



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA ROTEIRIZAÇÃO DE  
VEÍCULOS EM ROTAS REAIS: CASO DE UMA FÁBRICA DE GELO NO  
DISTRITO FEDERAL**

Por,  
**Victor Bahia Spach**

**Brasília, 07 de dezembro de 2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA ROTEIRIZAÇÃO DE  
VEÍCULOS EM ROTAS REAIS: CASO DE UMA FÁBRICA DE GELO NO  
DISTRITO FEDERAL**

Por,

**Victor Bahia Spach**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Produção

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Sérgio Ronaldo Granemann, UnB/  
EPR (Orientador)

---

Prof. MSc. Luiza Lavocat Galvão de  
Almeida Coelho, UnB/ EPR

---

Brasília, 07 de dezembro de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro a Deus por me proporcionar tantas oportunidades na vida, dentre elas a de realizar este projeto de graduação e poder me tornar engenheiro de produção.

Ao meu orientador, professor Sérgio Ronaldo Granemann por todos os ensinamentos, paciência e apoio, não só durante a realização deste projeto mas durante a minha graduação, sendo responsável pelo meu interesse em logística.

À professora Luiza Lavocat por ser um exemplo desde o projeto de extensão, por ter me ajudado tanto e por ter aceito fazer parte deste momento tão importante como examinadora da banca.

À minha mãe Julieta Bahia pelo seu amor e apoio incondicional, muito obrigado por me ensinar a sempre procurar enxergar as coisas positivas no mundo e que somos mais fortes do que pensamos.

Ao meu pai Roberto Spach por sempre confiar em mim e por ter me ensinado a nunca desistir dos meus objetivos e agradeço à minha irmã Rafaella Spach pela paciência, companheirismo e apoio durante este projeto.

Às minhas avós Norma e Cidinha, que sempre me apoiaram e me garantiram o ensino de qualidade que resultou neste projeto.

À minha namorada Nathália Silva que se fez presente, torceu por mim e me deu forças durante todos os momentos deste projeto. Muito obrigado pelo amor, atenção e compreensão.

Ao Felipe Costa pela ajuda fundamental neste projeto.

Aos amigos que fiz nesses cinco anos e meio de curso, que estiveram comigo nos PSP, nos estudos para as provas e nos momentos de descontração. Vocês foram muito importantes para o meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal. Agradeço especialmente aos meus amigos André Okamura, Eduardo Kemper, Lucas Guimarães e Vinicius Naoum, que juntos foram fundamentais na minha caminhada até aqui.

A todos os meus amigos que fiz fora da Universidade e que possuem uma importância muito grande na minha vida, em especial ao Ivan Ribeiro, ao Leonardo da Matta, ao Rafael Barroso e à Paula Vieira, que me ajudaram a ser o que sou hoje.

Finalmente agradeço a todos que de forma direta ou indireta me ajudaram na minha caminhada acadêmica, profissional e pessoal até o momento e que, com isso, tornaram este projeto possível.

## RESUMO

A roteirização de veículos é uma importante ferramenta da pesquisa operacional e da logística para melhorar e reduzir os custos da distribuição de produtos a partir da redução das distâncias percorridas e dos tempos de trajeto. Os métodos heurísticos de roteirização podem contribuir como uma alternativa mais simples e, também, eficaz para a otimização de rotas, auxiliando as empresas a melhorarem a entrega de mercadorias aos clientes espalhados em uma determinada região geográfica. Este trabalho buscou comprovar por meio da aplicação dos métodos da Varredura, do Vizinho Mais Próximo e da Inserção do Ponto Mais Distante, se a aplicação de métodos heurísticos de roteirização é capaz de impactar positivamente na distribuição de produtos de uma fábrica de gelo no Distrito Federal, diminuindo suas distâncias percorridas e seu tempo de trajeto das rotas. Para isso, os dados foram levantados a partir de visitas realizadas à empresa e acompanhamento das rotas realizadas por ela. Os resultados obtidos com a aplicação dos métodos heurísticos foram melhores do que quando realizados empiricamente, no qual o método da Inserção do Ponto Mais Distante apresentou os melhores resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Métodos heurísticos de roteirização. Roteirização de veículos. Distribuição de produtos perecíveis.

## **ABSTRACT**

The vehicle routing is an important operational research and logistics tool for the improvement and the reduction of products distribution costs, by minimizing the distances traveled and the travel times. Heuristic routing methods can contribute as a simpler and more effective route optimization alternative, helping companies improve the delivery of its products to customers spread in a particular geographic region. This work sought to prove, through the application of the Sweep Method, the Nearest-Neighbor Algorithm and the Insertion Of The Vertex Furthest Away From The Tour, if the application of heuristic routing techniques is capable of positively impacting the distribution of products from an ice factory in the Federal District, reducing its distances traveled and its travel time of the routes. To do so, the data was collected from visits made on the company and follow-ups of the routes performed by it. The results obtained with the application of the heuristic methods were better than when done empirically, in which the method of the Insertion of The Vertex Furthest Away From The Tour presented the best results.

**KEY WORDS:** Heuristic routing methods. Vehicle routing. Distribution of perishable products.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Roteiro Simples em Um Bolsão de Distribuição.....	11
Figura 2 – Método da Varredura .....	22
Figura 3 – Método de Inserção do Ponto Mais Distante .....	24
Figura 4 – Método de Melhoria 2-opt .....	26
Figura 5 – Bolsões de Entrega Asa Sul e Asa Norte .....	28
Figura 6 – Método da Varredura na Rota 1 .....	31
Figura 7 – Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 1 .....	32
Figura 8 – Método de Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 1 .....	34
Figura 9 – Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 3 .....	35
Figura 10 – Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 3.....	36

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Princípios para uma Boa Roteirização e Programação .....	17
Quadro 2 – Problemas de Roteirização .....	18
Quadro 3 – Estudos de Caso.....	24
Quadro 4 – Bolsões de Entrega .....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Velocidade Média das Rotas .....	29
Tabela 2 – Rota 1 Executada pela Empresa e Planejada de Forma Empírica .....	30
Tabela 3 – Dados Referentes à Aplicação do Método da Varredura na Rota 1 .....	31
Tabela 4 – Dados Referentes à Aplicação do Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 1 .....	33
Tabela 5 – Dados Referentes à Aplicação do Método de Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 1 .....	34
Tabela 6 – Método do Vizinho Mais Próximo Na Rota 3 Com e Sem Melhoria .....	35
Tabela 7 – Distâncias Percorridas em Cada Rota .....	36
Tabela 8 – Tempos de Trajeto.....	37
Tabela 9 – Ganhos Percentuais Médios.....	38



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Ganhos Percentuais de Cada Método Quanto a Distância.....	37
Gráfico 2 – Ganhos Percentuais Quanto ao Tempo de Trajeto.....	38

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1. JUSTIFICATIVA</b> .....	12
<b>1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO</b> .....	14
<b>1.3. METODOLOGIA</b> .....	14
<b>1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>2.1. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS</b> .....	17
<b>2.2. MÉTODOS HEURÍSTICOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS</b> .....	20
<b>2.2.1. MÉTODO DA VARREDURA</b> .....	21
<b>2.2.2. MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO</b> .....	22
<b>2.2.3. MÉTODO DA INSERÇÃO DO PONTO MAIS DISTANTE</b> .....	23
<b>2.3. MÉTODOS DE MELHORIA DO ROTEIRO</b> .....	25
<b>2.3.1. MÉTODO 2-OPT.</b> .....	25
<b>3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS HEURÍSTICOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS</b> .....	27
<b>3.1. ROTA EXECUTADA PELA EMPRESA E PLANEJADA DE FORMA EMPÍRICA</b> .....	29
<b>3.1.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO DA VARREDURA</b> .....	31
<b>3.1.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO</b> .....	32
<b>3.1.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE INSERÇÃO DO PONTO MAIS DISTANTE</b> .....	33
<b>3.1.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MELHORIA 2-OPT</b> .....	35
<b>3.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DOS MÉTODOS HEURÍSTICOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS</b> .....	36
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40
<b>APÊNDICE A – ROTAS EXECUTADAS PELA EMPRESA E PLANEJADAS DE FORMA EMPÍRICA</b> .....	43
<b>APÊNDICE B - MÉTODO DA VARREDURA</b> .....	44
<b>APÊNDICE C –MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO</b> .....	46
<b>APÊNDICE D - MÉTODO DA INSERÇÃO DO PONTO MAIS DISTANTE</b> .....	47

## 1. INTRODUÇÃO

Empresas de diversos segmentos trabalham com entregas ou coletas de mercadorias, utilizando um ou mais veículos a partir de um centro de distribuição, com o objetivo de visitar clientes situados em diferentes localizações e depois voltar à sede.

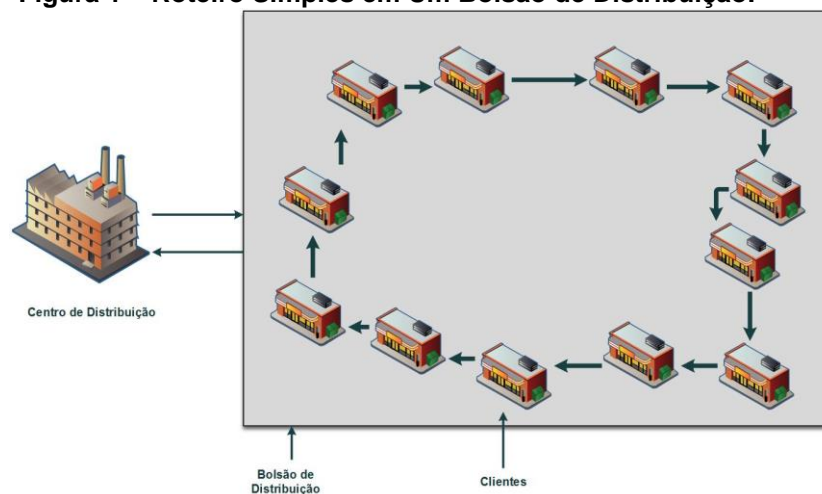
Novaes (2007) cita como exemplos os seguintes casos: entrega em domicílio de produtos comprados pela internet; distribuição de bebidas em bares e restaurantes; distribuição de dinheiro para caixas eletrônicos; distribuição de combustíveis para os postos de gasolina; coleta de lixo urbano e entrega de correspondências.

