logísticos são amplamente difundidas algumas heurísticas específicas, como o Método de *Clarke & Wright* e o Algoritmo do Vizinho Mais Próximo.

2.4.1 Vizinho Mais Próximo

O Método do Vizinho Mais Próximo é comumente utilizado para a obtenção da solução inicial para o problema, podendo ser melhorada através da aplicação de outras técnicas mais robustas (SANTOS, 2006). Em sua aplicação, o Método do Vizinho Mais Próximo considera que o veículo parte do depósito e posteriormente adiciona o vértice mais próximo ainda não visitado à rota. Após esta inclusão, é verificado, entre os vértices ainda não visitados, qual está mais próximo ao vértice inicial, visando reduzir a distância total da rota. Ao final, quando não houver mais

capacidade para atender um vértice ou alguma restrição não seja possível de ser cumprida, é realizada a ligação do último vértice ao depósito. O procedimento se repete para as demais rotas e a aplicação da heurística é finalizada quando todos os pontos são visitados (GOLDBARG E LUNA, 2000).

2.4.2 Clarke & Wright

O algoritmo proposto por Clarke e Wright em 1964 objetiva resolver problemas de roteirização de veículos (GAMA, 2011) e, de acordo com Laporte et al. (2000) é possivelmente a heurística mais conhecida para problemas de roteirização de veículos. Ballou (2006), acrescenta que o objetivo deste método é reduzir a distância total de cada rota gerada.

Laporte (1992) explica que o método se baseia na pior solução inicial, quando todas as rotas são formadas por somente um depósito e um vértice em cada rota. Considerando que um cliente j seja atendido após um cliente i , o veículo percorreria a distância L .

$$L = 2 \times dD,i + 2 \times dD,j \quad (1)$$

A partir da solução inicial busca-se agrupar clientes numa mesma rota, a fim de reduzir a distância total percorrida.

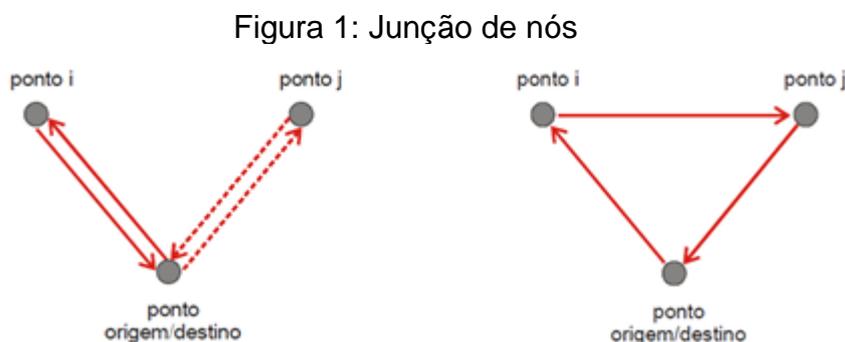
$$L' = dD,i + dD,j + di,j \quad (2)$$

A partir da união dos clientes i e j em uma mesma rota, é gerada uma economia que é representada pela diferença entre L e L' .

$$L - L' = 2 \times dD,i + 2 \times dD,j - (dD,i + dD,j + di,j)$$

$$L - L' = dD,i + dD,j - di,j \quad (3)$$

Se a diferença entre $L - L'$ for positivo, é lucrativa. Geralmente são aceitas mesclas não negativas, mas, se o número de veículos for reduzido, as negativas também podem ser consideradas. A Figura 1 apresenta visualmente esta formação.



Fonte: da Silva et al. (2007)

2.5 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM CAPACIDADE (CVRP)

O Problema de Rotas de Veículos Capacitados (Capacited Vehicle Routing Problem-CVRP) é uma variante do clássico Problema de Roteamento de Veículos (Vehicle Routing Problem -VRP), pois possui capacidade do veículo finita, restrição a ser considerada durante o processo de resolução do modelo. No CVRP todos os clientes são considerados pontos de entrega, as demandas são conhecidas previamente, não podem ser divididas, ou seja, devem ser integralmente atendidas por um único veículo, os veículos são idênticos e o problema possui somente um depósito, sendo este o ponto inicial e final da rota (GILBERT, 2016; AKHAND et al., 2017). Akhand et al. (2017) acrescenta ainda que para resolver o CVRP vários métodos já foram estudados e utilizados, entre os quais muitos atribuem nós de clientes em veículos e geram as rotas.

2.5.1 Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade

Por se tratar de uma heurística, este método tende a gerar resultados subótimos, uma vez que não realiza testes adicionais de resequenciamento dos pedidos e/ou troca entre rotas. Neste método, o veículo inicia na origem e, baseado na menor distância ou menor custo aloca o primeiro pedido na rota, posteriormente é verificada a possibilidade de inclusão do ponto de visita imediatamente mais próximo

ao ponto inserido anteriormente, bem como se sua demanda pode ser alocada no veículo. Quando o ponto de visita mais próximo não pode ser alocado, é então iniciada uma nova rota. O processo se repete até que todos os pontos sejam visitados uma única vez (LAPORTE, 1992).

2.5.2 Método do Vizinho Mais Próximo com Algoritmo de Inserção

Apesar de também ser uma heurística, este método é uma versão aprimorada do Método do Vizinho Mais Próximo e tende a apresentar melhores resultados, pois além do Método do Vizinho Mais Próximo tradicional aplica também a Heurística de Inserção, a qual realizada testes de inserção com mais pedidos (CAMILO et al., 2018). Em sua aplicação, a rota é construída baseada no Método do Vizinho Mais Próximo, entretanto são considerados pedidos mais distantes quando os mais próximos possuem demandas superiores às comportadas pela capacidade remanescente do veículo. Neste método, o veículo inicia na origem e, baseado na menor distância ou menor custo aloca o primeiro pedido na rota, posteriormente é verificada a possibilidade de inclusão do ponto de visita imediatamente mais próximo ao ponto inserido anteriormente, bem como se sua demanda pode ser alocada no veículo. Quando o ponto de visita mais próximo não pode ser alocado, é verificado se o segundo mais próximo pode ser alocado e assim por diante. Somente quando todos os pedidos são verificados é iniciada uma nova rota. O processo se repete até que todos os pontos sejam visitados uma única vez (LAPORTE, 1992).

2.5.3 Algoritmo de *Clarke & Wright* com Demanda

O Clarke & Wright com Capacidade pode ser definido como o método *Clarke & Wright* com a consideração da demanda de cada ponto de entrega. Este algoritmo visa calcular a economia de custo ao unir dois pontos de entrega em uma mesma rota e compará-la com o custo de visitar esses pontos separadamente. Se os custos separados forem mais vantajosos, devem ser mantidos separadamente, se não, uni-los. Com a inclusão de demanda o algoritmo deve avaliar a distância e a demanda dos clientes em conjunto, sendo necessário sempre garantir que a junção de dois clientes não ultrapassará a capacidade máxima do veículo (LAPORTE et al., 2000).

2.6 DARK STORE

A manutenção de estoques de matéria-prima é relevante em todas as cadeias logísticas para que seja possível atender aos níveis de serviço exigidos pelos consumidores. Essa gestão física é realizada pelos Centros de Distribuição (CDs), os quais são responsáveis pelo recebimento, armazenagem, estocagem, manuseio, embalagem, processamento de pedidos, separação da mercadoria, distribuição e administração de informações (REIS, 1996). Diferente dos CDs tradicionais, que são grandes e localizados distantes dos centros urbanos, as *Dark Stores* são pequenos CDs que mais se parecem com lojas comuns, se localizam em centros urbanos e se concentram no atendimento exclusivo de pedidos online (BBC NEWS, 2019).

Apesar de as *Dark Stores* terem surgido na Inglaterra no início dos anos 2000 (FONCILLAS, 2017), foi durante a pandemia de COVID-19 a popularidade das *Dark Stores* cresceu, pois neste período a demanda por compras online disparou. Com a necessidade de manter distanciamento social e evitar aglomerações, muitos varejistas migraram para esse modelo de operação (EBIT NELSEN, 2020). Apesar do fim da pandemia, as *Dark Stores* continuam populares pois, de acordo com o site da BBC News (2019), as *Dark Stores* aproximam as mercadorias dos consumidores tornando as entregas mais ágeis e possibilitando, em alguns casos, que eles possam buscá-las fisicamente.

Outra finalidade das *Dark Stores* é realizar entregas num curto prazo, possibilitando maior fidelização do consumidor à empresa. Entre os setores que mais se utilizam deste modelo estão os de conveniência, especialmente os de alimentos e bebidas como supermercados e distribuidoras de bebidas (E-COMMERCE BRASIL, 2023). Devido a sua localização ser próxima aos consumidores, esse modelo se notabiliza pela oferta de entregas no mesmo dia ou no dia seguinte, em geral, evidenciando o aumento no nível de serviço que pode ser oferecido (TOTVS, 2022). Normalmente as entregas são realizadas por bicicletas e/ou motos, mas também podem ser realizadas por carros dependendo da natureza da demanda (LINX, 2022).

Apesar das diversas vantagens apresentadas, devem ser estudados também possíveis implicações da adoção de uma *Dark Store*, como custo de aluguel, pessoas, transporte, que costumam ser maiores pela inclusão de mais um fracionamento de carga em diversos veículos, e, principalmente, se a localização escolhida possuirá demanda suficiente para a implantação deste modelo de negócio (INFRACOMMERCE, 2023). A gestão deste modelo de negócio precisa ser eficiente para que todos os elos envolvidos atuem em sincronia para o atendimento com excelência ao consumidor final.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As *Dark Stores* surgem como uma solução inovadora para aproximar os pontos de entrega do consumidor final em centros urbanos, atuando como centros de distribuição dedicados a pedidos online, com forte enfoque na entrega rápida e eficiente dos pedidos. Num contexto em que reduções de custos são sempre analisadas, a roteirização de veículos considerando as capacidades e demandas é essencial para o dimensionamento de frota e boa prestação de serviços, a fim de posicionar a empresa de maneira positiva no mercado.

Deste modo, é essencial adotar métodos de roteirização que permitam se adaptar a dinamicidade do mercado e variações de demanda, possibilitando que a empresa tenha maior gerência sobre seus processos e cresça de maneira sustentável e saudável.

3. METODOLOGIA

3.1. DEFINIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA

O presente trabalho se insere na metodologia de estudo de caso, o qual segundo Yin (2018) é uma estratégia de pesquisa que busca entender um fenômeno dentro de seu contexto real, possibilitando o entendimento das variáveis envolvidas.

Um estudo de caso tipicamente apresenta as seguintes etapas: coleta de dados, a qual pode envolver múltiplas fontes de evidência, como entrevistas, observações e documentos, definição do problema, o planejamento da pesquisa, a análise dos dados e a formulação de conclusões (YIN, 2018). A variabilidade de possíveis fontes na etapa de coleta de dados é fundamental, pois contribui para a confiabilidade dos resultados, permitindo maior abrangência de análise, o que fundamenta melhor a pesquisa desenvolvida.

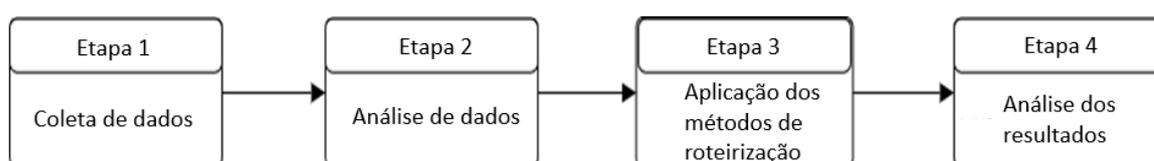
A empresa foi escolhida pela baixa variabilidade de demanda, visto que é uma empresa bem estabelecida em seu mercado de atuação, possibilitando melhor previsibilidade de demanda e, conseqüentemente, de assertividade no dimensionamento de frota para o atendimento das necessidades diárias. Para isso, foram coletados dados históricos de pedidos realizados e entregas entre maio e julho de 2023, os quais possuem demanda, endereço e frota utilizada.

Serão aplicados métodos de roteirização para o Problema de Roteirização de Veículos com Capacidade (CVRP) baseados nas heurísticas de roteirização Vizinho Mais Próximo e *Clarke & Wright*, a fim de obter comparativos com a roteirização atual. Busca-se melhorar a avaliação da quantidade de frota necessária para operacionalizar *Dark Store* em questão e, posteriormente, comparar os resultados obtidos com os planejados pela empresa no período estudado. Após análise pretende-se, se aplicável, propor alterações no processo de definição das rotas e na frota necessária para o atendimento da demanda.

3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

A abordagem do presente trabalho é predominantemente quantitativa, uma vez que tem como objetivo demonstrar por meio de um estudo de caso os benefícios da aplicação da roteirização dinâmica nos custos e processos logísticos de uma empresa de *e-commerce* em São Paulo. O processo metodológico foi dividido em 4 etapas demonstradas na Figura 2 e será detalhado a seguir:

Figura 2: Etapas Metodológicas



Fonte: Autor

A Etapa 1 consistiu na coleta de dados e informações operacionais por meio de questionamentos informais com analistas e gestores da empresa. Em seguida os dados e informações provenientes da Etapa 1 foram analisados para compreender a situação inicial, suas restrições e oportunidades de melhoria. Na Etapa 3 foram aplicadas heurísticas do Vizinho Mais Próximo e Clarke & Wright, além da aplicação de modelo de roteirização para o Problema de Roteirização de Veículos com Capacidades (CVRP). Para a aplicação de cada um dos métodos foi utilizada a matriz de distâncias como base para compreender a distância entre os nós e, posteriormente, aplicado o algoritmo específico de cada método. A Etapa 4 consistiu na análise dos resultados obtidos com a aplicação dos métodos de roteirização da Etapa 3.

O desenvolvimento e os resultados obtidos através da execução das 4 etapas foram comparados com a situação inicial e as melhorias em dimensionamento de frota bem como os diferenciais competitivos da roteirização dinâmica foram evidenciadas. Também foi discutido a viabilidade de execução das melhorias propostas.

3.3 DELIMITAÇÕES

É importante ressaltar que este estudo se concentra na análise dos métodos de roteirização aplicados a *Dark Stores*, focando especificamente em suas implicações operacionais e logísticas. Não será abordada uma avaliação completa do sistema de distribuição, mas sim a eficiência e eficácia dos algoritmos de roteirização. Para a análise, será considerada a região da cidade de São Paulo (SP). Essa delimitação geográfica é relevante, pois permite uma compreensão mais aprofundada das particularidades e desafios enfrentados no contexto urbano de São Paulo (SP).

Este trabalho não envolve a implementação ativa ou a realização de mudanças diretas na organização, limitando-se à análise detalhada e à proposição de melhorias. A abordagem concentra-se na observação, coleta e interpretação de dados relevantes, visando compreender profundamente a situação atual da empresa e oferecer recomendações fundamentadas. Assim, a ausência de ações interventivas e a ênfase em sugestões sem aplicação direta caracterizam a natureza do estudo.