Um problema comum em empresas que lidam com esse trabalho é definir a forma de visitar todos os lugares com o melhor desempenho logístico possível.

Uma ferramenta utilizada para melhorar este desempenho é a roteirização de veículos que, de acordo com Novaes (2007), busca entregar ao cliente um serviço de alto nível, mas, ao mesmo tempo, toma providências para que os custos operacionais e de capital sejam minimizados, obedecendo às restrições impostas pelo serviço.

Cunha (2000) caracteriza a roteirização de veículos como a determinação de roteiros que precisam ser realizados para que os veículos de uma frota possam atender aos clientes, previamente planejados, instalados em localidades geograficamente dispersas. Pode-se ver uma demonstração de roteiro de visitas na Figura 1.

**Figura 1 – Roteiro Simples em Um Bolsão de Distribuição.**



**Fonte: Adaptado de Novaes (2007).**

A distribuição de produto perecível, como o gelo, é o momento que demanda maior cuidado no gerenciamento da cadeia de abastecimento deste tipo de

material. Isso se evidencia nas atuais posturas do mercado, aonde os clientes estão cada vez mais exigentes quanto a qualidade e ao prazo das entregas. Na fase de transporte, os produtos estão mais sujeitos à deterioração (REZENDE, 2011).

Este estudo usou como base de dados as informações levantadas na maior fábrica de gelo do Distrito Federal, que possui mais de dois mil clientes registrados, e é responsável por fornecer o produto para restaurantes, supermercados, postos de gasolina, padarias, distribuidoras de bebidas, peixarias, grandes eventos, empresas de concreto, entre outros.

Nestes dados levantados foram aplicados métodos de roteirização heurísticos, buscando entender os impactos destes métodos na distribuição de gelo no Distrito Federal.

### **1.1. JUSTIFICATIVA**

Segundo Novaes (2007), a logística tem a função de tornar possível que as metas estipuladas pelo setor de marketing sejam alcançadas, garantindo que o produto correto esteja em posse do cliente no momento desejado. Para Bowersox e Closs (2004), a logística é o processo que passa pelo ciclo de planejamento, implementação e controle efetivo do fluxo e armazenagem de mercadorias, serviços e informações, relacionadas desde o ponto de origem até a entrega, buscando sempre o atendimento das necessidades do cliente.

Para Ballou (2006), a logística está diretamente relacionada com a criação de valor que a empresa quer dar ao cliente, cuja presença relaciona-se com os quesitos tempo e lugar, porque o produto precisa estar em posse do cliente quando e aonde ele precisar. Quando se sabe o valor que a empresa quer estrategicamente passar ao cliente é possível definir em quais variáveis da logística se deverá investir mais, se no tempo, custo, confiabilidade ou segurança do transporte.

O transporte e a distribuição também estão relacionados à localização da empresa. Conforme os ensinamentos de Ballou (1993), quanto menor for a quantidade de armazéns de uma empresa, menor o seu custo de estoque e de processamento de pedidos, porém maior será o seu custo com o transporte. Isso acontece porque quando se tem mais armazéns, aumenta-se a proximidade com o cliente e, com isso, o custo do transporte diminui. Desta maneira, empresas com poucos centros de distribuição devem preocupar-se em aplicar ferramentas e métodos que melhorem o desempenho na distribuição de suas mercadorias.

A logística está ligada às diversas áreas de uma empresa e busca atender às necessidades dos clientes, fazendo com que os produtos certos sejam entregues no tempo e no local corretos, além de garantir que a mercadoria chegue em perfeitas condições. Para auxiliar no processo de distribuição de mercadorias, as empresas podem usar os métodos de otimização para planejar e executar a roteirização de veículos.

A importância dos problemas de roteirização de veículos está cada vez mais clara para os pesquisadores da área e também para as empresas que os vivenciam. Segundo Cunha (2000), a importância da roteirização pode ser medida pela quantidade expressiva de artigos publicados ao longo dos anos na literatura especializada no assunto, incluindo nos anais de congressos da Agência Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET). O autor diz que o fato está diretamente ligado à relevância do assunto no contexto logístico, o que motiva a busca por novas estratégias de solução para os problemas desta natureza.

De acordo com Ballou (2006), o tempo de transporte das mercadorias causa consequências na quantidade de fretes que podem ser feitos pelos veículos e, também, nos custos do transporte, que podem representar de um a dois terços do custo logístico total. Ballou (1993) diz que a boa utilização dos veículos da empresa resulta na necessidade de menos caminhões e em menores custos operacionais.

Melo e Ferreira Filho (2001) dizem que muitas empresas querem passar uma imagem mais confiável aos seus clientes, com mais velocidade e flexibilidade em seus serviços, com o objetivo de serem mais eficientes e pontuais para obterem vantagem competitiva.

Em busca dessa vantagem, as empresas estão otimizando os seus processos de entrega por meio do melhor planejamento das rotas para a distribuição dos materiais. O planejamento das rotas gera reduções nos custos operacionais, melhoria da imagem da empresa no mercado na qual está inserido, maior fidelidade dos clientes e com isso pode levar a um aumento no *market share*.

A distribuição física é muito importante em empresas que trabalham com produtos perecíveis, como o gelo, que precisam ser armazenados em condições específicas. Por outro lado, na maioria dos casos, os clientes não possuem a capacidade física de estocar muito produto, o que exige serviço de entrega em pouca quantidade e com alta frequência.

É importante estudar cada problema de roteirização de forma particular, porque em muitos casos a solução de um problema de roteirização é única e não pode ser aplicada para outro problema, devido às estratégias de solução heurísticas que, em muitos casos, são muito específicas (CUNHA, 2000).

Existem empresas familiares de pequeno e médio porte que planejam as suas entregas de maneira empírica e não possuem conhecimentos sobre roteirização, por conta disso optou-se pelo uso de métodos heurísticos, que de acordo com Gigerenzer e Gaissmaier (2011) são mais simples.

Com isso, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: para a distribuição de gelo aos diversos clientes espalhados pelas principais áreas do Distrito Federal, a aplicação de métodos heurísticos de roteirização é adequada à entrega de produtos de forma mais rápida e com um trajeto menor?

## **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

Este trabalho tem o objetivo de analisar o impacto da utilização dos métodos heurísticos da Varredura, Inserção do Ponto Mais Distante e do Vizinho Mais Próximo, no tempo e distância percorrida para a distribuição de produto de uma fábrica de gelo no Distrito Federal.

O objetivo específico deste trabalho é:

- Propor um método de roteirização de veículos para a empresa.

## **1.3. METODOLOGIA**

O desenvolvimento do trabalho baseou-se nos passos metodológicos listados a seguir:

- Revisão bibliográfica sobre roteirização de veículos pelos métodos heurísticos da Varredura, da Inserção do Ponto Mais Distante e do Vizinho Mais Próximo;
- Seleção da rota a ser estudada de acordo com a facilidade para coleta dos dados;
- Acompanhamento do processo de distribuição nas rotas executadas, com o objetivo de se conhecer os clientes da rota, a ordem de entrega, o tempo gasto em cada ponto de entrega, o tempo gasto no percurso de um ponto para o outro, a

distância percorrida pelo motorista de um ponto a outro e a demanda de cada cliente. Os tempos de transporte e de permanência em cada ponto foram levantados com o auxílio de um relógio e as distâncias foram marcadas com a utilização do hodômetro total do caminhão.

- Cálculo de velocidade média do veículo na rota, utilizando o tempo de percurso e a distância percorrida, com o uso da equação  $V_m = \Delta S / \Delta T$ ;
- Aplicação dos métodos previamente selecionados nos dados das rotas acompanhadas. O cálculo das distâncias entre os pontos foi feito com o auxílio do *Google Maps* e a construção das rotas foi feita no *My Maps*. Os cálculos foram realizados com o auxílio do MS Excel;
  - Optou-se por aplicar os métodos de Varredura, Vizinho Mais Próximo e Inserção do Ponto Mais Distante, porque são de fácil aplicação e impactantes. Novaes (2007) diz que o método da Varredura é uma ferramenta simples de ser utilizada e de computação rápida que possui um bom desempenho e, também que o método da Inserção do Ponto Mais Distante é um dos métodos de construção de roteiro mais eficientes.
  - O método do Vizinho Mais Próximo foi escolhido por ser, segundo Novaes (2007), o método de construção de roteiro mais fácil de ser utilizado e, também, por ser, de acordo com Laporte (1992b), o método de roteirização mais utilizado para resolver o Problema do Caixeiro Viajante.
  - Comparação entre as distâncias e os tempos de rota obtidos com a aplicação de cada método e com os resultados da prática atual da empresa;
  - Proposição de um método de roteirização de veículos para a empresa.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

A estrutura do trabalho possui quatro capítulos, os quais são descritos a seguir.

##### **1. Introdução**

Este capítulo apresenta a contextualização do estudo, a justificativa e os objetivos a alcançar, além da metodologia e da estrutura do trabalho.