A responsabilidade pela implementação das melhorias sugeridas foi delegada à empresa, o que pode impactar a viabilidade e o tempo necessário para a efetivação dessas mudanças. Além disso, a adoção de práticas ou ferramentas recomendadas pode estar sujeita a restrições internas da organização. Essas condições podem influenciar a capacidade da empresa de implementar integralmente as melhorias propostas, destacando a importância de considerar esses fatores no processo de adoção das sugestões apresentadas.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 A EMPRESA

A empresa objeto deste estudo é de médio porte e atua no setor alimentício e de bens de consumo. A *Dark Store* está localizada em ponto estratégico da cidade de São Paulo e é dedicada exclusivamente ao atendimento de pedidos realizados online. A empresa pretende abrir novas *Dark Stores* e, a fim de conferir maior agilidade em sua operação, utiliza somente motos para realizar as entregas, visto que a unidade não realiza entrega de produtos que ultrapassem o peso e/ou volumetria suportado por esta tipologia de veículo.

4.1.1 Descrição das atividades

As atividades exercidas pela empresa estão altamente vinculadas às demandas e expectativas dos seus consumidores, os quais são de alta importância para a definição das estratégias adotadas pela organização, dado que eles são os geradores de demanda e receptores dela. Deste modo, a satisfação dos clientes é primordial para o bom posicionamento de mercado da empresa.

Dentro das atividades da empresa temos algumas atividades importantes conforme fluxograma da Figura 3 abaixo:



Fonte: Autor

- Realização do Pedido: acesso do cliente ao site ou aplicativo e escolha do(s) produto(s) conforme disponibilidade, solicitação e pagamento do produto, gerando a demanda a ser entregue pela *Dark Store*;
- Separação: separação do(s) produto(s) no estoque do Centro de Distribuição e

geração da documentação do produto.do pedido para que possa ser realizada a transferência;

- Transferência: movimentação de carga entre locais de armazenagem da empresa até que chegue à *Dark Store*, local de onde as entregas serão alocadas em veículos para serem entregues ao destinatário final;

- Entrega: solicitação de descarregamento da mercadoria no destinatário. A execução desta atividade se inicia na *Dark Store*, onde estarão presentes as entregas oriundas de transferência associadas à região de atuação. Nesta atividade é realizado o carregamento do veículo para que o motorista execute a rota pré-determinada pelo setor de planejamento da empresa.

As atividades da empresa se enquadram na tipologia de carga fracionada, pois os produtos dispostos nos veículos possuem grande variabilidade e são entregues em diversos endereços e destinatários durante a realização do trajeto.

4.1.2 Demanda

Para o desenvolvimento deste trabalho foi considerada a demanda de 7 julho de 2023, o qual representa a demanda média da empresa. A empresa possui dados históricos de demanda e considera, como dimensões limitantes de carga do veículo o peso e o volume (m³). No dia analisado a empresa realizou o atendimento de 182 entregas, cujo soma dos pesos é igual a 673,755 kg e 2,207 m³.

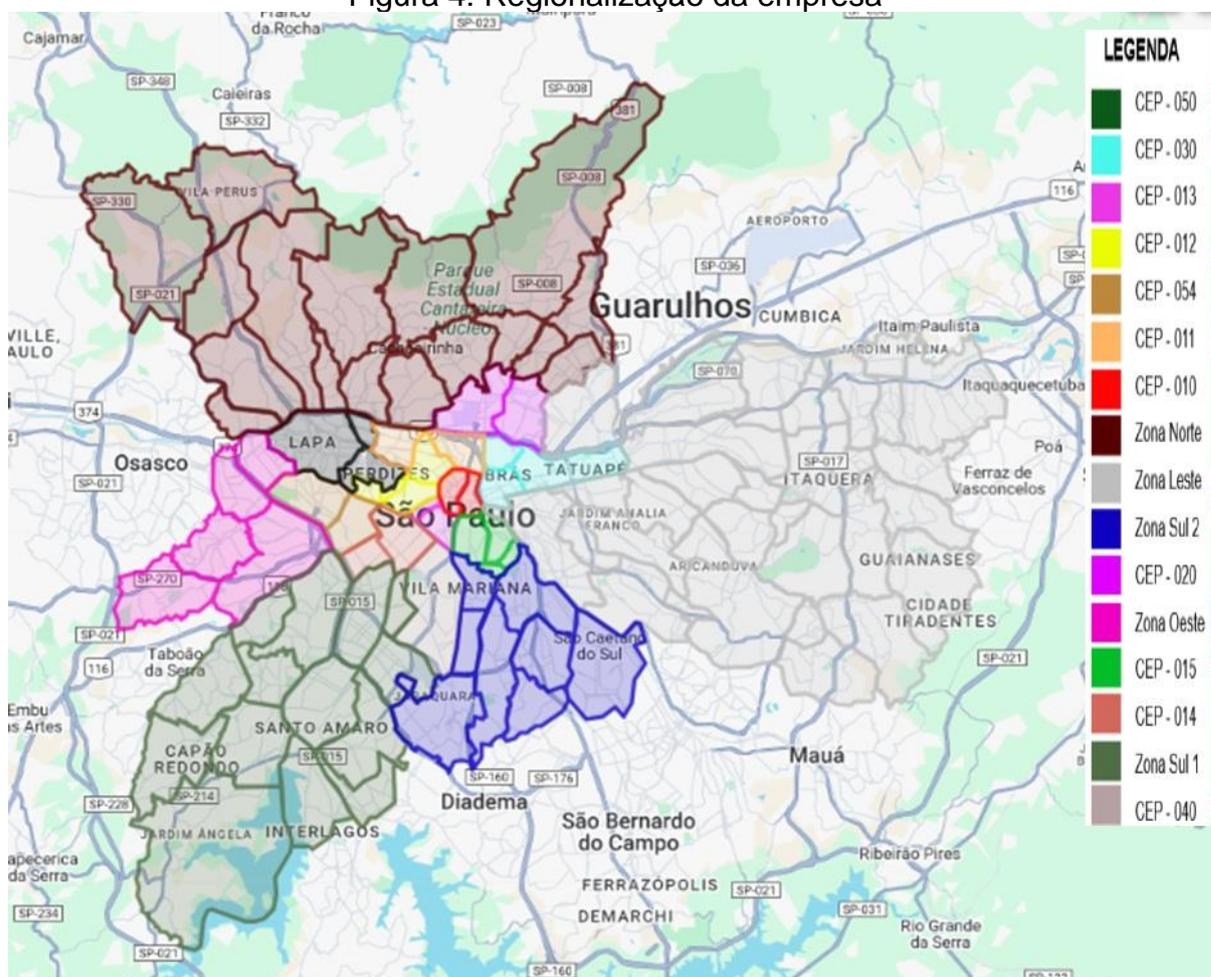
4.1.3 Roteirização por divisão de áreas

No modelo de negócio atual, é trabalhado o conceito de entregas por divisão de áreas por zonas e cabeças de CEP, que facilita bastante o processo de roteirização, uma vez que estas determinam em qual rota cada pedido será alocado. O conhecimento do analista ao longo do tempo agiliza a realização do processo, entretanto possibilita pouca dinamicidade na formação de rota, podendo em muitos casos gerar rotas mal ocupadas e, por consequência, utilizar mais veículos que o

necessário.

As regiões atualizadas atualmente seguem a divisão representada na Figura 4:

Figura 4: Regionalização da empresa



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

A Figura 6 abaixo apresenta a legenda das regiões atualmente utilizadas pela empresa em seu processo de definição de rotas.

4.1.4 Quantidade de pedidos por região

Baseado na demanda e nas regiões atuais, é possível compreender a quantidade de pedidos em cada uma delas. A Tabela 1 apresenta a quantidade de entregas presentes em cada uma das áreas utilizadas no cenário atual da empresa.

Tabela 1: Quantidade de serviços por região

Região	Serviços
CEP – 010	1
CEP – 011	5
CEP – 012	8
CEP – 013	9
CEP – 014	20
CEP – 015	2
CEP – 020	0
CEP – 030	2
CEP – 040	23
CEP – 050	12
CEP – 054	17
Zona Sul 1	67
Zona Sul 2	6
Zona Oeste	3
Zona Norte	3
Zona Leste	4

Fonte: Autor

4.1.5 Rotas

Na data analisada, a empresa realizou 60 rotas, todas executadas por motos, e a respectiva formação delas pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da roteirização da empresa

Rota	Distância (Km)	Serviços	Tempo (h)	Peso (kg)	Ocupação em Kg	Volume (m³)	Ocupação em m³
Rota 1	9,859	5	01:03:12	17,290	96,06%	0,060	92,31%
Rota 2	6,305	3	00:40:54	13,150	73,06%	0,030	46,15%
Rota 3	4,904	3	00:36:02	15,680	87,11%	0,040	61,54%
Rota 4	4,793	3	00:36:47	15,360	85,33%	0,060	92,31%
Rota 5	3,006	3	00:33:12	14,970	83,17%	0,050	76,92%
Rota 6	11,304	3	00:53:56	9,860	54,78%	0,040	61,54%
Rota 7	7,132	1	00:28:37	8,410	46,72%	0,040	61,54%
Rota 8	4,795	1	00:23:33	12,060	67,00%	0,040	61,54%
Rota 9	10,757	1	00:38:01	6,640	36,89%	0,040	61,54%
Rota 10	36,721	5	02:12:42	12,500	69,44%	0,050	76,92%

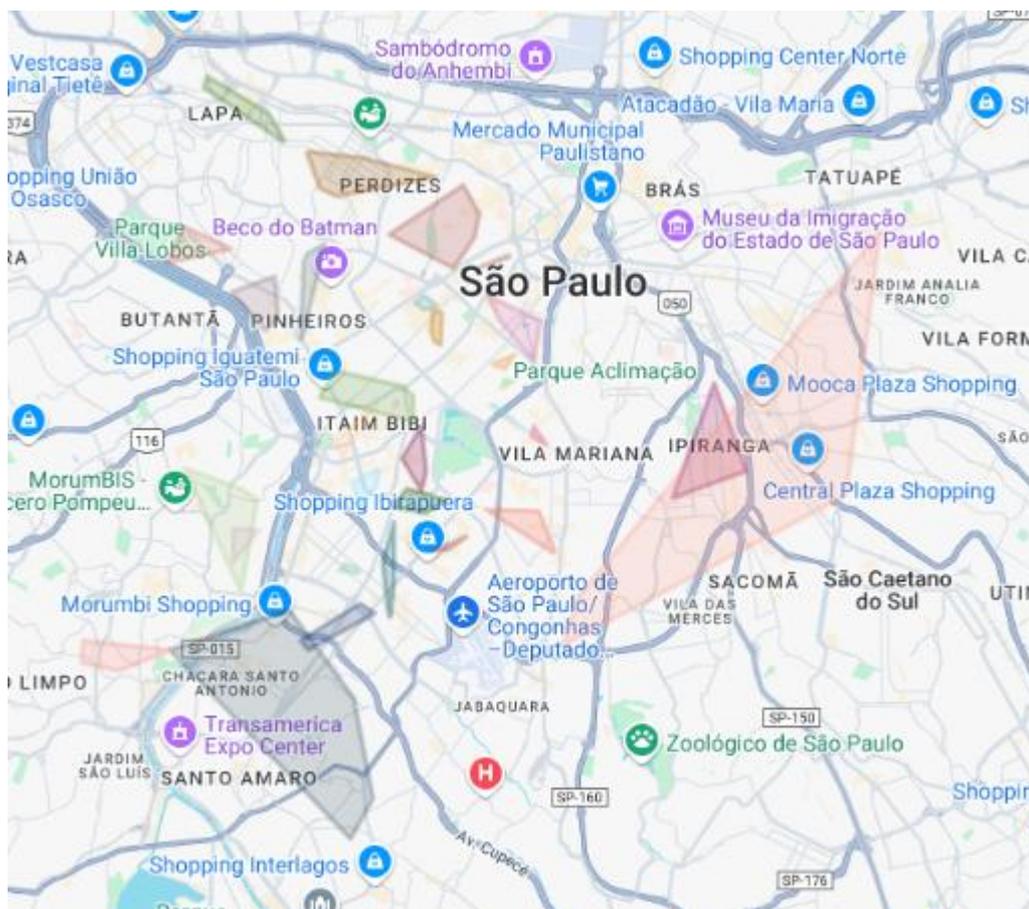
Rota 11	34,536	5	01:56:30	17,250	95,83%	0,060	92,31%
Rota 12	17,999	4	01:21:11	13,650	75,83%	0,030	46,15%
Rota 13	17,108	4	01:14:22	12,720	70,67%	0,050	76,92%
Rota 14	15,089	4	01:10:24	12,650	70,28%	0,020	30,77%
Rota 15	10,376	3	00:49:36	12,240	68,00%	0,050	76,92%
Rota 16	10,509	1	00:37:14	5,660	31,44%	0,040	61,54%
Rota 17	11,329	1	00:42:10	8,950	49,72%	0,040	61,54%
Rota 18	11,974	6	01:15:32	14,250	79,17%	0,040	61,54%
Rota 19	17,989	6	01:29:00	11,220	62,33%	0,040	61,54%
Rota 20	11,512	4	01:01:10	17,050	94,72%	0,050	76,92%
Rota 21	8,457	1	00:31:35	2,150	11,94%	0,010	15,38%
Rota 22	8,580	1	00:37:30	17,430	96,83%	0,020	30,77%
Rota 23	11,360	1	00:42:29	9,530	52,94%	0,030	46,15%
Rota 24	12,337	1	00:43:02	5,17	28,72%	0,03	46,15%
Rota 25	22,938	6	01:46:32	15,41	85,61%	0,06	92,31%
Rota 26	18,536	4	01:21:32	15	83,33%	0,03	46,15%
Rota 27	25,570	4	01:37:40	10,39	57,72%	0,05	76,92%
Rota 28	13,688	1	00:47:35	7,85	43,61%	0	0,00%
Rota 29	19,890	1	01:01:10	10,73	59,61%	0,01	15,38%
Rota 30	16,794	1	00:56:42	3,51	19,50%	0,02	30,77%
Rota 31	11,185	5	01:06:35	17,55	97,50%	0,06	92,31%
Rota 32	9,672	3	00:49:53	17,57	97,61%	0,05	76,92%
Rota 33	9,034	1	00:33:55	3,93	21,83%	0,01	15,38%
Rota 34	23,123	7	01:51:29	14	77,78%	0,05	76,92%
Rota 35	30,874	4	01:40:17	17,53	97,39%	0,06	92,31%
Rota 36	15,566	1	00:49:50	2,27	12,61%	0,02	30,77%

Rota 37	13,205	3	01:00:33	17,57	97,61%	0,06	92,31%
Rota 38	7,285	2	00:38:42	12,86	71,44%	0,03	46,15%
Rota 39	19,822	1	00:58:06	1,87	10,39%	0,02	30,77%
Rota 40	17,993	2	01:02:33	9,68	53,78%	0,03	46,15%
Rota 41	19,303	2	01:08:00	12,64	70,22%	0,04	61,54%
Rota 42	20,172	1	01:00:58	5,75	31,94%	0,02	30,77%
Rota 43	19,273	7	01:42:22	17,55	97,50%	0,05	76,92%
Rota 44	15,197	1	00:49:59	2,75	15,28%	0,02	30,77%
Rota 45	38,885	3	01:48:58	11,01	61,17%	0,04	61,54%
Rota 46	20,842	2	01:14:27	7,5	41,67%	0,02	30,77%
Rota 47	28,152	2	01:28:57	6,72	37,33%	0,01	15,38%
Rota 48	9,317	2	00:40:35	4,01	22,28%	0,02	30,77%
Rota 49	9,281	1	00:30:54	0,89	4,94%	0	0,00%
Rota 50	22,682	1	01:03:34	0,22	1,22%	0	0,00%
Rota 51	12,534	7	01:21:33	16,33	90,72%	0,055	76,92%
Rota 52	16,898	6	01:26:10	17,04	94,67%	0,060	92,31%
Rota 53	13,165	6	01:15:55	16,14	89,67%	0,065	107,69%
Rota 54	35,788	6	02:11:42	14,24	79,11%	0,060	92,31%
Rota 55	21,829	5	01:33:31	17,23	95,72%	0,05	76,92%
Rota 56	27,606	4	01:38:45	16,87	93,72%	0,05	76,92%
Rota 57	23,181	4	01:32:35	16,64	92,44%	0,05	76,92%
Rota 58	31,171	3	01:37:46	15,29	84,94%	0,04	61,54%
Rota 59	25,975	2	01:19:29	6,19	34,39%	0,03	46,15%
Rota 60	23,698	1	01:12:35	5,24	29,11%	0,02	30,77%

Fonte: Autor

A Figura 5 apresenta as rotas em forma de polígono. Cada polígono representa uma rota com seus pedidos e a formação destes sempre considera os pedidos extremos da rota. Esta visualização possibilita a análise de sobreposições de rotas, sendo possível entender se há muitos veículos atuando na mesma localidade e se há a possibilidade de se cruzem durante a execução da rota.