##### **2. Revisão Bibliográfica**

No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica do estado da arte de trabalhos já desenvolvidos nas áreas de roteirização de veículos, dos métodos Varredura, Vizinho Mais Próximo e Inserção do Ponto Mais Distante, além do método de melhoria 2-opt.

### 3. Aplicação dos Métodos de Roteirização

Apresentação dos dados do problema na empresa objeto da aplicação dos métodos de roteirização, juntamente com a aplicação dos métodos em uma das rotas e os resultados obtidos com a aplicação dos métodos heurísticos de roteirização de veículos nos dados das rotas executadas pela empresa.

### 4. Conclusão

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com o resultado do estudo e são sugeridos temas para o desenvolvimento de novos trabalhos.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Laporte (1992a) trata o problema de roteirização de veículos como a definição de rotas ótimas de entrega ou coleta, a partir de um ou vários centros de distribuição, para vários clientes geograficamente dispersos, sujeitos a restrições.

Posteriormente, Laporte et al. (2000), definem o problema de roteirização de veículos com o ato de projetar uma ou mais rotas de entrega ou coleta, de modo que a rota inicia e termina no mesmo lugar, sendo que cada cliente é visitado uma vez por apenas um veículo, respeitando as restrições de carga e de tempo e o custo total deve ser minimizado.

Solomon (1987) definiu o problema de roteirização de veículos como a concepção de um conjunto de rotas com um custo mínimo, começando e terminando no mesmo local. A roteirização deve ser programada para uma frota de veículos que deve atender clientes que possuem demandas conhecidas. Cada cliente deve ser visitado uma vez e o roteiro não deve exceder a capacidade do veículo.

Para Ballou (2006), é possível adotar alguns princípios como diretrizes para se realizar a roteirização e a programação de veículos. Com o uso deles pode-se conseguir avanços significativos no desenvolvimento de boas rotas. Os princípios são relacionados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Princípios para uma Boa Roteirização e Programação**

	<b>Princípio</b>	<b>Descrição</b>
1	Carregar caminhões com volumes destinados às paradas que estejam mais próximas entre si.	Os roteiros devem ser organizados em torno de agrupamento de paradas próximas a fim de minimizar o tráfego entre elas e, também, o tempo de trânsito no roteiro.
2	Paradas em dias diferentes devem ser combinadas para produzir agrupamentos concentrados.	Quando as paradas precisarem ser servidas em diferentes dias da semana, deve-se segmentá-las em problemas de roteirização e programação diferentes para cada dia da semana. Isto diminuirá a quantidade de caminhões necessários para realizar a distribuição e o tempo e distância totais de entrega.
3	Comece os roteiros a partir da parada mais distante do depósito	Uma vez identificada a parada mais distante, é preciso selecionar as paradas em torno desta parada-chave que completam a capacidade do caminhão a ser utilizado. Depois disto, seleciona-se outro veículo e identifica-se a parada mais distante que ainda não tenha sido suprida, procedendo-se da mesma maneira que antes, até que todas as paradas tenham sido atendidas.
4	O sequenciamento das paradas em um roteiro de caminhões deve ter o formato de lágrima	As paradas devem ser sequenciadas de maneira a não ocorrer superposições entre elas, fazendo com que o roteiro assuma o formato de uma lágrima.

5	Os roteiros mais eficientes são aqueles que fazem uso dos maiores veículos disponíveis	A utilização de um veículo com capacidade suficiente para suprir todas as paradas de um roteiro minimizaria a distância ou tempo total para servir todas as paradas
6	A coleta deve ser combinada nas rotas de entrega em vez de reservada para o final dos roteiros	As coletas deveriam ser feitas, sempre que possível, ao longo do andamento das entregas com o objetivo de minimizar o número de superposições de roteiros. A extensão em que isso pode ser feito depende das características do veículo.
7	Uma parada removível de um agrupamento de rota é uma boa candidata a um meio alternativo de entrega	Paradas isoladas dos agrupamentos de pontos de entrega, especialmente aquelas abaixo do volume, são servidas ao custo de mais tempo do motorista e despesas do veículo. A utilização de veículos menores para cuidar dessas situações pode revelar-se como mais econômica, dependendo da distância e dos volumes envolvidos.
8	As pequenas janelas de tempo de paradas devem ser evitadas	As restrições das janelas de tempo de paradas muito pequenas podem forçar uma sequência de paradas longe do padrão ideal. Uma vez que as restrições das janelas de tempo nem sempre são absolutas, qualquer parada que não seja adequada deve ter seus limites de janela de tempo renegociados e, sempre que possível, ampliados.

Fonte: Adaptado de Ballou (2006)

Ballou (2006) diz ainda que os problemas de roteirização podem ser reduzidos em categorias básicas: o problema de achar uma rota ao longo de uma rede na qual o ponto de início é diferente do ponto final, o problema que possui diversos pontos de início e diversos pontos de chegada e outro problema, mais complexo, quando os pontos de origem e de destino são coincidentes.

No Quadro 2 são listados alguns problemas de roteirização que se encaixam nessas categorias básicas.

**Quadro 2 – Problemas de Roteirização**

Denominação	Número de Roteiros	Localização dos Clientes	Limite de Capacidade nos Veículos	Número de Bases	Demandas
<b>Problema do Caixeiro Viajante</b>	Um	Nós	Não	Uma	Determinísticas
<b>Problema do Carteiro Chinês</b>	Um	Arcos	Não	Uma	Determinísticas
<b>Problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes</b>	Múltiplos	Nós	Não	Uma	Determinísticas
<b>Problema de Roteirização em Nós com Uma Única Base</b>	Múltiplos	Nós	Sim	Uma	Determinísticas
<b>Problema de Roteirização em Nós com Múltiplas Bases</b>	Múltiplos	Nós	Sim	Múltiplas	Determinísticas
<b>Problema de Roteirização em Nós com Demandas Incertas</b>	Múltiplos	Nós	Sim	Uma	Estocásticas

<b>Problemas de Roteirização em Arcos com Limite de Capacidade</b>	Múltiplos	Arcos	Sim	Uma	Determinísticas
--	-----------	-------	-----	-----	-----------------

Fonte: Cunha (2000).

Bodin *et al.* (1983) definem cada problema do Quadro 2 da seguinte maneira:

- **Problema do Caixeiro Viajante (PCV):** determinação de um ciclo de custo mínimo que passa por todos os nós de um grafo exatamente uma vez. Se os caminhos forem simétricos, apresentando o mesmo custo, denomina-se como PCV simétrico, caso contrário, temos o PCV assimétrico ou dirigido;
- **Problema do Carteiro Chinês:** determinação de um ciclo de custo mínimo que passa por cada arco pelo menos uma vez. Este problema pode ser definido de duas maneiras direcionado ou não-direcionado, dependendo de como são os seus arcos;
- **Problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes:** é a generalização do PCV quando se precisa contabilizar mais de um caixeiro (veículo). Não existe um número máximo de pontos que cada veículo pode visitar, mas cada veículo deve visitar pelo menos um ponto;
- **Problema de Roteirização em Nós com Uma Única Base:** este é o clássico problema de roteirização de veículos, e se trata de um conjunto de rotas de entrega para veículos alojados em um depósito central, que serve a todos os nós e minimiza a distância total percorrida. A demanda em cada nó é assumida como determinística e cada veículo tem uma capacidade conhecida;
- **Problema de Roteirização em Nós com Múltiplas Bases:** funciona de maneira semelhante ao Problema de Roteirização em Nós com Uma única Base, mas os veículos devem distribuir a partir de múltiplos depósitos. O veículo deve retornar para o seu respectivo depósito de origem;
- **Problema de Roteirização em Nós com Demandas Incertas:** funciona de maneira muito semelhante ao problema clássico de roteirização de veículos, porém não se sabe, com certeza, a

demanda e, por isso, esta demanda é estimada a partir de distribuição probabilística;

- **Problemas de Roteirização em Arcos com Limite de Capacidade:** com uma rede de arcos não direcionados, aonde cada arco possui uma demanda maior ou igual a zero que deve ser suprida por um dos veículos da frota existente. A demanda do arco não pode ultrapassar a capacidade do veículo e o custo total deve ser mínimo.

Cunha (2000) diz que todos esses problemas, com exceção do problema do carteiro chinês, derivam do problema do PCV, que apresenta o mesmo local como ponto de origem e de destino com uma certa quantidade de pontos que devem ser visitados no caminho. Segundo Laporte (1992b), o PCV é um dos problemas de otimização mais estudados e mesmo que pareça simples é um dos maiores desafios da pesquisa operacional. Para Cunha, Bonasser e Abrahão (2002), “O PCV pode ser definido como o problema de encontrar o roteiro de menor distância ou custo que passa por um conjunto de cidades, sendo cada cidade visitada exatamente uma vez”.

## 2.2. MÉTODOS HEURÍSTICOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Cunha, Bonasser e Abrahão (2002) dizem que existem duas categorias de resolução para o PCV, as soluções exatas e as heurísticas. Pelo fato das soluções exatas apresentarem limitações por conta da complexidade deste tipo de problema, as soluções heurísticas são mais interessantes.

Segundo Pôlya (1973), o raciocínio heurístico não é definitivo, mas sim algo plausível com o objetivo de solucionar um problema. O raciocínio heurístico deve ser utilizado antes de se elaborar soluções mais complicadas.

Cordeau et al (2002) também dizem que o problema de roteirização de veículos trata de uma questão combinatória difícil que pode ser resolvida de maneira ótima apenas em casos com poucos pontos e, por conta disso, os métodos heurísticos são comumente utilizados na prática.