Figura 5: Rotas da empresa em polígono



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Observa-se na figura acima que há poucas sobreposições e que a mais visível é pequena e ocorre no canto direito, no bairro Ipiranga. Isto indica que os veículos atendem regiões específicas do mapa em cada rota.

Este comportamento ocorre devido à elevada quantidade de áreas pré-definidas, pois neste cenário as rotas só podem ser definidas por entregas presentes na mesma área, favorecendo a não sobreposição de rotas. Uma das vantagens

desta abordagem é que os pedidos costumam ser próximos entre si, entretanto pode gerar rotas com ocupação ineficiente, uma vez que roteirizações desta forma não veem oportunidade em pedidos mais distantes que poderiam compor a rota de forma a deixá-la melhor ocupada numa mesma saída do veículo.

Diante do cenário apresentado pela empresa, foi analisado a média dos indicadores, os quais são apresentados na Tabela 3. Este resumo do planejamento possibilita compreender, de maneira resumida, o comportamento geral das rotas geradas pela empresa atualmente.

Tabela 3: Médias dos parâmetros roteirização da empresa

Variável	Média
Distância (km)	16,814
Pedidos	3,033
Tempo (h)	01:07:01
Peso (kg)	11,230
Ocupação em Kg	62,39%
Volume (m³)	0,037
Ocupação em m³	56,92%

Fonte: Autor

Além disso, diante da restrição de os motoristas possuírem jornada máxima de 8 horas num mesmo dia e o tempo de recarregar o veículo ser de, em média, 15 minutos, foi necessário utilizar 11 motos com capacidade de 18 kg e 0,065 m³ para que toda a demanda pudesse ser atendida. A Tabela 4 apresenta o tempo de rota previsto para cada motorista ao longo do dia de trabalho.

Tabela 4: Quantidade de motoristas e tempos da empresa

Motorista	Tempo Planejado (h)
Motorista 1	07:54:13
Motorista 2	07:29:46
Motorista 3	07:18:56
Motorista 4	07:39:54
Motorista 5	07:37:34
Motorista 6	07:51:46
Motorista 7	07:59:29

Motorista 8	07:39:19
Motorista 9	07:03:28
Motorista 10	07:41:32
Motorista 11	04:39:50

Fonte: Autor

Nota-se que o motorista com maior tempo de rota nesta data foi o “Motorista 7”. A estratégia da empresa é alocar o maior tempo de rota possível para cada motorista, gerando desequilíbrio de demanda para o “Motorista 11”, que ocupou pouco mais da metade do seu dia com execução de rotas. Esta abordagem possibilita que o “Motorista 11” possa ficar de reserva durante o restante do seu tempo para eventuais eventos inesperados com algum motorista ainda em operação.

4.2 ROTEIRIZAÇÃO

Coleta de dados

A coleta de dados é uma etapa fundamental na pesquisa, pois fornece as informações necessárias para a análise e interpretação dos resultados. Neste trabalho, foram utilizadas as abordagens quantitativas, que são os dados propriamente ditos, e qualitativas, a fim de compreender detalhes operacionais que não estavam claros nos dados fornecidos. Deste modo, foi possível obter uma visão mais abrangente dos dados e do processo de decisão atual da empresa estudada.

Foi coletada a demanda individual de cada um dos clientes nas dimensões peso (kg) e volume (m³), bem como as respectivas latitude e longitude de entrega. Além disso, foram realizados questionamentos a gerentes e analistas a fim de compreender as restrições e particularidades operacionais.

Análise de dados

A partir dos dados coletados e com a compreensão operacional, realizou-se a organização dos dados, com o objetivo de validar a necessidade de possíveis ajustes e, após validação, formatá-los para realizar a aplicação dos métodos

propostos. A Tabela 5 é uma tabela reduzida das demandas, organizadas do maior para o menor valor em relação a dimensão peso (kg). A tabela completa pode ser observada na Tabela 25, na sessão apêndices.

Tabela 5: Tabela reduzida das demandas dos clientes

Cliente	Peso (kg)	Volume (m ³)
Cliente 60	17,430	0,025
Cliente 179	12,426	0,033
Cliente 164	12,064	0,037
Cliente 24	10,730	0,014
Cliente 172	10,647	0,032
Cliente 130	9,637	0,036
Cliente 10	9,530	0,026
Cliente 169	9,250	0,004
Cliente 122	9,225	0,037
Cliente 137	8,950	0,037
Cliente ---	---	---
Cliente ---	---	---
Cliente 116	0,500	0,003
Cliente 128	0,500	0,001
Cliente 41	0,350	0,002
Cliente 149	0,330	0,001
Cliente 70	0,290	0,001
Cliente 97	0,280	0,001
Cliente 156	0,250	0,001
Cliente 3	0,220	0,001
Cliente 136	0,160	0,001
Cliente 50	0,040	0,001

Fonte:Autor

Além disso, foi elaborada a Tabela 6 para comparar a distância dos pedidos em quilômetros em relação à *Dark Store*. Esta tabela é uma redução e a tabela completa pode ser observada na Tabela 25, na sessão apêndices.

Tabela 6: Diferenças de latitudes e longitudes da *dark store* para os clientes

Local	Latitude	Longitude	Distância em km da Dark Store
Dark Store	0	0	0
Cliente 80	-0,004320428	-0,003653339	0,62866058
Cliente 88	-0,000722528	-0,006472839	0,723663919
Cliente 29	-0,002257028	-0,007103039	0,828103822

Cliente 39	-0,001552928	-0,008026739	0,908388833
Cliente 58	0,009338672	-0,002555039	1,075754975
Cliente 164	-0,007672128	-0,010913439	1,482245307
Cliente 135	0,008212572	-0,010775239	1,505333948
Cliente 62	0,002798772	-0,013448239	1,526249713
Cliente 92	-0,008015328	0,011400261	1,548426277
Cliente 165	0,012435472	-0,006375539	1,552713934
Cliente ---	---	---	---
Cliente ---	---	---	---
Cliente 179	-0,033056228	-0,095405239	11,21873983
Cliente 173	0,066188072	-0,076541539	11,24324947
Cliente 182	0,068262672	-0,076066539	11,35602408
Cliente 84	-0,044252328	-0,096841139	11,83020201
Cliente 35	-0,048566328	-0,095100439	11,86474896
Cliente 128	-0,033838128	-0,101445039	11,8820781
Cliente 7	-0,035837328	-0,101585839	11,96897467
Cliente 163	0,095662172	-0,052068239	12,10148215
Cliente 91	-0,042654128	-0,102355039	12,32065553
Cliente 45	-0,046849628	-0,102777939	12,55011547

Fonte: Autor

Com estes dados em mãos foi possível compreender, de maneira mais organizada, quais dados foram disponibilizados e, com isso em mãos, foram elaboradas as etapas seguintes para aplicar os métodos propostos.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O problema da empresa apresentou diversas restrições, as quais foram incluídas na modelagem do problema para que pudessem ser respeitadas durante a execução dos métodos, a fim de refletir a realidade operacional da maneira mais fidedigna possível. O problema de dimensionamento de frota foi modelado como um problema de roteirização que possui as seguintes características:

- Um depósito;
- Frota homogênea;
- Múltiplos veículos do tipo moto;
- Limite de capacidade dos veículos nas dimensões peso (kg), igual a 18, e volume (m³), 0,065;
- Múltiplas rotas de um mesmo veículo durante o dia;
- Tempo de reabastecimento igual a 15 minutos;

- Tempo de atendimento fixo de 5 minutos em cada cliente e variável de 20 segundos por quilo;
- Tempo máximo de jornada igual a 8 horas diárias;
- Demanda de 182 entregas, totalizando 673,775 kg e 2,207 m³.

Diante deste cenário, tem-se como objetivo principal deste estudo a minimização da frota de modo a atender a demanda diária. Para isso, será utilizado o do modelo de roteirização dinâmica, sem regiões pré-definidas, visando cumprir as restrições, minimizar a distância entre os pedidos componentes de uma mesma rota e avaliar todos os pedidos possíveis de serem incluídos de acordo com a definição método aplicado.

4.3.1 Abordagem

Para a resolução do problema, foi utilizado o *software* Microsoft Excel, uma ferramenta útil e popular para a organização, análise e visualização de dados. O *software* permite a modelagem e resolução de problemas de diferentes níveis de complexidade, oferecendo uma abordagem prática e acessível para diversas finalidades. Nesse contexto, o problema foi modelado como um problema de roteirização e sua resolução é realizada em duas etapas: 1) Cálculo da Matriz de Distâncias; 2) Aplicação do Método de Roteirização.

Na primeira fase, denominada Cálculo da Matriz de Distâncias, são calculadas as distâncias entre o depósito e cada pedido, bem como a distância entre eles, a fim de determinar a proximidade entre cada nó envolvido no problema de roteirização.

Na segunda fase, denominada Aplicação do Método de Roteirização, são utilizadas as restrições iniciais do problema e as distâncias obtidas na primeira fase para determinar a composição da frota necessária para o atendimento da demanda proposta, tendo em vista o objetivo de minimizar a frota e a distância total das rotas, além maximizar a ocupação dos veículos.

Após aplicação dos métodos e obtenção dos resultados, as rotas geradas foram replicadas no *software* RoutEasy, sistema de roteirização para otimização de rotas. O sistema oferece inteligência de roteirização, entretanto para efeito deste estudo foi utilizado somente o mapa para visualização das rotas geradas pelos métodos aplicados. Esse processo permitiu visualizar a distribuição geográfica das rotas, proporcionando uma compreensão mais aprofundada da solução proposta por cada método.

Cálculo da Matriz de distâncias

A matriz de distâncias desempenha um papel fundamental em algoritmos de roteirização, servindo de base para determinar como os dados devem ser agrupados e, desse modo, influenciando diretamente nos resultados gerados e na análise destes. O objetivo geral da Matriz de Distâncias é apresentar a distância entre cada dupla de nós do problema e é de extrema relevância que os dados sejam gerados com qualidade, uma vez que este é o dado inicial para resolução do problema como um todo (JAIN, 2010).

Para definir as distâncias entre os nós foi utilizada a fórmula da distância Euclidiana entre dois pontos, que se baseia no teorema de Pitágoras, o qual calcula a linha reta mais curta entre dois pontos, levando em consideração as diferenças nas coordenadas nas direções X e Y. A distância é obtida ao elevar ao quadrado essas diferenças para que a solução apresente sempre valor positivo, somá-las e tirar a raiz quadrada do resultado. Deste modo, foi utilizada a seguinte fórmula para definir a distância entre dois pontos:

$$X = \sqrt{(\text{Latitude Y} - \text{Latitude Z})^2 + (\text{Longitude Y} - \text{Longitude Z})^2} \times 111,1:$$

- X é a distância calculada entre os nós;
- Latitude Y é a latitude do primeiro serviço escolhido;
- Latitude Z é a latitude do segundo serviço escolhido;
- Longitude Y é a longitude do primeiro serviço escolhido;
- Longitude Z é a longitude do segundo serviço escolhido;

- 111,1 é o fator de correção do raio de curvatura da Terra em quilômetros.

A menor distância entre dois pontos numa superfície é o arco da superfície, ou seja, uma linha que segue o formato do objeto. No caso da Terra, por não plana, é relevante seguir sua curvatura, pois, de outro modo, estaria sendo considerado que a linha está cortando o planeta. Deste modo, o fator de correção deve ser aplicado. Torge (2016), explica que é utilizado o valor médio de 111,1 km por grau de latitude como aproximação prática. Com esta aproximação é possível efetuar cálculos de distância mais básicos.

Como resultante deste cálculo entre todos os pares de nós, é gerada a Matriz de Distâncias, na qual cada célula do Excel representa a distância entre um ponto e outro, facilitando a visualização e o posterior cálculo de rotas. A Tabela 7 é uma redução da tabela utilizada para a resolução do estudo de caso e representa as distâncias entre todas as possibilidades do Cliente 1 ao 10 entre si:

Tabela 7: Matriz de distâncias reduzida

	Dark Store	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4	Cliente 5	Cliente 6	Cliente 7	Cliente 8	Cliente 9	Cliente 10
Dark Store	0	8,02701773	6,01826375	8,30183576	7,13642583	8,37632597	8,40572321	11,9689747	9,74170874	8,42098327	4,5603805
Cliente 1	8,02701773	0	4,38756618	15,3198477	11,7601176	10,9411767	5,9512851	8,34055678	14,372386	14,3976162	9,48621346
Cliente 2	6,01826375	4,38756618	0	14,2868853	7,50361979	6,55765999	2,67854443	6,18686506	10,0370444	10,312766	5,52417112
Cliente 3	8,30183576	15,3198477	14,2868853	0	13,3118693	15,5100129	16,7052946	20,2614508	15,0605613	12,6543801	11,6210134
Cliente 4	7,13642583	11,7601176	7,50361979	13,3118693	0	2,70702665	7,75147685	10,1201712	2,74888525	3,05570123	2,69106784
Cliente 5	8,37632597	10,9411767	6,55765999	15,5100129	2,70702665	0	5,91247369	7,67644973	3,98710537	5,53924173	3,96751755
Cliente 6	8,40572321	5,9512851	2,67854443	16,7052946	7,75147685	5,91247369	0	3,57499826	9,84063448	10,7895728	6,59990019
Cliente 7	11,9689747	8,34055678	6,18686506	20,2614508	10,1201712	7,67644973	3,57499826	0	11,5861218	13,1392748	9,66559501
Cliente 8	9,74170874	14,372386	10,0370444	15,0605613	2,74888525	3,98710537	9,84063448	11,5861218	0	2,65027444	5,42495031
Cliente 9	8,42098327	14,3976162	10,312766	12,6543801	3,05570123	5,53924173	10,7895728	13,1392748	2,65027444	0	4,91576204
Cliente 10	4,5603805	9,48621346	5,52417112	11,6210134	2,69106784	3,96751755	6,59990019	9,66559501	5,42495031	4,91576204	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: Autor

Ao cruzar o dado apresentado na coluna e na linha obtém-se a distância entre os dois pontos comparados.

Com a obtenção desta matriz, foi possível compreender a distância entre cada cliente entre si e entre a *Dark Store* e cada cliente, possibilitando a aplicação dos métodos propostos.

4.3.2 Aplicação dos métodos de roteirização

Métodos de roteirização permitem planejar rotas mais rápidas e econômicas, reduzindo custos e aumentando a satisfação do cliente. Com o crescimento das cadeias de suprimento, a aplicação dessas técnicas é de grande relevância para manter e aumentar a competitividade no mercado.

4.3.2.1 Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade

Neste método, após o cálculo da matriz de distâncias, é verificada a menor distância entre a *Dark Store* e os pedidos. A distância é verificada através do cruzamento entre a linha que representa a *Dark Store* e a coluna que representa o pedido. O pedido ainda não alocado em nenhuma rota e, portanto, disponível mais próximo é o primeiro a ser alocado na rota em formação. Após alocar o primeiro pedido, é verificado então o pedido mais próximo em relação ao último pedido alocado. Assim que este pedido é identificado, é analisado se o tempo de rota, peso (kg) e volume (m³) do pedido selecionado somado aos pedidos já alocados na rota não extrapola as restrições do veículo. Caso não extrapole, é verificada a inclusão de mais um pedido seguindo o mesmo procedimento. O processo segue até que o pedido mais próximo não possa ser alocado, iniciando assim a criação de uma nova rota. É seguido este passo a passo até que todos os pedidos sejam atendidos.

A partir da aplicação do método foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8: Roteirização com o Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade

Rota	Distância (Km)	Serviços	Tempo (h)	Peso (kg)	Ocupação em Kg	Volume (m ³)	Ocupação em m ³
Rota 1	2,113	3	00:26:23	15,420	85,67%	0,048	73,85%
Rota 2	3,596	3	00:30:35	14,905	82,81%	0,052	80,00%
Rota 3	4,298	4	00:38:17	16,777	93,21%	0,027	41,54%
Rota 4	6,839	3	00:41:08	17,766	98,70%	0,062	95,38%
Rota 5	3,097	1	00:16:39	7,500	41,67%	0,032	49,23%
Rota 6	3,554	3	00:30:44	15,683	87,13%	0,043	66,15%
Rota 7	7,501	5	00:52:53	17,157	95,32%	0,055	84,62%
Rota 8	10,005	6	01:05:30	17,803	98,91%	0,069	106,15%
Rota 9	8,344	7	01:05:32	17,635	97,97%	0,052	80,00%
Rota 10	10,929	3	00:50:53	10,741	59,67%	0,043	66,15%
Rota 11	7,095	2	00:34:12	9,685	53,81%	0,047	72,31%
Rota 12	24,255	4	01:36:17	13,795	76,64%	0,059	90,77%
Rota 13	8,428	5	00:55:00	15,256	84,76%	0,062	95,38%
Rota 14	9,552	9	01:17:37	13,180	73,22%	0,041	63,08%
Rota 15	7,022	1	00:31:34	17,430	96,83%	0,025	38,26%
Rota 16	8,433	3	00:44:28	13,636	75,76%	0,031	47,69%
Rota 17	12,036	5	01:06:30	17,822	99,01%	0,052	80,00%
Rota 18	8,501	5	00:54:36	13,415	74,53%	0,051	78,46%
Rota 19	9,157	4	00:52:51	17,389	96,61%	0,055	84,62%
Rota 20	8,890	3	00:46:25	15,418	85,66%	0,052	80,00%
Rota 21	14,169	5	01:09:40	8,384	46,58%	0,044	67,69%
Rota 22	12,333	4	00:59:48	10,056	55,87%	0,054	83,08%
Rota 23	8,966	2	00:39:13	8,162	45,34%	0,049	75,38%
Rota 24	11,163	3	00:53:59	17,997	99,98%	0,059	90,77%
Rota 25	14,760	7	01:24:32	17,715	98,42%	0,033	50,77%
Rota 26	15,470	3	01:05:49	15,300	85,00%	0,056	86,15%
Rota 27	15,011	4	01:08:38	12,822	71,23%	0,047	72,31%
Rota 28	30,457	4	01:55:01	15,018	83,43%	0,039	60,00%
Rota 29	16,517	6	01:24:26	16,842	93,57%	0,066	101,54%
Rota 30	15,307	4	01:10:31	15,831	87,95%	0,047	72,31%
Rota 31	15,559	4	01:10:43	14,180	78,78%	0,060	92,31%
Rota 32	13,828	2	00:56:34	17,100	95,00%	0,005	7,69%
Rota 33	15,414	3	00:58:31	11,558	64,21%	0,031	47,69%
Rota 34	16,404	5	01:17:17	11,388	63,27%	0,055	84,62%
Rota 35	17,335	3	01:16:16	15,090	83,83%	0,035	53,85%
Rota 36	18,341	5	01:22:16	9,180	51,00%	0,049	75,38%
Rota 37	16,859	2	01:04:05	12,761	70,89%	0,046	70,77%
Rota 38	17,588	4	01:16:25	13,299	73,88%	0,035	53,85%
Rota 39	16,923	2	01:03:51	11,525	64,03%	0,030	46,15%
Rota 40	17,414	3	01:11:41	15,680	87,11%	0,040	61,54%

Rota 41	26,937	5	01:49:54	15,867	88,15%	0,065	100,00%
Rota 42	24,543	3	01:33:30	17,890	99,39%	0,065	100,00%
Rota 43	23,546	6	01:45:17	17,101	95,01%	0,062	95,38%
Rota 44	25,048	4	01:39:20	15,936	88,53%	0,046	70,77%
Rota 45	22,972	4	01:33:44	17,534	97,41%	0,058	89,23%
Rota 46	46,865	4	02:44:06	16,747	93,04%	0,056	86,15%
Rota 47	25,100	2	01:25:39	4,399	24,44%	0,017	26,15%

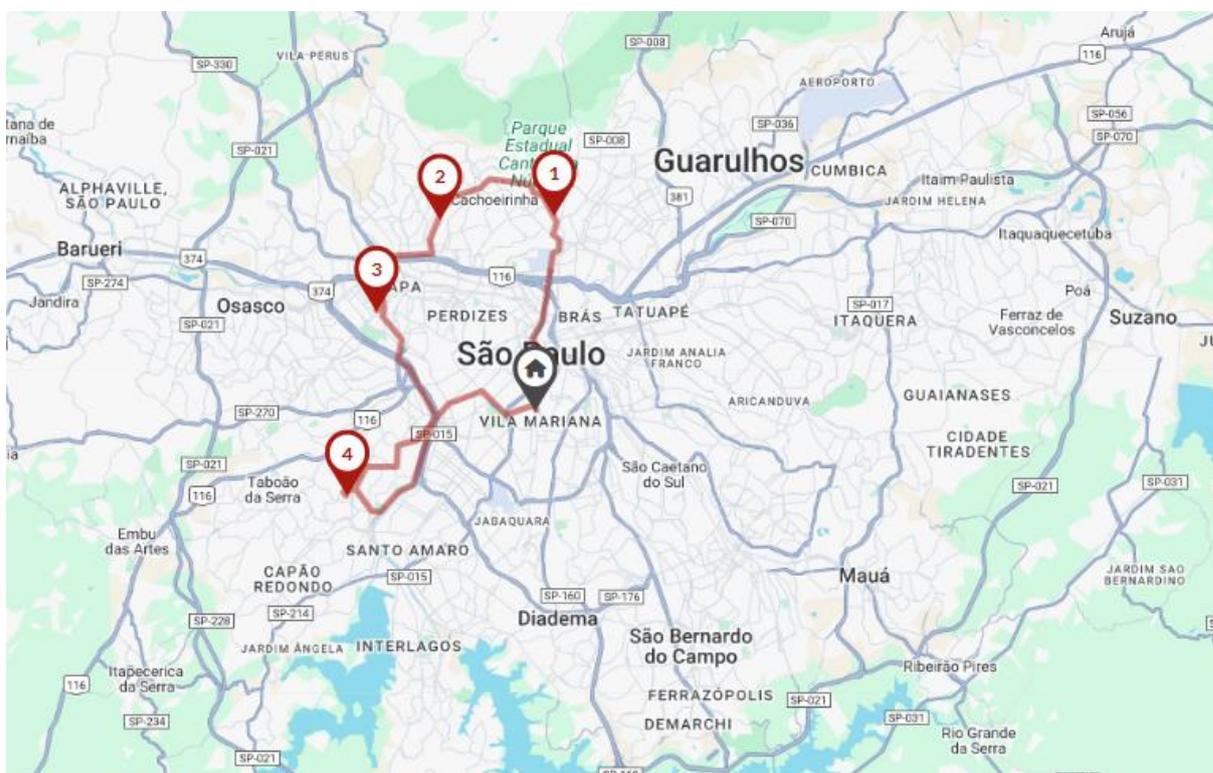
Fonte: Autor

As primeiras rotas tendem a apresentar menor quilometragem e a não se sobreporem, visto que o método aloca primeiramente o pedido disponível mais próximo à *Dark Store* e, posteriormente, o pedido disponível mais próximo ao último pedido inserido na rota. Entretanto, uma nova rota é gerada sempre que o pedido mais próximo não pode ser alocado na rota em avaliação. Este método tende a gerar maior quantidade de rotas, pois não busca nenhuma alternativa além do pedido mais próximo, aumentando a possibilidade de serem formadas rotas com baixa ocupação.

O mesmo resultado também é apresentado na Figura 6 em polígonos, a fim de verificar visualmente as sobreposições que podem ter sido geradas pelo método.

Figura 6: Rotas do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade em polígono

Figura 8: Rota 46 gerada pelo Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Como o método considera também as demandas, os pedidos da Rota 46 não puderam ser alocadas em rotas próximas a elas, pois a inclusão destes nas rotas próximas excederia a ocupação máxima do veículo. Quando o primeiro pedido da Rota 46 foi alocado já não havia pedidos tão próximos disponíveis e, por definição do método, deve ser avaliado o pedido mais próximo disponível, que pode ser algum em localidade dispersa no mapa.

Com a aplicação dos métodos, foram gerados os indicadores que são representados na Tabela 9 abaixo, a fim de compreender de maneira resumida o comportamento geral das rotas geradas pelo método.

Tabela 9: Médias da roteirização do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade

Variável	Média
Distância (km)	14,436
Pedidos	3,872
Tempo (h)	01:06:47
Peso (kg)	14,336
Ocupação em Kg	79,64%
Volume (m ³)	0,047
Ocupação em m ³	72,24%

Fonte: Autor

Nota-se que o método apresenta praticamente 4 pedidos e média inferior a 15 quilômetros por saída do veículo, dados melhores que os do cenário inicialmente apresentado pela empresa, uma vez que se objetiva aumentar a quantidade de pedidos por saída com a menor quilometragem possível. Além destes dados, também foi analisada a quantidade de motoristas / veículos necessários para o atendimento da demanda e o tempo de trabalho planejado para cada um deles é apresentado na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10: Quantidade de motoristas e tempos do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade

Motorista	Tempo Planejado (h)
Motorista 1	07:36:23
Motorista 2	07:31:50
Motorista 3	07:43:43
Motorista 4	07:33:48
Motorista 5	07:49:43
Motorista 6	07:16:18
Motorista 7	07:16:52
Motorista 8	04:24:45

Fonte: Autor

Analisando a tabela acima, observa-se que 7 dos 8 motoristas têm tempo de trabalho planejado superior a 7 horas, sendo que o tempo máximo de jornada de trabalho é de 8 horas. Sendo assim, o método apresentou redução de quantidade de veículos necessários e ainda manteve um motorista com taxa de ocupação diária em

rotas pouco acima de 50% do tempo disponível. Na operação, este motorista poderá ser utilizado como um motorista reserva para possíveis eventualidades com motoristas ainda em execução de rotas.

4.3.2.2 Método do Vizinho Mais Próximo com Busca de Alternativas

Assim como no Método do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade, após o cálculo da matriz de distâncias, é verificada a menor distância entre a *Dark Store* e os pedidos. A distância também é verificada através do cruzamento entre a linha que representa a *Dark Store* e a coluna que representa o pedido. O pedido ainda disponível de menor distância em relação a *Dark Store* é o primeiro a ser alocado na rota em formação. Após alocar o primeiro pedido, é identificado então o pedido mais próximo a este e, posteriormente, é analisado se os parâmetros necessários para o incluir na rota são cumpridos (tempo de rota, peso (kg) e volume (m³), por exemplo). Caso a resposta seja positiva, o pedido é alocado, se não, é analisado o segundo pedido mais próximo ao último pedido alocado à rota. O processo segue até que seja alocado na rota o pedido mais próximo possível que cumpra as restrições, ou até que sejam analisados todos os pedidos e seja concluído que nenhum pode ser alocado de acordo com as restrições operacionais. Neste cenário, é iniciada a formação de uma nova rota. Este processo se repete até que todos os pedidos sejam alocados em alguma rota.