A heurística é uma estratégia que não utiliza todas as informações possíveis para resolver o problema de maneira mais rápida, simples e com uma precisão que pode ser tão boa quanto as dos métodos mais complexos (GIGERENZER e GAISSMAIER, 2011).

Além desses autores, Ballou (2006) afirma que não é simples encontrar o melhor roteiro para o PCV quando existem muitos pontos ou quando a decisão deve ser tomada rapidamente e, por conta disso, os procedimentos de solução cognitivos, ou combinações de heurísticos-otimizadores, têm representado boas alternativas.

Para Cordeau *et al.* (2002) os métodos heurísticos de roteirização de veículos, apesar de realizarem um procedimento relativamente limitado, conseguem entregar bons resultados com rápidos cálculos computacionais e considerando muitas das restrições encontradas nos processos das empresas.

De acordo com Cunha (1997, apud Cunha, 2000) as soluções heurísticas utilizam, muitas vezes, a intuição e o entendimento particular do problema, fazendo com que cada problema seja individualmente analisado e estudado para encontrar uma solução viável.

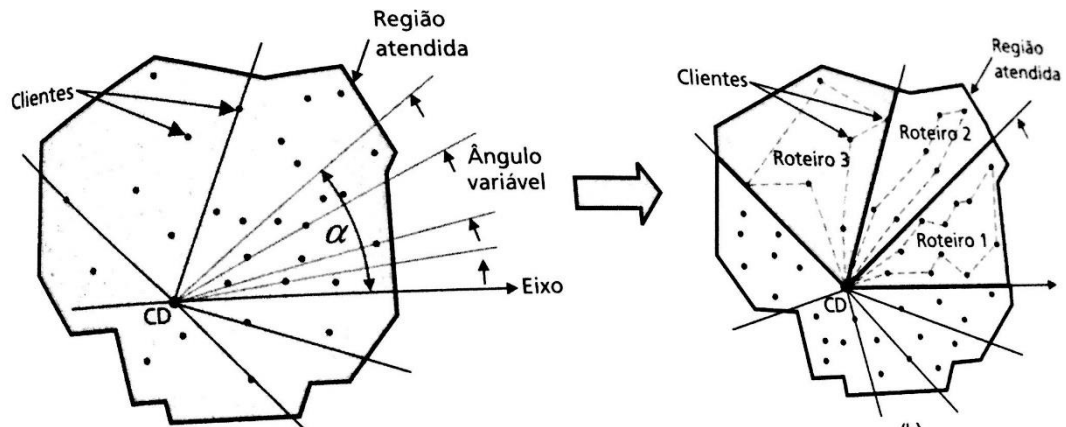
Neste projeto foram utilizados os métodos heurísticos da Varredura, do Vizinho Mais Próximo e da Inserção do Ponto Mais Distante, detalhados nos capítulos 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3.

### **2.2.1. MÉTODO DA VARREDURA**

Para Ballou (2006), mesmo que o método da Varredura possua um índice médio de erro projetado de 10%, trata-se de um procedimento simples e pode ser uma opção para os casos de elaboração de roteiros curtos e que não exijam o alcance do caminho ótimo.

Gillet e Miller (1974) definem o método da Varredura como a elaboração de rotas viáveis a partir do giro do eixo centrado no Centro de Distribuição, incluindo os clientes na rota de um veículo de acordo com as suas coordenadas. Quando o eixo gira na direção horária, o primeiro ponto tocado pelo eixo é o que apresenta o menor ângulo junto ao centro e será o primeiro ponto da rota, depois o eixo deve continuar a girar até que o próximo ponto seja encontrado. Este movimento deve continuar até que as restrições da rota sejam alcançadas. Quando isso acontecer, uma nova rota é iniciada e o processo é repetido até que todo o plano com os pontos tenha sido considerado. O cálculo pode ser feito com o eixo girando tanto para o sentido horário quanto para o anti-horário. Pode-se ver uma exemplificação do método na Figura 2.

Figura 2 – Método da Varredura



Fonte: Novaes (2007)

Este método pode ser utilizado em casos sem restrição mas, também, pode considerar diversas. Cordeau *et al.* (2002) citam a restrição de comprimento de rota, enquanto Solomon (1987) demonstra uma restrição de janela de tempo. O método de varredura também pode ser visto em Laporte (1992a), Laporte *et al.* (2000) e Novaes (2007).

Souza *et al.* (2016) utilizaram o método da Varredura em uma distribuidora de carga expressa de grande porte e que possuía veículos com capacidades diferentes. Os dados necessários para a aplicação do método foram obtidos a partir de pesquisa documental e a aplicação da estratégia de roteirização resultou em uma redução de 18,3% no percurso e de 25,8% no custo.

### 2.2.2. MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

O método do Vizinho Mais Próximo utiliza um procedimento muito simples para encontrar uma solução para o problema de roteirização, principalmente para o PCV, quando não existem restrições. Laporte (1992b) explica o *Nearest-Neighbor Algorithm* em três etapas:

1. Considere um ponto aleatório para ser o seu ponto de partida;
2. Determine o ponto mais próximo do último ponto visitado e o inclua no roteiro. Caso ainda exista algum ponto que não tenha sido visitado, esta etapa deve ser repetida;

3. Quando todos os pontos tiverem sido visitados, fecha-se o roteiro unindo o último ponto ao primeiro.

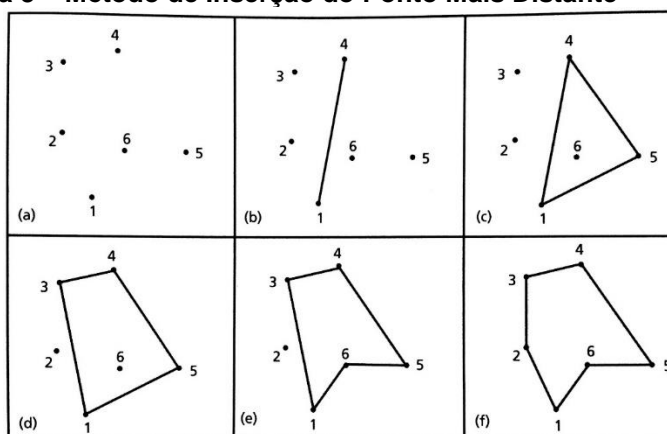
Com o objetivo de elaborar uma rota de entrega de mercadorias com o uso deste método é interessante que o primeiro ponto escolhido seja o centro de distribuição da própria empresa para que se calcule o roteiro desde a saída do produto até o retorno do veículo à sede.

Moro *et al.* (2015) utilizaram o método do Vizinho Mais Próximo para melhorar o desempenho das entregas de uma empresa de pequeno porte do setor atacadista. Os autores utilizaram o programa de computador *SCILAB*® 5.2.2 para resolver o problema que continha 19 pontos de entrega e conseguiram reduzir a distância percorrida em 9,4%.

### **2.2.3. MÉTODO DA INSERÇÃO DO PONTO MAIS DISTANTE**

De acordo com Laporte (1992b), para se utilizar o método da Inserção deve-se, primeiramente, construir um roteiro com apenas dois pontos, depois disso considera-se todos os pontos que ainda não foram incluídos no roteiro, e os insere um de cada vez seguindo algum critério. Um desses critérios é a inserção do ponto mais distante.

Novaes (2007) explica o modelo de Inserção do Ponto Mais Distante e diz que para se aplicar este método, primeiramente, une-se o ponto de partida ao ponto mais distante do roteiro. Depois disso, busca-se o ponto mais distante do roteiro parcial já montado e o adiciona ao roteiro. A seguir, procura-se o ponto mais distante do novo roteiro parcial e o adiciona ao roteiro a partir do arco mais próximo do ponto. Este passo deve ser repetido até que todos os pontos tenham sido adicionados ao roteiro. Pode-se ver um exemplo desse procedimento na Figura 3.

**Figura 3 – Método de Inserção do Ponto Mais Distante**

Fonte: Novaes (2007)

Muitos estudos de caso são realizados com a aplicação desses métodos heurísticos, buscando a melhoria do sistema de transporte de diversas empresas inseridas em vários segmentos de mercado. As empresas podem utilizar desde *softwares* específicos de roteirização, que muitas vezes são baseados em métodos heurísticos, até realizar o cálculo em softwares matemáticos, como o MS Excel. No Quadro 3 pode-se observar os resultados obtidos por algumas empresas com a aplicação de métodos de roteirização.

**Quadro 3 – Estudos de Caso**

<b>Autor</b>	<b>Ramo da Empresa</b>	<b>Método de Roteirização</b>	<b>Resultados</b>
De Matos Júnior et al.(2013).	Alimentício.	Software de roteirização com método não informado.	Com a utilização do software de roteirização obteve-se uma melhora no nível de serviço e uma redução no índice de devoluções.
Conceição et al. (2004).	Distribuição de Produtos Siderúrgicos.	Sistema de roteirização baseado em métodos heurísticos.	Redução média de 42% na distância total percorrida pela frota de veículos. Redução de 25% no custo médio do transporte.
Souza et al. (2016).	Empresa de transporte e distribuição de carga fracionada.	Varredura.	Redução de 25,8% nos custos. Redução de 18,3% na distância total percorrida.
SILVA; CADOSO; MOREIRA (2016).	Alimentícia.	Vizinho mais próximo.	Redução de 2,6% na rota.



Benevides (2011).	Distribuidora de Produtos.	Vizinho mais próximo e Inserção do ponto mais distante.	O método do vizinho mais próximo apresentou uma melhora de até 34,71 %, na distância total percorrida, em um dos dias da semana, quando aplicado junto com o método de melhoria 2-opt. O método de inserção do ponto mais próximo apresentou melhora de até 41.66%, na distância total percorrida, em um dos dias da semana.
Moro et al. (2015).	Atacadista.	Vizinho mais Próximo.	Redução de 9,4% na distância total percorrida.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.3. MÉTODOS DE MELHORIA DO ROTEIRO

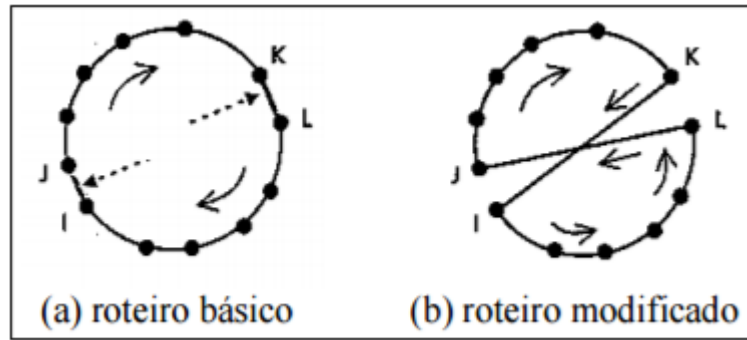
Após a construção do roteiro com um dos métodos heurísticos, é possível aplicar métodos de melhoria de roteiros que buscam melhorar ainda mais as rotas elaboradas (NOVAES, 2007). Ballou (2006) diz que o roteiro que possui cruzamento entre arcos pode ser considerado um mau roteiro, então é um bom caso para aplicar um método de melhoria.

#### 2.3.1. MÉTODO 2-OPT.

“O método 2-opt testa trocas possíveis entre pares de arcos, refazendo conexões quando houver uma melhoria no roteiro.” (CUNHA; BONASSER; ABRAHÃO, 2002, p. 4).

Novaes (2007) explica o método 2-opt em três etapas: a primeira consiste em selecionar um roteiro qualquer, na segunda etapa remove-se dois arcos inteiros para depois reconectar os nós que formavam esses arcos, afim de alterar as ligações. Se a nova ligação gerar um resultado melhor do que o apresentado anteriormente, os arcos devem permanecer substituídos e esta etapa deve ser repetida com novos arcos. Caso a troca não apresente melhores resultados, deve-se continuar com o roteiro anterior e tentar com outros 2 arcos, repetindo a etapa sucessivamente. A etapa 3 é o fim do processo de melhoria, que acontece quando não é mais possível conseguir nenhuma melhoria, quando todas as trocas possíveis já foram realizadas. A Figura 4 apresenta um exemplo.

Figura 4 – Método de Melhoria 2-opt



Fonte: Novaes (2007)

### 3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS HEURÍSTICOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

A empresa cujas rotas de distribuição de produtos foram estudadas neste trabalho é familiar, de pequeno porte e fabricante de gelo. Está situada no Distrito Federal e além do mercado do DF, a empresa entrega produtos nos estados Minas Gerais e Goiás.

A empresa possui caminhões e furgões para executar a distribuição do produto aos clientes, sendo que a logística de distribuição começa a ser planejada no dia anterior à entrega, mas clientes podem ser adicionados no dia da distribuição.

Todos os clientes do Distrito Federal são separados em grupos, chamados de bolsões de entrega e atualmente existem 14 bolsões que são apresentados no Quadro 4. As rotas analisadas neste trabalho estão localizadas nos bolsões Asa Sul e Asa Norte, ilustrados na Figura 5.

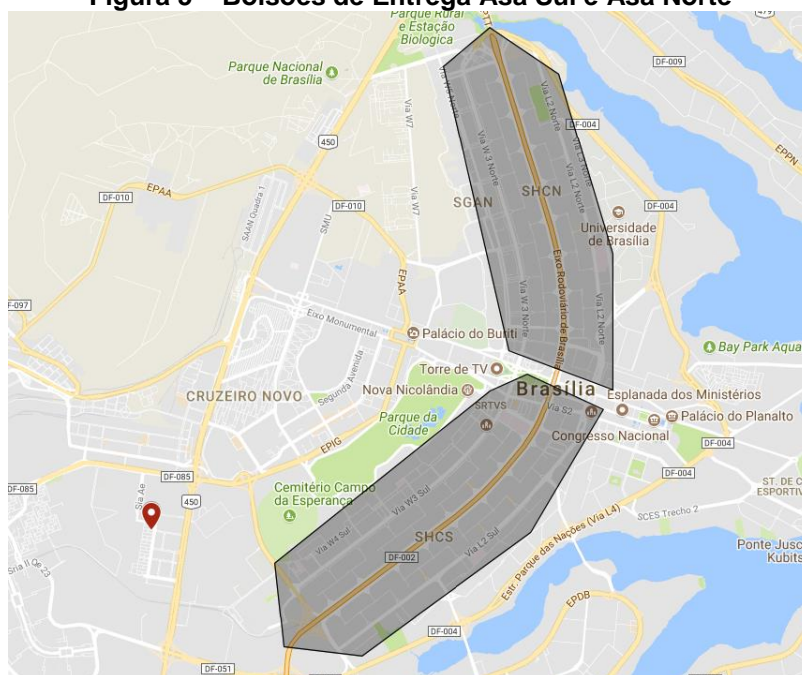
**Quadro 4 – Bolsões de Entrega**

<b>Bolsões de Entrega</b>
Asa Norte
Asa Sul
Setor de Clubes Sul
Sudoeste
Águas Claras
Gama
Guará I/ Guará II
Núcleo Bandeirante/ Candangolândia
Sobradinho
Planaltina
Recanto das Emas
São Sebastião
Taguatinga
Vicente Pires

**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Os bolsões Asa Sul e Asa Norte são as áreas sombreadas da Figura 5, enquanto o ponto vermelho é o Centro de Distribuição, localizado no Setor de Oficinas Sul.

**Figura 5 – Bolsões de Entrega Asa Sul e Asa Norte**



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

As entregas realizadas pela empresa são executadas em caminhões que possuem capacidade para carregar toda a demanda daquela rota, sem necessidade de voltar para a empresa para pegar mais produtos.

Foram analisadas no total três rotas reais realizadas pela empresa em dias diferentes. As rotas foram nomeadas como Rota 1, Rota 2 e Rota 3, com 23, 14 e 11 pontos de entrega, respectivamente. As rotas foram acompanhadas pessoalmente de dentro do caminhão e os seguintes dados foram coletados: tempo de trajeto de um ponto a outro, tempo de permanência em cada ponto, distância percorrida de um ponto ao outro e a demanda de cada cliente.

A sequência da rota original foi utilizada para numerar cada ponto em cada rota. Então, o ponto “1” foi o primeiro ponto a ser visitado, o “2” o segundo e assim por diante, sendo que o Centro de Distribuição será representado pelo número “0” (zero). Cada cliente numerado na rota executada pela empresa, continuou com o seu número original nas rotas construídas.

Tudo que foi realizado em uma das rotas, também foi realizado nas outras duas. Por isso, foram demonstrados apenas os resultados detalhados de uma das rotas, as outras duas podem ser vistas nos apêndices deste documento. O método de melhoria só foi utilizado nas rotas que obtiveram arcos cruzados e como isso ocorreu apenas uma vez, este exemplo também foi detalhado.

Depois, foi possível realizar as análises comparativas finais entre todas as rotas.

Nas rotas reais a empresa passou mais de uma vez em alguns pontos. Na aplicação dos métodos de roteirização, cada cliente deve ser visitado apenas uma vez em cada rota, por conta disso foi considerada a premissa que os clientes seriam comunicados sobre o horário de entrega da mercadoria e iriam recebê-la no horário marcado.

Outra premissa existente para a aplicação dos métodos de roteirização nos dados das rotas reais está relacionada com o horário de almoço. Como os motoristas e seus respectivos ajudantes não possuem um local obrigatório de almoço, o ponto destinado para esse fim não foi adicionado nas novas rotas construídas.

Para que este fato não impactasse nas comparações entre os resultados encontrados, os tempos de trajeto do último ponto antes do almoço até o local da pausa, a distância percorrida do último ponto da manhã até o ponto de almoço e o tempo desta pausa encontrados nas rotas reais foram somados aos resultados encontrados com a aplicação de cada método, ou seja, os dados reais referentes ao almoço da Rota 1 foram somados aos resultados obtidos com a aplicação dos métodos na Rota 1 e assim por diante.

Um dos dados necessários para o cálculo das novas rotas é a velocidade média, então para os cálculos foram utilizadas as velocidades médias reais de cada uma das rotas. Essas velocidades médias podem ser vistas na Tabela 1.