A partir da aplicação do método foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11: Roteirização com o Método do Vizinho mais próximo com Busca de Alternativas

Rota	Distância (Km)	Serviços	Tempo (h)	Peso (kg)	Ocupação em Kg	Volume (m ³)	Ocupação em m ³
Rota 1	27,242	8	02:06:29	17,920	99,56%	0,054	83,08%
Rota 2	9,104	5	00:57:50	17,795	98,86%	0,059	90,77%
Rota 3	14,053	6	01:17:30	17,925	99,58%	0,039	60,00%
Rota 4	7,654	4	00:48:35	17,908	99,49%	0,044	67,69%
Rota 5	15,889	5	01:17:44	17,302	96,12%	0,065	100,00%
Rota 6	7,096	4	00:46:57	17,939	99,66%	0,057	87,69%
Rota 7	22,400	6	01:41:18	15,311	85,06%	0,065	100,00%

Rota 8	8,651	4	00:50:11	13,845	76,92%	0,065	100,00%
Rota 9	17,260	7	01:31:20	15,985	88,81%	0,065	100,00%
Rota 10	13,665	3	01:00:06	14,153	78,63%	0,065	100,00%
Rota 11	14,719	7	01:24:11	17,056	94,76%	0,065	100,00%
Rota 12	10,482	7	01:12:03	18,202	101,12%	0,065	100,00%
Rota 13	10,022	6	01:05:35	17,880	99,33%	0,047	72,31%
Rota 14	15,914	3	01:07:59	17,840	99,11%	0,027	41,33%
Rota 15	9,905	4	00:55:08	17,573	97,63%	0,039	60,00%
Rota 16	17,630	7	01:33:02	17,813	98,96%	0,065	100,00%
Rota 17	19,231	6	01:32:46	17,799	98,88%	0,064	98,46%
Rota 18	16,189	4	01:13:48	17,881	99,34%	0,058	89,23%
Rota 19	17,779	6	01:28:26	17,696	98,31%	0,061	93,85%
Rota 20	40,576	6	02:34:30	13,749	76,38%	0,065	100,00%
Rota 21	11,163	3	00:53:59	17,997	99,98%	0,059	90,77%
Rota 22	13,284	5	01:10:12	17,830	99,06%	0,043	66,15%
Rota 23	33,929	5	02:11:16	17,968	99,82%	0,065	100,00%
Rota 24	33,876	5	02:11:01	17,688	98,27%	0,041	63,08%
Rota 25	16,066	4	01:12:37	15,392	85,51%	0,065	100,00%
Rota 26	13,828	2	00:56:34	17,100	95,00%	0,005	7,69%
Rota 27	11,403	3	00:54:15	16,650	92,50%	0,063	96,92%
Rota 28	20,117	4	01:25:03	16,787	93,26%	0,063	96,92%
Rota 29	11,917	3	00:44:18	14,522	80,68%	0,041	63,08%
Rota 30	14,367	4	01:02:26	14,898	82,77%	0,062	95,38%
Rota 31	15,916	3	01:11:33	13,532	75,18%	0,062	95,38%
Rota 32	17,582	4	01:17:41	17,174	95,41%	0,051	78,46%
Rota 33	23,887	3	01:30:52	15,791	87,73%	0,061	93,85%
Rota 34	17,420	4	01:17:02	16,644	92,47%	0,052	80,00%
Rota 35	22,643	3	01:27:54	17,940	99,67%	0,051	78,46%
Rota 36	26,937	5	01:49:54	15,867	88,15%	0,065	100,00%
Rota 37	31,794	5	02:05:01	18,171	100,95%	0,064	98,46%
Rota 38	19,715	3	01:19:09	17,659	98,11%	0,048	73,85%
Rota 39	44,491	4	02:36:24	14,717	81,76%	0,053	81,54%
Rota 40	22,437	1	01:15:27	12,426	69,03%	0,033	50,77%
Rota 41	23,729	1	01:17:37	7,450	41,39%	0,026	40,00%

Fonte: Autor

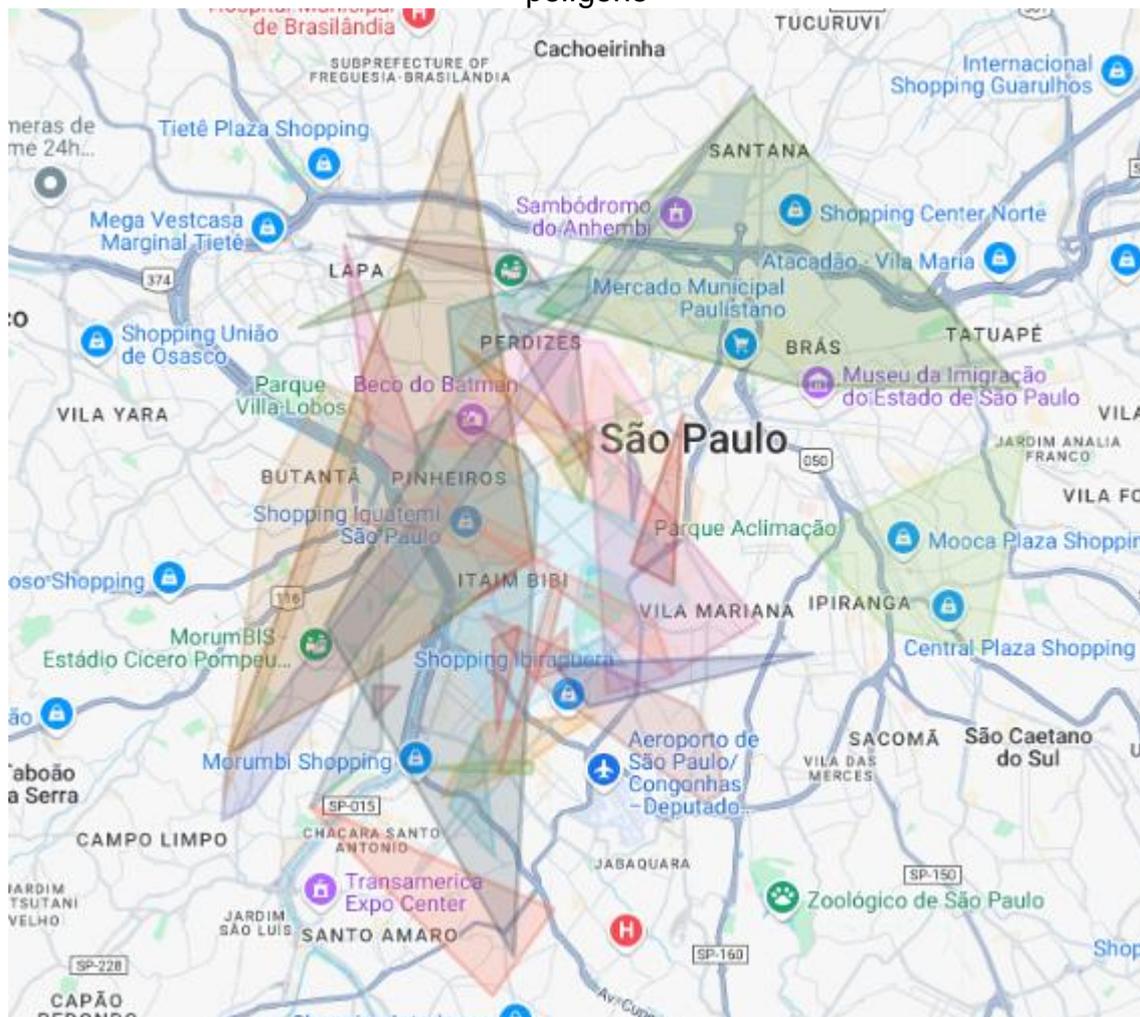
Neste método as rotas tendem a se sobrepor, visto que o método busca alocar o pedido mais próximo possível, não limitando-se somente ao mais próximo. Diferentemente do método anterior, se o pedido mais próximo não puder ser alocado, é então avaliado o outro pedido imediatamente mais próximo na ordenação de distâncias em relação ao último pedido inserido. Durante o processo de formação de rotas, é alocado primeiramente o pedido ainda disponível mais próximo à *Dark*

Store e, posteriormente, o pedido disponível mais próximo possível em relação ao último inserido na rota que cumpra as restrições operacionais apresentadas.

O processo de formação de rotas só é considerado finalizado quando a ocupação ou tempo máximo da rota é atingido ou quando a possibilidade de inserção de todos os pedidos disponíveis é analisada. O método tende a formar rotas com alta ocupação dos veículos e quilometragem superior ao método anterior.

A partir da aplicação do método, foi possível representar a distribuição das rotas no mapa em formato de polígono. A Figura 9 estes dados, a fim de possibilitar a análise de eventuais sobreposições.

Figura 9: Rotas do Método do Vizinheiro Mais Próximo com Heurística de Inserção em polígono



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Nota-se que o método apresenta grande quantidade de sobreposições. Isso se justifica porque o método avalia pedidos próximos, mas não se limita a isso, sendo finalizado somente quando o veículo atinge sua ocupação máxima ou quando todos os pedidos tiverem sua possível inserção na rota testada. Sendo assim, como os pedidos são dispersos no mapa, as demandas que cumprem as restrições operacionais, especialmente em relação a ocupação máxima, podem não estar tão próximos ao último pedido inserido na rota.

A Figura 10 abaixo apresenta a primeira rota formada pelo método. É possível observar que esta já apresenta dispersão geográfica entre os pedidos em relação ao método anterior, pois o por mais que os 3 primeiros pedidos sejam os mesmos, o

objetivo de ocupar melhor o veículo o fez buscar outras opções de inserção na rota.

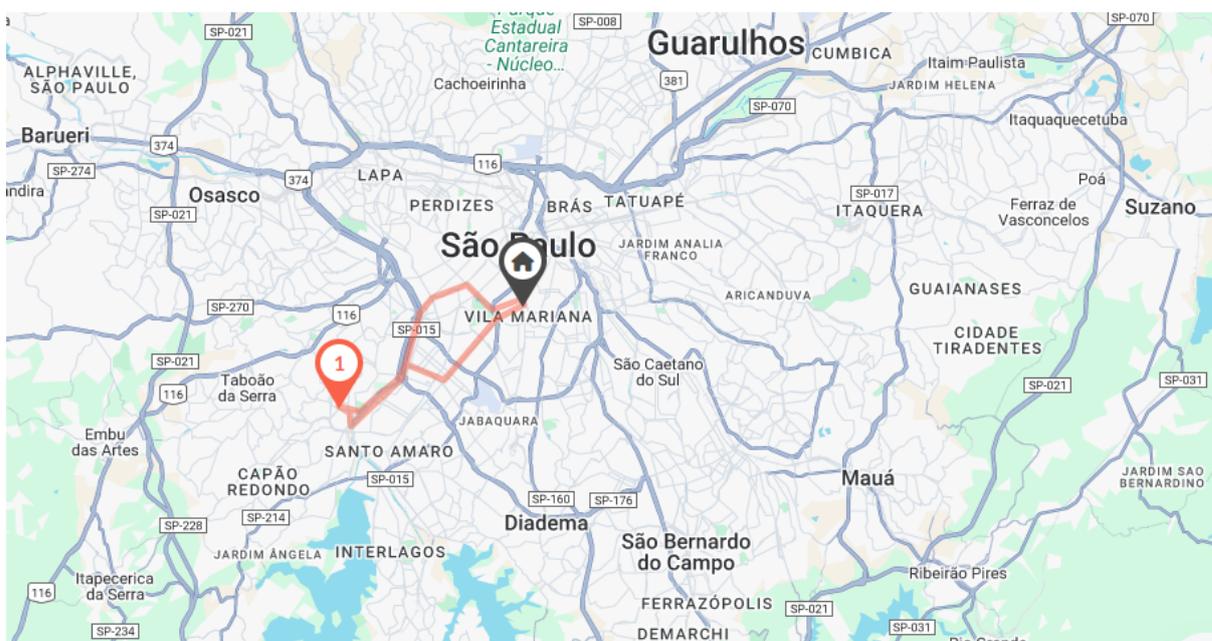
Figura 10: Rota 1 gerada pelo Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Já a Figura 11 apresenta a última rota formada, a qual tem a si atribuída somente um pedido e em bairro distante da origem. O algoritmo do método tendência que este resultado seja gerado nas últimas rotas, pois os pedidos mais próximos à origem foram alocados nas primeiras rotas. Esta rota possui somente um pedido porque os pedidos de menor demanda e mais distantes já foram alocados em outras rotas, dada a oportunidade de aumentar a ocupação das rotas formadas anteriormente. Deste modo, as últimas rotas normalmente são compostas por pedidos de maior demanda, dificultando a junção de muitos pedidos numa mesma rota.

Figura 11: Última rota gerada pelo Método Vizinho mais próximo com Busca Por Alternativas



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

A partir da aplicação do método, foram analisadas as médias dos indicadores, os quais são representados na Tabela 12 abaixo, a fim de compreender de maneira resumida o comportamento geral das rotas geradas.

Tabela 12: Médias da roteirização do Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção

Variável	Média
Distância (km)	18,584
Pedidos	4,439
Tempo (h)	01:22:20
Peso (kg)	16,434
Ocupação em Kg	91,30%
Volume (m ³)	0,054
Ocupação em m ³	82,81%

Fonte: Autor

Observa-se que a ocupação nas duas dimensões (peso e volume) é superior a 80%, valor significativamente superior aos métodos anteriores. O método apresenta melhor média de quantidade de pedidos por rota, entretanto pior média de

distância, penalização que ocorre como consequência de testes de inserção de pedidos mais distantes. Além disso, também foi analisada a quantidade de motoristas / veículos necessários para o atendimento da demanda e o tempo de trabalho planejado para cada um deles é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Quantidade de motoristas e tempos do Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção

Motorista	Tempo Planejado (h)
Motorista 1	07:28:08
Motorista 2	07:58:52
Motorista 3	07:41:28
Motorista 4	07:58:15
Motorista 5	07:26:47
Motorista 6	07:45:11
Motorista 7	07:52:37
Motorista 8	07:14:32
Motorista 9	02:36:24

Fonte: Autor

Analisando a tabela acima, observa-se que 8 dos 9 motoristas têm tempo de trabalho planejado superior a 7 horas, sendo que o tempo máximo de jornada de trabalho é de 8 horas. O último motorista possui taxa de ocupação de tempo próxima a 30%. Esta distribuição de rotas entre os motoristas pode ser remanejada ao longo do dia, a fim de tornar a jornada destes mais equilibrada.

4.3.2.3 Clarke & Wright com Capacidade

Este método de baseia na heurística de Clarke & Wright no qual, após o cálculo da matriz de distâncias, são determinadas as economias ao agrupar dois pedidos em vez de tratá-los separadamente. Todas as possibilidades são calculadas e as economias obtidas são ordenadas em sequência decrescente, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Tabela de reduzida de economias

Nós	Economia
Cliente 45 - Cliente 91	24,40225
Cliente 173 - Cliente 182	22,4865
-	
-	
Cliente 92 - Cliente 145	0,000569
Cliente 45 - Cliente 92	0,000427

Fonte: Autor

Analisando a tabela acima, verifica-se que a junção do “Cliente 45” com o “Cliente 91” é a mais vantajosa, uma vez que apresenta a maior economia. Esta junção será o ponto de partida do método, pois é a maior economia disponível. Em seguida, são analisadas outras economias e sua possibilidade de alocação na rota de acordo com as restrições pré-estabelecida. Uma vez que uma junção de pedidos seja alocada num veículo, está só poderá ter sua rota modificada se a totalidade dos demais pedidos componentes da rota também cumprirem as restrições ao serem unificados em outra rota, uma vez que quando há a união de pedidos neste método não é mais permitido que eles se separem. Também não é permitida inclusão de pedidos entre eles, somente nas extremidades da rota (primeira ou última posição).

Com a execução do método foram geradas 42 rotas, as quais podem ser verificadas na Tabela 15.