**Tabela 1– Velocidade Média das Rotas**

<b>Rota</b>	<b>Velocidade Média (Km/h)</b>
<b>1</b>	21,27
<b>2</b>	23,3
<b>3</b>	24,09

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **3.1. ROTA EXECUTADA PELA EMPRESA E PLANEJADA DE FORMA EMPÍRICA**

A rota real da empresa é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Rota 1 Executada pela Empresa e Planejada de Forma Empírica

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de trajeto	Tempo no ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	1	00:16:50	00:05:50	15	7,4
1	2	00:08:10	00:02:00	2	3
2	3	00:04:31	00:02:24	5	1,7
3	4	00:05:43	00:02:25	-	3,4
4	5	00:05:40	00:04:52	-	1
5	6	00:06:47	00:44:18	200	4
6	7	00:10:03	00:19:40	80	4,6
7	8	00:02:35	00:03:50	10	0,5
8	9	00:12:03	00:04:18	15	3,7
9	10	00:06:25	00:28:09	137	0,8
10	ALMOÇO	00:12:54	00:36:51	-	1,6
ALMOÇO	11	00:09:10	00:05:47	30	4,5
11	12	00:02:56	00:03:14	15	1,3
12	13	00:01:57	00:08:36	30	0,4
13	4	00:03:25	00:12:58	60	1,1
4	14	00:02:47	00:08:10	42	1,1
14	5	00:01:50	00:26:16	100	0,4
5	15	00:05:39	00:06:05	10	1,3
15	16	00:06:28	00:11:00	50	2
16	17	00:04:02	00:05:15	10	2,2
17	18	00:02:11	00:41:24	160	0,8
18	19	00:08:31	00:11:06	40	0
19	20	00:02:38	00:10:55	30,00	1,9
20	21	00:04:49	00:07:33	25	0,6
21	22	00:03:01	00:07:34	40	2
22	23	00:03:59	00:07:04	28	0,7
23	0	00:19:50	-	-	10,6
<b>TOTAL</b>		<b>02:54:54</b>	<b>05:27:34</b>	<b>1134</b>	<b>62,6</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A visita duplicada em alguns pontos contribuiu negativamente para a distância total percorrida de 62,6 km e com o tempo total da rota de 8 horas, 22 minutos e 28 segundos.

As rotas executadas de maneira empírica foram traçadas a partir dos conhecimentos e da experiência dos motoristas, que com uma rápida análise dos clientes do dia, definiram a ordem de entrega e os caminhos que deveriam ser percorridos.

Os dados relacionados às rotas dois e três estão presentes no Apêndice A.

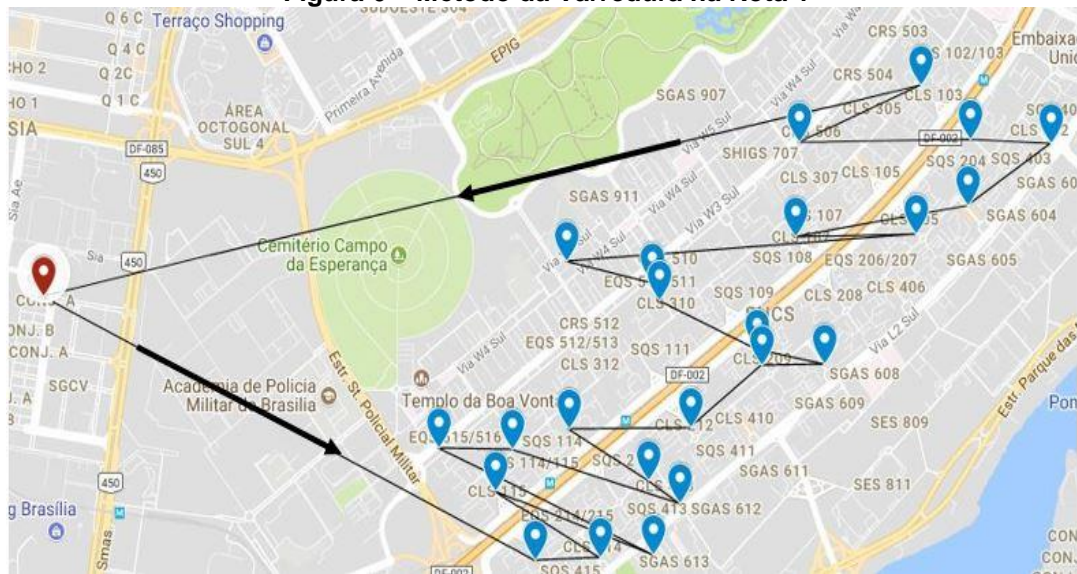
### 3.1.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO DA VARREDURA

O desenho construído com a aplicação do método da Varredura na Rota 1 pode ser visto na Figura 6 e os resultados na Tabela 3.

Este método foi aplicado a partir do giro do eixo, no sentido anti-horário, centrado no Centro de Distribuição, representado na Figura 6 como o ponto vermelho e mais distante do conjunto de pontos. Para não acontecer um cruzamento de rotas, o eixo começou a passar pelos pontos de entrega a partir do ponto mais baixo do conjunto de clientes.

Os dados referentes às rotas dois e três estão no Apêndice B.

**Figura 6 – Método da Varredura na Rota 1**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 3 – Dados Referentes à Aplicação do Método da Varredura na Rota 1**

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de trajeto	Tempo no ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	4	00:22:07	00:12:58	60	8
4	11	00:01:56	00:05:47	30	0,7
11	12	00:03:19	00:03:14	15	1,2
12	15	00:04:59	00:06:05	10	1,8
15	2	00:09:41	00:02:00	2	3,5
2	13	00:03:52	00:08:36	30	1,4
13	5	00:06:22	00:26:16	100	2,3
5	14	00:01:15	00:08:10	42	0,45
14	3	00:02:29	00:02:24	5	0,9
3	16	00:03:36	00:11:00	50	1,3
16	23	00:02:46	00:07:04	28	1
23	21	00:02:04	00:07:33	25	0,75

21	22	00:02:13	00:07:34	40	0,8
22	8	00:05:15	00:03:50	10	1,9
8	7	00:00:36	00:19:40	80	0,22
7	1	00:03:02	00:05:50	15	1,1
1	19	00:02:38	00:11:06	40	0,95
19	17	00:01:31	00:05:15	10	0,55
17	20	00:05:32	00:10:55	30	2
20	6	00:04:09	00:44:18	200	1,5
6	10	00:02:38	00:28:09	137	0,95
10	18	00:00:36	00:41:24	160	0,22
18	9	00:03:02	00:04:18	15	1,1
9	0	00:19:54	-	-	7,2
<b>TOTAL</b>		<b>01:55:33</b>	<b>04:43:26</b>	<b>1134</b>	<b>41,79</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>02:08:27</b>	<b>05:20:17</b>	<b>1134</b>	<b>43,39</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

O roteiro construído com a aplicação do método do Vizinho Mais Próximo na Rota 1 pode ser visto na Figura 7 e os resultados na Tabela 4.

Os dados referentes a rota dois está presente no apêndice C e a rota três no capítulo 3.1.4, no qual é aplicado o método de melhoria 2-opt.

Figura 7 – Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 1



Fonte: Elaborado pelo autor.



Tabela 4 – Dados Referentes à Aplicação do Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 1

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo no Ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	2	00:18:20	00:02:00	2	6,5
2	13	00:03:57	00:08:36	30	1,4
13	12	00:01:16	00:03:14	15	0,45
12	4	00:01:33	00:12:58	60	0,55
4	11	00:01:58	00:05:47	30	0,7
11	15	00:01:33	00:06:05	10	0,55
15	5	00:01:33	00:26:16	100	0,55
5	14	00:01:16	00:08:10	42	0,45
14	3	00:02:32	00:02:24	5	0,9
3	16	00:03:40	00:11:00	50	1,3
16	22	00:02:41	00:07:34	40	0,95
22	23	00:00:19	00:07:04	28	0,11
23	21	00:02:07	00:07:33	25	0,75
21	19	00:05:22	00:11:06	40	1,9
19	20	00:01:42	00:10:55	30	0,6
20	6	00:04:14	00:44:18	200	1,5
6	10	00:02:41	00:28:09	137	0,95
10	9	00:01:33	00:04:18	15	0,55
9	17	00:05:05	00:05:15	10	1,8
17	18	00:02:32	00:41:24	160	0,9
18	7	00:05:55	00:19:40	80	2,1
7	8	00:00:36	00:03:50	10	0,21
8	1	00:03:40	00:05:50	15	1,3
1	0	00:20:19	00:00:00	0	7,2
<b>TOTAL</b>		<b>01:36:23</b>	<b>04:43:26</b>	<b>1134</b>	<b>34,17</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>01:49:17</b>	<b>05:20:17</b>	<b>1134</b>	<b>35,77</b>

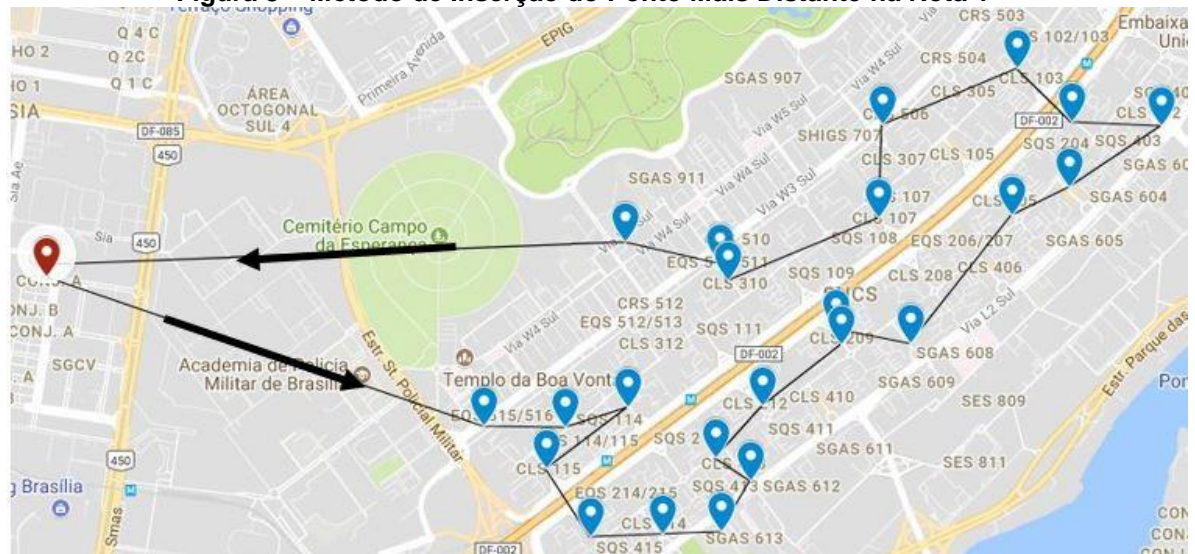
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE INSERÇÃO DO PONTO MAIS DISTANTE

O roteiro construído com a aplicação do método de Inserção do Ponto Mais Distante pode ser visto na Figura 8 e os resultados na Tabela 5.

Os dados referentes às rotas dois e três estão presentes no Apêndice D.

**Figura 8 – Método de Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 1**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 5 – Dados Referentes à Aplicação do Método de Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 1**

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo no Ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	2	00:19:30	00:02:00	2	6,5
2	13	00:04:12	00:08:36	30	1,4
13	3	00:01:48	00:02:24	5	0,6
3	12	00:03:00	00:03:14	15	1
12	4	00:01:39	00:12:58	60	0,55
4	11	00:02:06	00:05:47	30	0,7
11	15	00:01:39	00:06:05	10	0,55
15	5	00:01:39	00:26:16	100	0,55
5	14	00:01:21	00:08:10	42	0,45
14	16	00:04:12	00:11:00	50	1,4
16	23	00:03:00	00:07:04	28	1
23	22	00:00:20	00:07:34	40	0,11
22	21	00:02:24	00:07:33	25	0,8
21	19	00:05:42	00:11:06	40	1,9
19	20	00:01:48	00:10:55	30	0,6
20	6	00:04:30	00:44:18	200	1,5
6	10	00:02:51	00:28:09	137	0,95
10	9	00:01:39	00:04:18	15	0,55
9	18	00:06:00	00:41:24	160	2
18	17	00:04:12	00:05:15	10	1,4
17	8	00:05:06	00:03:50	10	1,7
8	7	00:00:40	00:19:40	80	0,22
7	1	00:03:18	00:05:50	15	1,1
1	0	00:21:36	00:00:00	0	7,2
<b>TOTAL</b>		<b>01:44:11</b>	<b>04:43:26</b>	<b>1134</b>	<b>34,73</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>01:57:05</b>	<b>05:20:17</b>	<b>1134</b>	<b>36,33</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MELHORIA 2-OPT

O método de melhoria precisou ser aplicado na rota encontrada com o método de Vizinheiro Mais Próximo na rota 3. Dois arcos se cruzaram, como pode ser visto na Figura 9, representando um mau roteiro de acordo com Ballou (2006).

**Figura 9 – Método do Vizinheiro Mais Próximo na Rota 3**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhorar os resultados encontrados na primeira tentativa, foi aplicada a metodologia 2-opt, na qual os arcos que estavam cruzados foram desconectados e reconectados de maneira diferente, fazendo com que o novo roteiro não tivesse nenhum arco cruzado.

A aplicação do método reduziu a distância percorrida em 0,75 quilômetros e causou uma queda no tempo de trajeto de um minuto e cinquenta e dois segundos (Tabela 6). O roteiro otimizado pode ser visto na Figura 10.

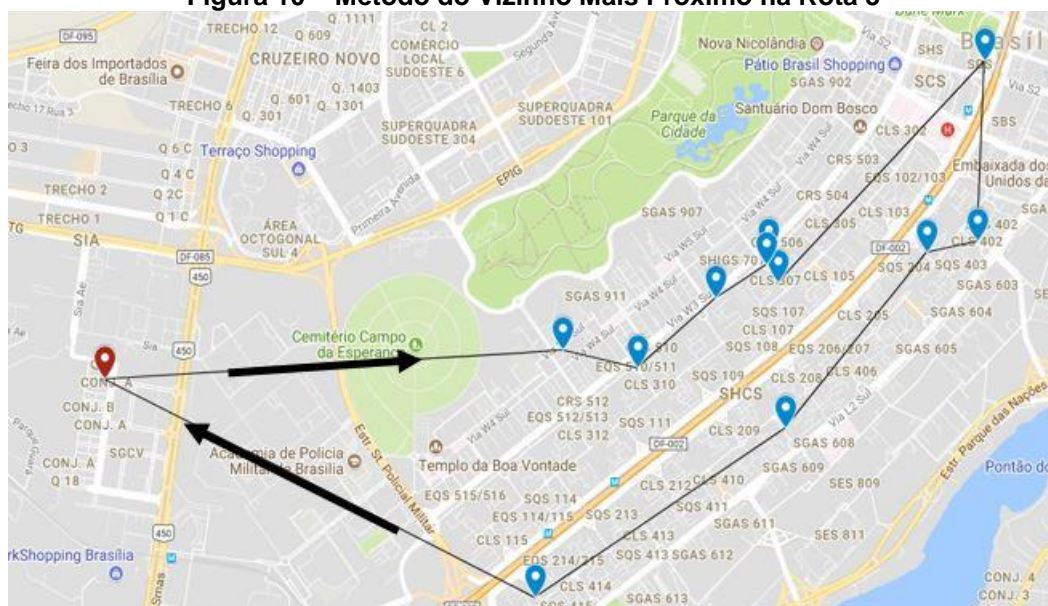
**Tabela 6 – Método do Vizinheiro Mais Próximo Na Rota 3 Com e Sem Melhoria**

Dados Sem o Método 2-opt				Dados Com o Método 2-opt			
Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Distância Percorrida (Km)	Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Distância Percorrida (Km)
0	11	00:16:41	6,7	0	11	00:16:41	6,70
11	5	00:03:14	1,3	11	5	00:03:14	1,30
5	8	00:02:29	1	5	8	00:02:29	1,00
8	7	00:01:22	0,55	8	7	00:01:22	0,55
7	4	00:00:19	0,13	7	4	00:00:19	0,13
4	6	00:02:00	0,8	4	6	00:02:00	0,80

6	3	00:04:29	1,8	6	1	00:07:28	3,00
3	2	00:02:00	0,8	1	2	00:05:29	2,20
2	1	00:06:29	2,6	2	3	00:01:52	0,75
1	9	00:12:12	4,9	3	9	00:08:28	3,40
9	10	00:07:43	3,1	9	10	00:07:43	3,10
10	0	00:18:56	7,6	10	0	00:18:56	7,60
<b>TOTAL</b>		<b>01:17:55</b>	<b>31,28</b>	<b>TOTAL</b>		<b>01:16:03</b>	<b>30,53</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 10 – Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 3**



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DOS MÉTODOS HEURÍSTICOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Na Tabela 7 pode-se verificar os resultados a respeito da distância percorrida obtidos com a aplicação dos métodos em cada rota.

**Tabela 7 – Distâncias Percorridas em Cada Rota**

Método	Distância (Km)		
	Rota 1	Rota 2	Rota 3
<b>Empírico</b>	62,6	64	54,1
<b>Varredura</b>	43,39	51,45	36,48
<b>Vizinho Mais Próximo</b>	35,77	49,4	30,53
<b>Inserção do Ponto Mais Distante</b>	36,33	47,7	29,71

Fonte: Elaborado pelo autor

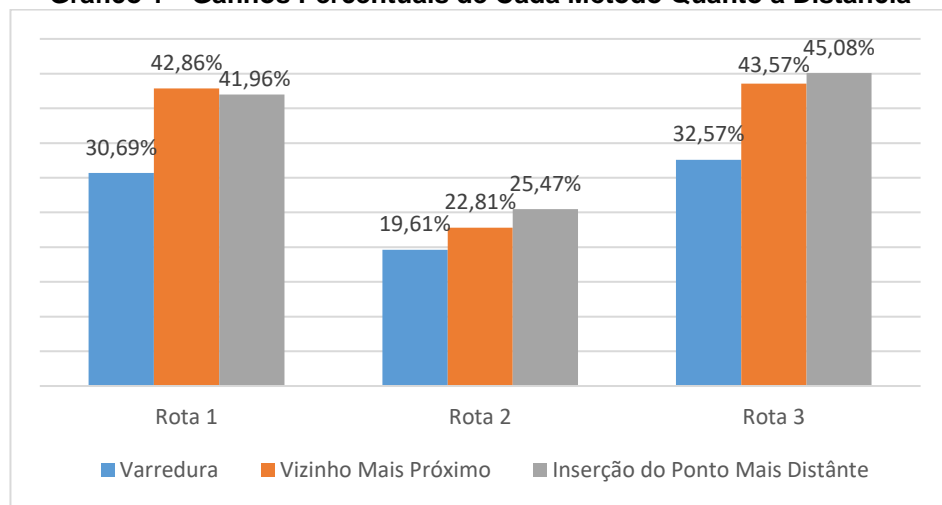
A partir da análise desta tabela é possível perceber que todos os métodos alcançaram resultados melhores do que as rotas executadas pela empresa de forma

empírica. Conforme pode ser visto no Gráfico 1, que representa os ganhos percentuais de cada método, dentre os métodos heurísticos aplicados, o método da Varredura apresentou o pior resultado em todos os casos, o método do Vizinho Mais Próximo teve o melhor resultado na Rota 1 e a Inserção do Ponto Mais Distante obteve os melhores resultados nas Rotas 2 e 3.

Os ganhos percentuais quanto as distâncias podem ser vistos no Gráfico 1 e esses foram calculado com o uso da fórmula a seguir.

$$1 - \left( \frac{\text{Resultado obtido com o método}}{\text{Resultado obtido de maneira empírica}} \right)$$

**Gráfico 1 – Ganhos Percentuais de Cada Método Quanto a Distância**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

A aplicação dos métodos também afetou o tempo total das rotas, mas como em todos os casos o tempo que o caminhão ficou parado em cada cliente não mudou, o tempo afetado diretamente foi apenas o tempo de trajeto.