Tabela 15: Roteirização com o Clarke & Wright com Capacidade

Rota	Distância (Km)	Serviços	Tempo (h)	Peso (kg)	Ocupação em Kg	Volume (m³)	Ocupação em m³
Rota 1	26,437	6	01:54:02	17,709	98,38%	0,056	86,15%
Rota 2	36,027	7	02:26:22	14,688	81,60%	0,065	100,00%
Rota 3	23,595	4	01:35:29	17,222	95,68%	0,060	92,31%
Rota 4	24,524	4	01:38:26	17,876	99,31%	0,052	80,00%
Rota 5	26,160	6	01:53:01	17,096	94,98%	0,065	100,00%
Rota 6	28,137	6	01:52:03	16,025	89,03%	0,063	96,92%
Rota 7	19,535	5	01:28:16	16,580	92,11%	0,043	66,15%
Rota 8	17,902	5	01:23:48	17,681	98,23%	0,057	87,69%
Rota 9	23,372	6	01:44:44	16,999	94,44%	0,047	72,31%

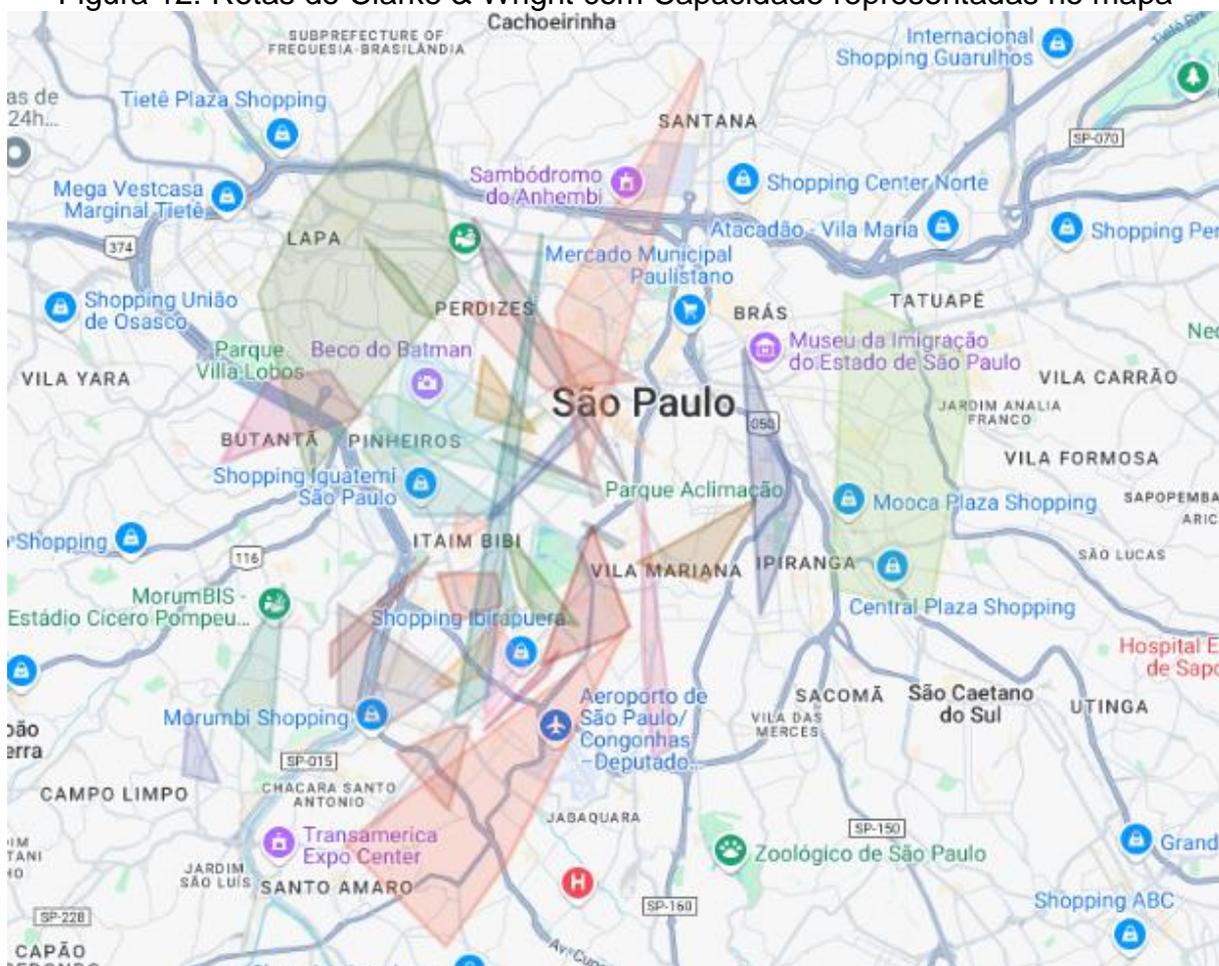
Rota 10	17,555	5	01:22:49	17,830	99,06%	0,045	69,23%
Rota 11	19,060	5	01:27:15	17,760	98,67%	0,055	84,62%
Rota 12	20,296	6	01:33:55	11,808	65,60%	0,065	100,00%
Rota 13	16,922	6	01:25:58	17,881	99,34%	0,056	86,15%
Rota 14	15,729	5	01:25:58	17,912	99,51%	0,065	100,00%
Rota 15	16,101	6	01:23:02	16,365	90,92%	0,040	61,54%
Rota 16	24,937	4	01:39:00	15,897	88,32%	0,065	100,00%
Rota 17	15,171	6	01:20:34	17,203	95,57%	0,063	96,92%
Rota 18	13,828	2	00:56:34	17,100	95,00%	0,005	7,69%
Rota 19	12,838	5	01:08:24	16,380	91,00%	0,065	100,00%
Rota 20	11,880	7	01:15:41	16,750	93,06%	0,031	47,69%
Rota 21	12,377	5	01:07:24	17,472	97,07%	0,065	100,00%
Rota 22	12,255	6	01:11:59	17,307	96,15%	0,046	70,77%
Rota 23	11,015	5	00:59:54	14,845	82,47%	0,054	83,08%
Rota 24	10,704	4	00:57:24	17,298	96,10%	0,054	83,08%
Rota 25	11,031	4	00:58:21	17,273	95,96%	0,056	86,15%
Rota 26	11,793	3	00:54:29	13,873	77,07%	0,064	98,46%
Rota 27	8,846	3	00:46:44	16,801	93,34%	0,048	73,85%
Rota 28	9,537	5	00:58:43	16,591	92,17%	0,037	56,92%
Rota 29	8,995	2	00:42:16	17,061	94,78%	0,065	100,00%
Rota 30	9,503	5	00:48:28	16,176	89,87%	0,060	92,31%
Rota 31	9,188	6	00:53:04	17,735	98,53%	0,050	76,92%
Rota 32	7,022	1	00:31:34	17,430	96,83%	0,025	38,26%
Rota 33	10,144	5	00:59:49	14,505	80,58%	0,058	89,23%
Rota 34	7,643	3	00:42:47	15,593	86,63%	0,049	75,38%
Rota 35	8,026	2	00:37:37	11,694	64,97%	0,064	98,46%
Rota 36	16,046	4	01:07:56	15,088	83,82%	0,048	73,85%
Rota 37	14,209	3	01:02:53	17,655	98,08%	0,065	100,00%
Rota 38	7,094	3	00:40:44	14,300	79,44%	0,051	78,46%
Rota 39	3,690	3	00:30:41	14,355	79,75%	0,065	100,00%
Rota 40	4,544	2	00:28:35	15,487	86,04%	0,045	69,23%
Rota 41	2,964	1	00:17:47	12,064	67,02%	0,037	56,92%
Rota 42	5,341	1	00:23:35	8,410	46,72%	0,038	58,46%

Fonte: Autor

Na tabela acima, é possível observar que as rotas de maior quilometragem são as primeiras a serem formadas. Isso ocorre porque as economias na heurística de *Clarke & Wright* são baseadas na soma das distâncias entre a origem e cada um dos pedidos, sendo subtraída a distância entre os dois pedidos a serem atendidos. Deste modo, as primeiras rotas geradas geralmente conectam pedidos que estão próximos entre si, mas distantes da *Dark Store*, pois a economia é maior.

A Figura 12 apresenta as rotas geradas em forma de polígono, a fim de possibilitar a análise de eventuais sobreposições.

Figura 12: Rotas do Clarke & Wright com Capacidade representadas no mapa

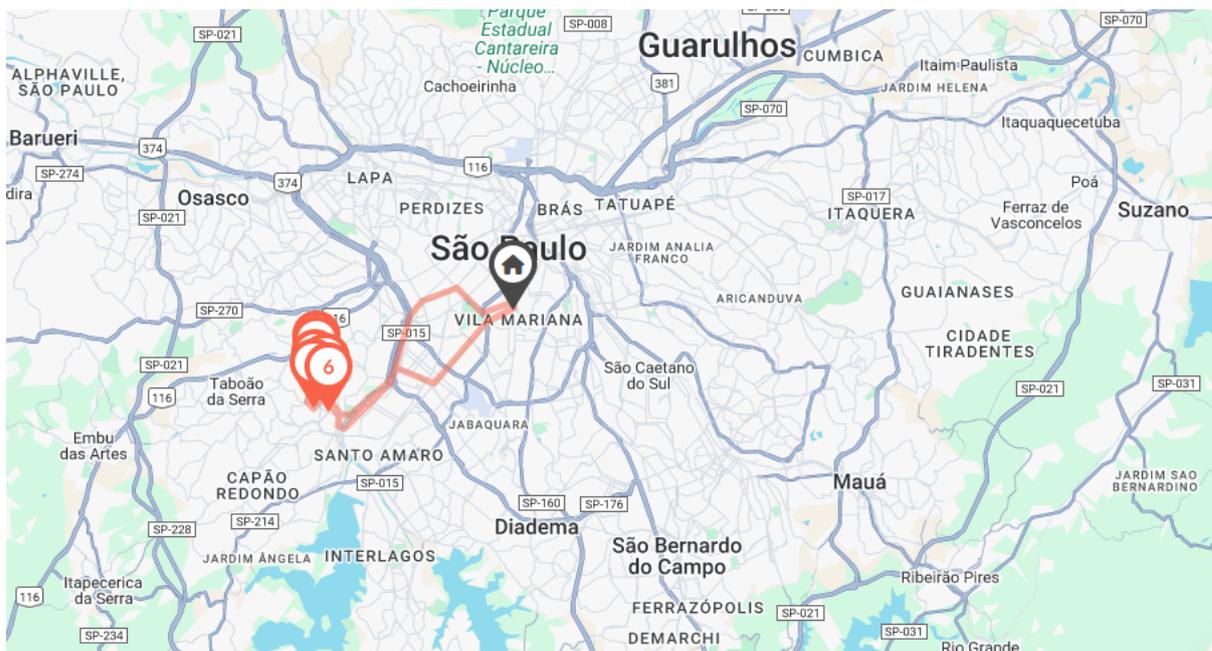


Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Nota-se que o algoritmo apresenta sobreposições, mas em quantidade inferior ao método anterior. Esse comportamento ocorre porque, apesar de o algoritmo também buscar ocupar o veículo em sua totalidade, são realizados testes com maior limitação de cenários, pois as entregas são avaliadas em pares.

A Figura 13 apresenta a primeira rota formada, a qual foi formada de maneira bastante concentrada. Conforme mencionado anteriormente, as primeiras rotas tendem a ser mais distantes da origem e próximas entre si, visto que é mais provável que as economias sejam maiores.

Figura 13: Rota 1 gerada pelo Clarke & Wright com Capacidade



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Por ter sido a primeira rota formada, a Rota 1 possui maior probabilidade de atingir números próximos à ocupação máxima do veículo. Nas primeiras rotas formadas por este método, os pedidos tendem a ser próximos entre si, inserindo pedidos próximos aos dois primeiros alocados na rota, uma vez que estes já estão inicialmente agrupados e serão verificadas novas possibilidades de combinações que possam agregar novos pedidos à rota.

À medida que vão se formando mais rotas, as possibilidades são cada vez mais limitadas. Uma vez que há cada vez mais pedidos agrupados entre si e a movimentação de um conjunto de pedidos numa mesma rota só pode ser realizada em sua totalidade. Além disso, o problema possui limitação de peso (kg) e volume (m^3), podendo tornar combinações de pedidos próximos infactível, mesmo que apresente boa economia.

Deste modo, a tendência é que as últimas rotas geradas sejam compostas por poucos pedidos e com baixa ocupação dos veículos, uma vez que junções com pouca demanda podem ter sido alocadas em outras rotas. A Figura 14 apresenta a

Rota 42, última a ser formada no problema apresentado.

Figura 14: Última rota gerada pelo Clarke & Wright com Capacidade



Fonte: Elaborado pelo autor no software RoutEasy.

Além disso, foram geradas as médias dos indicadores analisados, os quais são apresentados na Tabela 16 abaixo. Sua finalidade possibilitar a compreensão, de maneira resumida, o comportamento geral das rotas geradas pelo método.

Tabela 16: Médias da roteirização do Clarke & Wright com Capacidade

Variável	Média
Distância (km)	14,571
Serviços	4,333
Tempo (h)	01:09:29
Peso (kg)	16,042
Ocupação em Kg	89,12%
Volume (m ³)	0,053
Ocupação em m ³	80,84%

Fonte: Autor

Nota-se que, assim como o método anterior, este também apresenta ocupação acima de 80% nas duas dimensões do veículo, entretanto este método não é tão penalizado na distância, que pode ser considerada uma vantagem em relação ao método anterior. Além disso, também foi analisada a quantidade de

motoristas / veículos necessários para o atendimento da demanda e o tempo de trabalho planejado para cada um deles é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Quantidade de motoristas e tempos do Clarke & Wright com Capacidade

Motorista	Tempo Planejado (h)
Motorista 1	07:37:27
Motorista 2	07:36:46
Motorista 3	07:51:41
Motorista 4	07:57:18
Motorista 5	07:34:39
Motorista 6	07:36:25
Motorista 7	07:59:00
Motorista 8	02:54:51

Fonte: Autor

Assim como nos outros métodos, somente um motorista apresenta jornada de trabalho planejada inferior a 7 horas, sendo que o tempo máximo de trabalho é de 8 horas. Deste modo, o pode ser realizado reequilíbrio entre rotas e/ou deixar este motorista como reserva para eventualidades no dia a dia da execução dos demais motoristas.

4.4 COMPARAÇÃO DO RESULTADO OBTIDO PELOS MÉTODOS

A partir da aplicação de diferentes métodos de roteirização, foi possível observar como cada abordagem influencia diretamente a eficiência e os resultados operacionais da empresa. Cada método possui suas vantagens e limitações, tornando a compreensão das particularidades de cada operação essenciais para determinar qual método melhor se adapta e pode gerar melhores resultados.

A fim de recomendar o método mais aderente ao dia a dia da operação, foram comparados diversos parâmetros, os quais serão detalhados e discutidos a seguir.

Rotas

É essencial avaliar a quantidade de rotas geradas após aplicação de um método de roteirização, pois este parâmetro está diretamente associado a

quantidade de veículos necessários para que a operação possa ser atendida em sua totalidade, conforme planejamento realizado. A Tabela 18 apresenta a quantidade de rotas geradas por cada um dos métodos aplicados.

Tabela 18: Comparação entre os métodos: quantidade de rotas

	Cenário Atual	Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	Clarke & Wright com Capacidade
Rotas	60	47	41	42

Fonte: Autor

Analisando a tabela acima, é possível verificar que todos os métodos apresentaram menor quantidade de rotas que o cenário atual. Entre os métodos, o que apresentou pior resultado foi o do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade. Isso ocorre porque o método verifica somente se a entrega mais próxima pode ser alocada no veículo e, quando uma demanda não pode ser alocada, o processo de finalização da rota é finalizado. Em contrapartida, os outros métodos aplicados continuam buscando por alternativas quando a entrega mais recomendada não pode ser alocada no veículo. Deste modo, os métodos que apresentam melhor resultado em relação a quantidade de rotas tendem a ser os que testam mais possibilidades de clientes na rota.

Serviços

Outro parâmetro a ser avaliado após a aplicação de um método de roteirização é a quantidade média de pedidos por rota. Quanto maior a quantidade média de pedidos por rota, é mais provável que se tenha redução da quantidade de rotas como resultado, entretanto é possível que o aumento deste parâmetro também penalize a distância total. A Tabela 19 apresenta a média de serviços por rota.

Tabela 19: Comparação entre os métodos: quantidade de serviços

	Cenário Atual	Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	<i>Clarke & Wright com Capacidade</i>
Média de pedidos por rota	3,033	3,872	4,333	4,439

Fonte: Autor

A quantidade média de pedidos por rota é calculada através da divisão da demanda total, que no caso estudado é igual a 182 pedidos, e quantidade de rotas. Os métodos que apresentarem maior redução da quantidade de rotas, apresentarão maior média de pedidos por rota também. Sendo assim, os métodos com melhor desempenho neste parâmetro também foram o Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção e o Clarke & Wright com Capacidade.

Distância

Outro parâmetro avaliado na aplicação de métodos de roteirização é a distância entre os pedidos, durante o processo de execução do algoritmo, e a total da rota, após resultado fornecido. Objetiva-se minimizar este parâmetro, pois possibilita que o tempo necessário para executar a rota seja mais curto. Deste modo, é de extrema relevância gerar rotas com a menor distância possível, possibilitando que o tempo de resposta da operação seja cada vez mais rápido.

As distâncias totais e médias do cenário original e de cada método são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20: Comparação entre os métodos: distância

	Cenário Atual	Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	Clarke & Wright com Capacidade
Distância total	1008,850	678,475	761,961	611,974
Distância média por rota	16,814	14,436	18,584	14,571

Fonte: Autor

Observando a tabela acima, nota-se que somente a distância média do Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção foi superior ao cenário inicialmente apresentado. Isso ocorre porque o método prioriza a elevação da ocupação da rota em construção, enquanto avalia os pedidos mais próximas, resultando em algumas rotas com maior quilometragem, pois as demandas a serem atendidas e que aumentam a ocupação da rota em construção podem estar dispersas no mapa.

Além disso, avaliando a distância total, identifica-se que todos os métodos tiveram melhor resultado, com redução variando entre 24% e 40%. Neste cenário, o Clarke & Wright com Capacidade se destaca, pois apresenta o menor valor neste parâmetro. Deste modo, é possível afirmar que o método que conseguiu reduzir mais distâncias no cenário apresentado é o Clarke & Wright com Capacidade.

Ocupação dos veículos

Outro parâmetro analisado foi a ocupação dos veículos, o qual busca-se maximizar, uma vez que quanto mais ocupados os veículos estiverem, mais possibilidade há de operar com frota enxuta e que consiga atender às demandas propostas pelos clientes. É sempre importante verificar se a taxa de ocupação do veículo gerada na rota é igual ou inferior à máxima estabelecida, pois taxas superiores podem acelerar o desgaste de veículos e aumentar a probabilidade de

acidentes. Deste modo, respeitar a taxa de ocupação máxima dos veículos é uma prática importante para reduzir custos, especialmente o de manutenções futuras ou substituições precoces de veículos.

A Tabela 21 apresenta a taxa de ocupação média nas dimensões peso (kg) e volume (m³) do cenário atual e dos métodos aplicados.

Tabela 21: Comparação entre os métodos: taxa de ocupação

	Cenário Atual	Método do Vizinho		
		Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Mais Próximo com Heurística de Inserção	Clarke & Wright com Capacidade
Ocupação média em kg	62,39%	79,13%	91,30%	89,12%
Ocupação média em m³	56,92%	72,37%	82,81%	80,84%

Fonte: Autor

Observando a tabela acima, é possível notar que todas as taxas de ocupação dos métodos foram superiores ao cenário inicial apresentado. Este resultado está diretamente ligado ao aumento da quantidade média de serviços por rota e da redução de rotas, pois a demanda se manteve para todos os casos. Deste modo, os métodos que desempenharam melhor na quantidade média de serviços e na quantidade de rotas, também obtiveram melhores resultados nesse parâmetro.

Tempo de rota

O tempo de rota é outro parâmetro relevante na análise da eficiência das rotas geradas. Através deste parâmetro é possível compreender o quão ágil e adaptável a operação é e pode se tornar para atender à dinamicidade do dia a dia. A Tabela 22 abaixo, apresenta o tempo somado das rotas, bem como a média.

Tabela 22: Comparação entre os métodos: tempo de rota

	Cenário Atual	Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	Clarke & Wright com Capacidade
Tempo somado (h)	67:01:00	51:01:12	56:15:43	48:38:07
Tempo médio (h)	01:07:01	01:06:33	01:22:20	01:09:29

Fonte: Autor

De acordo com a tabela acima, o melhor tempo médio obtido foi através da aplicação do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade, pois o método tende a gerar mais rotas, porém curtas. Isso pode ser notado quando se compara ao Clarke & Wright com Capacidade, cujo tempo médio é superior, mas tempo médio inferior, pois gerou menos rotas em seus cálculos.

Veículos

Geralmente, a quantidade de veículos é representada pela quantidade de rotas. Entretanto, os veículos da operação apresentada costumam realizar diversas rotas ao longo do dia, pois as rotas não costumam ultrapassar 2 horas e o tempo útil de trabalho de cada motorista é igual a 8 horas. Quando é encerrada uma rota pelo motorista, este tem mais uma alocada para si se houver tempo de jornada disponível. Entre uma rota e outra o motorista aguarda, em média, 15 minutos para que possam ser separados os produtos e comportados em seu veículo. A Tabela 23 apresenta a quantidade de Motoristas / Motos necessários para o atendimento da operação.

Tabela 23: Comparação entre os métodos: veículos

	Cenário Atual	Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	Clarke & Wright com Capacidade
Motoristas	11	8	9	8

Fonte: Autor

Nos cenários simulados, o Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade

e o Clarke & Wright com Capacidade apresentam melhores resultados, necessitando de 8 motoristas para realizar a quantidade de rotas geradas para cada um dos métodos. Apesar de ter sido o método com menor quantidade de rotas geradas, o Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção necessita de um motorista a mais que o demais, pois as rotas possuem maior tempo de duração e, portanto, um mesmo motorista consegue executar, em média, menos rotas que nos outros métodos.

Classificação dos métodos em cada parâmetro

A fim de elucidar as vantagens de cada um dos métodos em cada um dos parâmetros adotados, foi elaborada a Tabela 24 a seguir, a qual apresenta a posição de cada método em cada um dos parâmetros analisados.

Tabela 24: Ranqueamento dos métodos em relação aos parâmetros

	Cenário Atual	Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade	Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção	Clarke & Wright com Capacidade
Rotas	4	3	1	2
Média de serviços por rota	4	3	2	1
Distância total	4	2	3	1
Distância média por rota	3	1	3	2
Ocupação média em kg	3	3	1	2
Ocupação média em m³	3	3	1	2
Tempo somado (h)	4	2	3	1
Tempo médio (h)	2	1	4	3
Veículos	4	1	3	1

Fonte: Autor

Analisando a tabela acima, observa-se que o Cenário Atual é o que apresenta pior classificação na maioria dos parâmetros, estando posicionado na terceira ou quarta posição na maioria deles. O Método do Método do Vizinho Mais Próximo com Capacidade e o Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção estão

classificados em primeiro em alguns parâmetros, porém o Clarke & Wright com Capacidade apresenta, além de quantidade superior de classificações em primeiro em relação ao Método do Vizinho Mais Próximo com Heurística de Inserção, maior quantidade de segundo lugar. O Algoritmo ficou ranqueado em somente um dos parâmetros em terceiro, sendo que a diferença entre ele e o método mais bem ranqueado neste parâmetro é inferior a 3 minutos.

A partir da análise dos parâmetros expostos, é sugerido que seja implementado o Clarke & Wright com Capacidade, o qual apresenta melhora em quase todos os parâmetros em relação ao cenário inicialmente proposto, excetuando-se somente o tempo médio de rota.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

A demanda crescente por soluções logísticas eficientes tem desafiado empresas a adotarem novas tecnologias e métodos para melhorar suas operações. Neste contexto, a aplicação de métodos de roteirização é uma estratégia fundamental para melhorar o processo de entrega e garantir uma melhor utilização da frota, a fim de reduzir custos operacionais. Este estudo tinha como objetivo geral analisar, por meio da aplicação de diferentes métodos de roteirização, como dimensionar a frota necessária para atender a demanda média diária da *dark store* localizada na cidade de São Paulo, considerando as restrições operacionais e especificidades da operação. Para isso, buscou-se satisfazer quatro objetivos específicos.

O primeiro objetivo específico consistiu em modelar e documentar a distribuição geográfica dos clientes a serem atendidos pela *Dark Store* a partir de uma ferramenta computacional. Através de um software de roteirização foram projetadas as localizações dos clientes em tela, bem como sua respectiva região de atendimento.

O segundo objetivo específico consistiu em aplicar os métodos de roteirização para o Problema de Roteirização de Veículos com Capacidades (CVRP) baseados nas heurísticas Vizinho Mais Próximo e *Clarke & Wright*. Para o atingimento deste objetivo foram aplicados 3 métodos com diferenças particulares entre si, os quais foram evidenciados através dos parâmetros fornecidos como resultado.

O terceiro objetivo específico consistiu em analisar os parâmetros retornados para avaliar a solução retornada por cada um dos métodos aplicados. Este objetivo foi atingido através de parâmetros como quilometragem, média de serviços por rota e os tempos médios.

Já o quarto objetivo específico era representar as soluções de forma

cartográfica visando avaliar as rotas gerada pelas heurísticas e método de roteirização aplicado. Este objetivo foi atingido durante a avaliação das rotas, na qual rotas foram representadas em marcadores e polígonos.

Deste modo, conclui-se que os quatro objetivos específicos foram satisfeitos, bem como o objetivo geral do trabalho.

O estudo demonstrou que a aplicação dos métodos de roteirização é de suma importância para o dimensionamento da frota e aplicação de melhorias em operações logísticas. Durante o seu desenvolvimento foi possível modelar a distribuição geográfica dos clientes, aplicar métodos de roteirização baseado em heurísticas bastante populares na literatura e analisar os parâmetros operacionais envolvidos. Deste modo, foi possível eleger o método mais adequado com base nas restrições operacionais da operação.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Este estudo concentrou-se na aplicação de métodos de roteirização para o dimensionamento de frota. Entretanto, a avaliação do impacto isolado da eficiência da roteirização não reflete todas as variáveis envolvidas numa *Dark Store* até que o produto possa ser entregue ao cliente final. Além disso, tratando isoladamente o problema de roteirização, há diversas variáveis existentes que são dependentes entre si que influenciam diretamente o resultado do método.

Tendo isso em vista, sugere-se a realização de futuras pesquisas voltadas para a análise de fluxos internos de uma *Dark Store*, podendo ser estudado o processo de separação, a fim de reduzir o tempo de separação de produtos para uma nova saída do motorista para a execução de uma nova rota. Indica-se também que os métodos sejam aplicados numa maior quantidade de dias que englobem dias de baixa e alta demanda, aumentando a confiabilidade do método para o cenário geral da empresa, além de fornecer maior previsibilidade da frota necessária. Ainda, diante deste cenário, recomenda-se analisar o problema sob a ótica de custos, avaliando se a melhor opção é possuir frota contratada, terceirizada ou mista. Por

fim, outra abordagem sugerida é utilizar métodos de otimização para a geração de cenários e compará-los aos métodos heurísticos.

6. REFERÊNCIAS

AKHAND, M. A. H. et al. **Heuristics and metaheuristics for solving the capacitated vehicle routing problem**. *Journal of Optimization*, v. 10, n. 2, p. 123–134, 2017.

BALLOU, R. H. **Gestão da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BBC News. **O QUE SÃO AS “DARK STORES” DAS GIGANTES DO COMÉRCIO E POR QUE SE PROLIFERAM PELO MUNDO**. BBC Brasil. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/curiosidades-49156933>. Acesso em: 18 dez. 2019.

BELFIORE, P. P.; FÁVERO, L. P. L.; ALVAREZ, R. A. G. **Problema de roteirização de veículos com frota heterogênea: revisão da literatura**. XXXVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO PESQUISA OPERACIONAL, 2006.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CAMILO, D. G. G.; FRANCISCO, C.; FRAZÃO, T. D. C.; ASSIS, A.; MACEDO, T. **Roteirização de veículos: os principais algoritmos para solucionar o problema do caixeiro-viajante**. In: XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2018.

CAMPBELL, J. F.; CLARKE, L.; SAVELSBERGH, M. W. P. **Solving vehicle routing problems with time windows**. *Transportation Science*, v. 36, n. 3, p. 291-307, 2002.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

CORMEN, Thomas H.; LEISERSON, Charles E.; RIVEST, Ronald L.; STEIN, Clifford. **Introduction to Algorithms**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 2009.

DA SILVA, A. R.; TEDESCO, G. M. I.; YAMASHITA, Y.; GRANEMANN, S. R. **Metodologia para Roteirização do Transporte Escolar Rural**. 2007.

FERREIRA, H. M.; LOPES, P. S. **A integração de tecnologias de informação na roteirização: uma análise do uso de sistemas de informação geográfica e dados em tempo real**. *Logística e Transportes*, v. 15, p. 132-148, 2021.

FONCILLAS, P. **Qué es una dark store?** 2017. Disponível em: <https://pablofoncillas.com/que-es-una-dark-store/>. Acesso em: 18 dez. de 2024.

GAMA, A. R. **Problemas de Roteirização de Veículos: Métodos e Aplicações**. São Paulo: Atlas, 2011.

GILBERT, S. **Introdução ao problema de roteamento de veículos**. Nova York: Springer, 2016.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of metaheuristics**. 1. ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.

GOLDBARG, E.; LUNA, A. **Heurísticas para problemas de roteirização de veículos com múltiplas restrições**. *Revista Brasileira de Operações*, v. 7, p. 54-68, 2000.

INFRACOMMERCE. **Desvantagens da Dark Stores: será que compensa o investimento?** Infracommerce, 2023. Disponível em: <https://blog.infracommerce.com.br/blog/desvantagens-da-dark-stores-sera-que-compensa-o-investimento>. Acesso em: 16 dez. 2024.

JAIN, A. K. **Data clustering: 50 years beyond K-means**. *Pattern Recognition Letters*, v. 31, n. 8, p. 651-666, 2010. DOI: 10.1016/j.patrec.2009.09.011.

LAPORTE, G. **The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms.** *European Journal of Operational Research*, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1992.

LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.; SEMET, F. **Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem.** *International Transactions in Operational Research*, v. 7, n. 4-5, p. 285-300, 2000.

LINX. **Dark stores: uma estratégia de expansão que pode gerar grandes resultados.** LINX, 2022. Disponível em: <https://www.linx.com.br/blog/dark-stores-uma-estrategia-de-expansao-que-pode-gerar-grandes-resultados/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

MOURA, B. **Logística: conceitos e tendências.** 1ª ed. Vila Nova de Famalicão: Centro Atlântico, 2006.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PRESTEX. **Conheça os 5 principais modais de transporte de carga no Brasil.** 2024. Disponível em: <https://www.prestex.com.br/blog/modais-de-transporte-de-carga-no-brasil-conheca-os-5-principais>. Acesso em: 18 dez. 2024.

REIS, A. G. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira.** São Paulo: Atlas, 1996.

SANTOS, R. L. **Uma aplicação de algoritmos de colônias de formigas em problemas de roteirização de veículos com janelas de tempo.** 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, P.; RESENDO L. **Heurística de Busca de Vizinhança Variável para Otimização do Problema de Roteamento de Veículos**. XIV Computer on the Beach, 2013.

TORGE, W. **Geodesy: Introduction to Geodetic Datum and Geodetic Systems**. 2. ed. Berlin: de Gruyter, 2016.

VITA, F. A.; NOBRE, H. W. C. **Análise da dark store sob a perspectiva do direito urbanístico**. *Revista de Direito da Cidade*, v. 12, n. 4, p. 1735-1766, out./dez. 2020. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/rdc/article/view/51132/39677>. Acesso em: 8 nov. 2024.

YIN, R. K. **Case study research and applications: Design and methods**. 6. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2018.

YOSHITA, M.; SILVA, P.; CARVALHO, R. **Dark stores e eficiência logística: um estudo de caso na cidade de São Paulo**. *Revista Brasileira de Logística*, v. 12, n. 3, p. 45-62, 2021.

7. APÊNDICES

Tabela 25: Demanda dos clientes e diferença de latitude e longitude em relação à Dark Store

Cliente	Demanda		Posição (em relação à Dark Store)	
	Peso	Volume (m3)	Latitude	Longitude
Dark Store	0	0	0	0
Cliente 1	1,873	0,018	-0,064638528	-0,032265139
Cliente 2	0,78	0,002	-0,027799828	-0,046486639
Cliente 3	0,22	0,001	0,029161472	0,068791561
Cliente 4	2,75	0,017	0,039610472	-0,050559939
Cliente 5	2,86	0,011	0,025995272	-0,070764039
Cliente 6	4,85	0,005	-0,027217228	-0,070586739
Cliente 7	2,36	0,007	-0,035837328	-0,101585839
Cliente 8	6,23	0,001	0,061020172	-0,062957639
Cliente 9	5,746	0,02	0,064744872	-0,039397539
Cliente 10	9,53	0,026	0,020678672	-0,035454039
Cliente 11	2,498	0,011	0,003394772	-0,040064439
Cliente 12	1,61	0,006	0,016982972	-0,000215039
Cliente 13	4,02	0,008	0,008587872	-0,012400539
Cliente 14	1,5	0,001	0,010870872	-0,012355539
Cliente 15	0,6	0,004	0,044808472	-0,048064839
Cliente 16	7,917	0,018	0,013672072	-0,010394939
Cliente 17	3,79	0,01	-0,025038328	-0,027743539
Cliente 18	6,19	0,026	0,055699372	-0,059684939
Cliente 19	7,86	0,031	0,032962572	-0,011701939
Cliente 20	2,45	0,008	-0,012399428	-0,040038639
Cliente 21	3,51	0,017	0,029573972	-0,057345839
Cliente 22	3,4	0,011	0,037180272	-0,037230839
Cliente 23	8,111	0,029	0,004068372	-0,035369139
Cliente 24	10,73	0,014	0,023099172	-0,059538339
Cliente 25	5,095	0,016	-0,037916928	-0,037006739
Cliente 26	2,6	0,012	-0,053943628	-0,044742939
Cliente 27	1,037	0,005	-0,003550828	-0,049290039
Cliente 28	0,8	0,002	-0,012732328	-0,033332039
Cliente 29	7,57	0,027	-0,002257028	-0,007103039
Cliente 30	7,73	0,002	0,022978172	-0,014505239
Cliente 31	2,72	0,014	0,015697372	-0,026182839
Cliente 32	5,4	0,013	-0,081502828	-0,045258339
Cliente 33	5,18	0,024	-0,029307728	-0,043961539
Cliente 34	5,75	0,002	-0,042622728	-0,056198539
Cliente 35	7,45	0,026	-0,048566328	-0,095100439
Cliente 36	1,6	0,002	0,012604972	-0,075312039
Cliente 37	8,04	0,032	-0,032851128	-0,068803939

Ciente 38	3,834	0,033	0,020197872	-0,013607139
Ciente 39	3,45	0,02	-0,001552928	-0,008026739
Ciente 40	1,95	0,002	-0,015416528	-0,035302439
Ciente 41	0,35	0,002	0,015650972	-0,026545939
Ciente 42	1,234	0,008	0,004394872	-0,035628939
Ciente 43	2,645	0,008	0,025369872	-0,016327239
Ciente 44	1,54	0,013	0,030584472	-0,023293639
Ciente 45	2,834	0,008	-0,046849628	-0,102777939
Ciente 46	5,116	0,011	0,016212772	-0,094256439
Ciente 47	2,04	0,009	0,028862772	-0,061612039
Ciente 48	0,79	0,009	0,048244872	-0,037491139
Ciente 49	8,41	0,038	-0,011134128	-0,021302739
Ciente 50	0,04	0,001	-0,028544628	-0,043681639
Ciente 51	7,5	0,012	-0,012767328	-0,068761839
Ciente 52	0,5	0,001	0,031350072	-0,024430139
Ciente 53	0,65	0,005	-0,008792028	-0,080849839
Ciente 54	8,01	0,018	-0,001349528	-0,043998839
Ciente 55	3,15	0,022	0,031737972	-0,055268939
Ciente 56	5,239	0,021	0,049806972	-0,086210439
Ciente 57	0,6	0,004	-0,015954428	-0,031322139
Ciente 58	5,36	0,002	0,009338672	-0,002555039
Ciente 59	0,8	0,005	-0,043495528	1,07607E-05
Ciente 60	17,43	0,024866	0,020470172	-0,024072139
Ciente 61	4,615	0,025	-0,025168628	-0,002108039
Ciente 62	4	0,01	0,002798772	-0,013448239
Ciente 63	2,4	0,018	0,008093772	0,021975961
Ciente 64	4,01	0,017	-0,000581728	-0,030136039
Ciente 65	2,455	0,01	0,005346072	-0,052004539
Ciente 66	1,4	0,005	-0,016203528	-0,043310639
Ciente 67	8,638	0,028	0,047611272	-0,041205039
Ciente 68	3,92	0,017	0,023430472	-0,061644639
Ciente 69	3,2	0,009	0,022850572	-0,026959139
Ciente 70	0,29	0,001	0,043515472	-0,023542739
Ciente 71	0,68	0,001	-0,015010628	-0,065500739
Ciente 72	3,46	0,009	-0,019033728	-0,008055439
Ciente 73	2,67	0,002	0,052905172	-0,035873739
Ciente 74	2,27	0,016	0,039616372	-0,053363439
Ciente 75	0,58	0,002	0,016707172	-0,055895539
Ciente 76	3,2	0,014	-0,060942528	-0,067520339
Ciente 77	4,422	0,014	0,020940672	-0,061071539
Ciente 78	1,68	0,005	-0,009224128	-0,039453439
Ciente 79	1,04	0,004	0,023747372	-0,031807839
Ciente 80	4,4	0,001	-0,004320428	-0,003653339
Ciente 81	1,26	0,007	-0,031023828	-0,036377339
Ciente 82	2,89	0,011	0,003204372	-0,036241039

Ciente 83	7,85	0,001	0,029046272	-0,046083839
Ciente 84	1,565	0,009	-0,044252328	-0,096841139
Ciente 85	5,664	0,038	0,004439872	-0,036663039
Ciente 86	1,275	0,009	-0,015155328	-0,025430139
Ciente 87	0,6	0,004	-0,073728628	-0,040698339
Ciente 88	3	0,08	-0,000722528	-0,006472839
Ciente 89	2,12	0,009	-0,027246128	-0,038666939
Ciente 90	1,41	0,006	0,016154072	-0,027560939
Ciente 91	3	0,005	-0,042654128	-0,102355039
Ciente 92	7,5	0,032	-0,008015328	0,011400261
Ciente 93	2	0,018	-0,035499228	-0,043420439
Ciente 94	1,17	0,007	-0,019404628	-0,036046339
Ciente 95	1,15	0,004	-0,037310728	-0,040367839
Ciente 96	1,958	0,001	-0,018435028	-0,006726039
Ciente 97	0,28	0,001	0,007206172	-0,034320739
Ciente 98	7,12	0,001	-0,011539328	-0,044894339
Ciente 99	0,89	0,001	0,032438972	-0,004424739
Ciente 100	3,9	0,014	0,006492072	-0,042872439
Ciente 101	1,88	0,007	0,053409772	-0,054498839
Ciente 102	6,797	0,022	-0,035748328	-0,036715739
Ciente 103	3	0,009	0,055593872	-0,025059039
Ciente 104	1,19	0,009	-0,006716028	-0,034407639
Ciente 105	2,142	0,011	-0,022319028	-0,020811539
Ciente 106	1	0,008	-0,016635228	-0,031827739
Ciente 107	7,958	0,029	0,097135372	0,010128061
Ciente 108	3	0,003	-0,016395228	-0,035665239
Ciente 109	4,67	0,022	0,031699372	-0,084533639
Ciente 110	2,48	0,008	-0,009435828	-0,029321339
Ciente 111	0,67	0,003	0,025383072	-0,063946839
Ciente 112	1,5	0,01	0,018320972	-0,063736139
Ciente 113	3,7	0,012	-0,017366228	-0,005326539
Ciente 114	3,03	0,013	-0,013899528	0,060282461
Ciente 115	1	0,005	-0,033859928	0,003327061
Ciente 116	0,5	0,003	0,010487372	-0,048868539
Ciente 117	2,004	0,017	-0,020615628	-0,070615939
Ciente 118	2,018	0,004	0,033428272	-0,054564739
Ciente 119	3,034	0,006	0,046814772	-0,021434239
Ciente 120	2,5	0,011	0,095665572	0,010519761
Ciente 121	3,937	0,008	0,036485272	-0,019116339
Ciente 122	9,225	0,037	-0,014497428	0,023191161
Ciente 123	5,019	0,013	0,037796372	0,067500761
Ciente 124	7,046	0,01	0,031042072	-0,017594939
Ciente 125	4,606	0,017	-0,007721728	-0,032196239
Ciente 126	1,935	0,009	0,038777672	-0,080617739
Ciente 127	0,9	0,002	0,005567172	-0,032324939

Ciente 128	0,5	0,001	-0,033838128	-0,101445039
Ciente 129	7,33	0,026	-0,044463828	-0,054309339
Ciente 130	9,637	0,031	0,061788772	-0,024351039
Ciente 131	1,32	0,008	-0,002438528	0,056301661
Ciente 132	1	0,001	-0,037551828	-0,043760239
Ciente 133	4	0,006	0,022354972	-0,027938039
Ciente 134	6,675	0,025	-0,021065328	-0,065071639
Ciente 135	5,145	0,015	0,008212572	-0,010775239
Ciente 136	0,16	0,001	0,048508672	-0,027371239
Ciente 137	8,95	0,036	0,002037972	-0,040127139
Ciente 138	2,11	0,001	-0,006364928	-0,047175439
Ciente 139	1,5	0,009	-0,036941528	-0,058483539
Ciente 140	7,7	0,022	-0,017322628	-0,029316839
Ciente 141	3,56	0,014	-0,016812128	-0,016627339
Ciente 142	6,636	0,037	-0,026891528	-0,023572939
Ciente 143	2,994	0,013	-0,062170828	-0,063085739
Ciente 144	7,905	0,028	0,003679672	-0,015432339
Ciente 145	5,17	0,026	0,025613672	-0,038932839
Ciente 146	3,45	0,017	0,034343572	-0,070964939
Ciente 147	1,58	0,005	-0,012939428	-0,030243939
Ciente 148	3,542	0,013	0,021726172	-0,025928239
Ciente 149	0,33	0,001	0,033075772	-0,082369939
Ciente 150	2,27	0,009	-0,004010028	-0,032350339
Ciente 151	2,16	0,006	0,025071672	-0,029511139
Ciente 152	4,845	0,011	0,041182972	-0,018212739
Ciente 153	3,93	0,014	0,026750472	-0,018133439
Ciente 154	1,68	0,005	0,046382872	-0,051787339
Ciente 155	6,72	0,025	-0,028844628	-0,047748139
Ciente 156	0,25	0,001	0,052175072	-0,042832639
Ciente 157	3,115	0,005	-0,025597928	-0,069357439
Ciente 158	2,66	0,007	0,032264572	-0,013492439
Ciente 159	7,015	0,026	0,057355372	-0,033030339
Ciente 160	3,449	0,007	0,049991072	0,041690761
Ciente 161	2,154	0,01	0,026233772	-0,023943939
Ciente 162	1,338	0,006	0,020274572	-0,004944139
Ciente 163	0,55	0,001	0,095662172	-0,052068239
Ciente 164	12,064	0,037	-0,007672128	-0,010913439
Ciente 165	2	0,006	0,012435472	-0,006375539
Ciente 166	0,6	0,002	-0,019404628	-0,036046339
Ciente 167	3,07	0,017	-0,041795728	0,003395161
Ciente 168	4,05	0,01	0,038576872	0,019658561
Ciente 169	9,25	0,004	0,035387372	-0,050913839
Ciente 170	2,4	0,007	-0,044433428	-0,083779939
Ciente 171	2,4	0,007	-0,044433428	-0,083779939
Ciente 172	10,647	0,032	0,022386172	-0,029465339

Cliente 173	2,084	0,016	0,066188072	-0,076541539
Cliente 174	3,73	0,014	0,011731472	-0,015153239
Cliente 175	3,961	0,005	-0,009368028	0,038851361
Cliente 176	4,38	0,02	0,007871372	0,032135361
Cliente 177	3,928	0,02	-0,024757528	-0,024513739
Cliente 178	2,225	0,001	0,018088972	-0,028139839
Cliente 179	12,426	0,033	-0,033056228	-0,095405239
Cliente 180	3,18	0,01	0,000514572	-0,032095339
Cliente 181	6,518	0,02	0,007096172	-0,013267839
Cliente 182	3,03	0,015	0,068262672	-0,076066539

Fonte: Autor.