Como pode ser visto na Tabela 8, todos os métodos resultaram em tempos de percurso menores do que os dados obtidos com a execução do método empírico. Essa melhora pode resultar em benefícios para a empresa, com clientes mais satisfeitos devido às entregas mais rápidas e maior disponibilidade de tempo dos funcionários para executarem outras atividades.

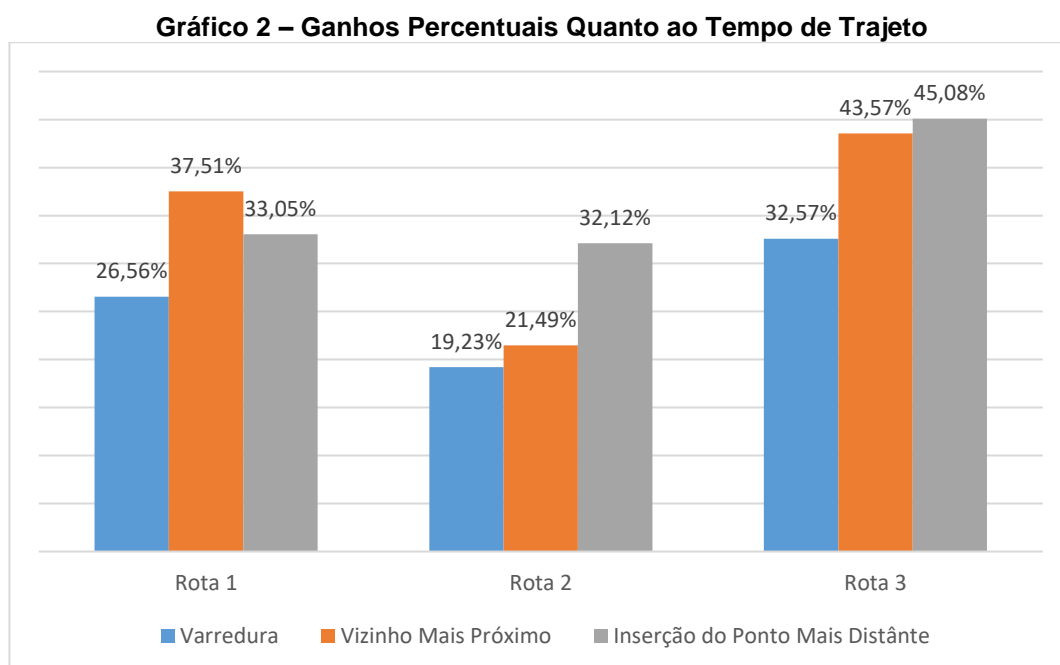
**Tabela 8 – Tempos de Trajeto**

Tempo			
Método	Rota 1	Rota 2	Rota 3
Empírico	02:54:54	02:44:46	02:14:45
Varredura	02:08:27	02:13:05	01:30:52
Vizinho Mais Próximo	01:49:17	02:09:21	01:16:03
Inserção do Ponto Mais Distante	01:57:05	01:51:51	01:14:00

**Fonte: Elaborado pelo autor**



Os ganhos percentuais com a aplicação de cada método, em cada caso, no tempo de trajeto podem ser vistos no Gráfico 2.



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Pode-se perceber que o método da Varredura permaneceu tendo os piores resultados, enquanto o método Vizinho Mais Próximo teve o melhor ganho na Rota 1 e a Inserção do Ponto Mais Distante obteve os melhores ganhos nas rotas 2 e 3. Os resultados mais expressivos foram adquiridos na Rota 3, onde chegaram a 45,08%.

Como mostrado na Tabela 9, quando calculada a média de ganho em tempo e em distância de cada método nas três rotas estudadas, o método da Inserção do Ponto Mais Distante foi o que apresentou melhores resultados, causando uma melhora de 37,51% na distância percorrida e de 36,75% no tempo de trajeto.

**Tabela 9 – Ganhos Percentuais Médios**

Método	Distância Percorrida	Tempo de Trajeto
<b>Varredura</b>	27,62%	26,12%
<b>Vizinho Mais Próximo</b>	36,41%	34,19%
<b>Inserção do Ponto Mais Distante</b>	37,51%	36,75%

**Fonte: Elaborado pelo autor**

#### 4. CONCLUSÃO

A aplicação dos métodos heurísticos nos dados reais das rotas da empresa permitiram concluir que os três métodos testados têm resultados mais vantajosos para a empresa do que os realizados atualmente, de maneira empírica, tanto a respeito da distância percorrida como quanto ao tempo necessário para entregar o produto aos clientes.

Dentre os métodos utilizados o que apresentou melhores resultados em relação a distância foi o método da Inserção do Ponto Mais Distante que apresentou um ganho médio na distância percorrida de 37,51%, o que representa um ganho 1,10% maior do que o apresentado pelo método do Vizinho Mais Próximo e 9,89% maior do que o método da Varredura.

Em relação ao tempo de trajeto a Inserção do Ponto Mais Distante obteve um ganho médio de 36,75%, um ganho 2,56% maior do que o do Vizinho Mais Próximo e 10,63% maior do que o método da Varredura. Por esse motivo é o método proposto para a empresa utilizar no seu processo de roteirização.

Este trabalho e seus resultados impactam positivamente a empresa estudada. Pode-se indicar, também, que qualquer outra companhia com perfil semelhante no Distrito Federal poderia obter bons resultados caso aplicasse métodos heurísticos para planejar as suas rotas, porque os resultados mostram que o uso destes métodos de roteirização resulta em otimizações significativas na entrega das mercadorias.

Em trabalhos futuros, podem ser utilizados métodos de roteirização mais complexos, como o de Clarke e Wright, comparando os resultados obtidos aos encontrados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística** Empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 1993.
- BENEVIDES, Paula Francis. **Aplicação De Heurísticas E Metaheurísticas Para O Problema Do Caixeiro Viajante Em Um Problema Real De Roteirização De Veículos**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Departamentos de Construção Civil e de Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <[http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26793/PaulaBenevides\\_DISSERT\\_ACAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26793/PaulaBenevides_DISSERT_ACAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 05 jun. 2017.
- BODIN, L.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. **Routing and Scheduling of Vehicles and Crews – the State of the Art**. Great Britain: Elsevier, 1983.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- CONCEIÇÃO, Samuel Vieira; CONCEIÇÃO NETO, Álvaro Simões; NASCIMENTO, Enrique Soares; DE ALMEIDA, Henrique Moraes; FIALHO, Luciano Barros; PEDROSA, Luis Henrique Capanema; DA SILVA; Marcellus Vinagre. **Impactos da utilização de roteirização de veículos em um centro de distribuição: um estudo de caso**. XXIV Encontro Nac. de Engenharia de Produção, Florianópolis/SC, p.989-996, 03-05 nov. 2004 Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0112\\_2107.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0112_2107.pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2017.
- CORDEAU, J. F., GENDREAU, M., LAPORTE, G., POTVIN, J. Y., & SEMET, F. (2002). **A guide to vehicle routing heuristics**. *Journal of the Operational Research society*, v. 53, n.5, p. 512-522, mai. 2002.
- CUNHA, Claudio Barbieri da. **Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais**. Revista Transportes ANPET, São Paulo, p.51 74, 10 nov. 2000.



- CUNHA, Claudio Barbieri da; DE OLIVEIRA BONASSER, Ulisses; ABRAHÃO, Fernando Teixeira Mendes. **Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante**. In: XVI Congresso da Anpet. 2002.
- DE MATOS JUNIOR, Carlos Alberto; NUNES, Rosângela Venâncio; DE ASSIS, Charles Washington Costa; FONSECA, Rita de Cássia; ADRIANO, Nayana de Almeida; DOS SANTOS, Greyciane Passos. **O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará**. Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2013.
- GIGERENZER, Gerd; GAISSMAIER, Wolfgang. **Heuristic decision making**. *Annual review of psychology*, v. 62, p. 451-482, 2011.
- GILLET, Billy E.; MILLER, Leland R. **A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem**. *Operations research*, v. 22, n. 2, p. 340-349, 1974.
- LAPORTE, G., GENDREAU, M., POTVIN, J. Y., & 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.
- LAPORTE, Gilbert. **The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms**. *European Journal of Operational Research*, v. 59, n. 2, p. 231-247, 1992b.
- LAPORTE, Gilbert. **The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms**. *European journal of operational research*, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1992a.
- MELO, André Cristiano da Silva; FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. **Sistemas de roteirização e programação de veículos**. *Pesquisa operacional*, v. 21, n. 2, p. 223-232, 2001.
- MORO, Matheus Fernando; BEM, Angela Regina; KANEZAWA, Rena Alex Corrêa; BUENO, Guilherme. **Otimização de Rotas: Um estudo de caso em uma empresa do Setor Atacadista**. *Revista ESPACIOS*, vol. 36, n. 07, 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n07/15360712.html>> Acesso em: 05 jun. 2017.
- NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2007.
- POLYA, George. **How to solve it: A new aspect of mathematical method**. Princeton university press, 1973.

REZENDE, Antônio Carlos da Silva. **Notícias > Movimentação**. 2011. Disponível em:<<http://www.imam.com.br/logistica/noticias/movimentacao/107-logistica-de-distribuicao-de-alimentos-pereciveis>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

SILVA, Fernanda dos Santos; CARDOSO, Brenda de Farias Oliveira; MOREIRA, Ludmylla da Silva. **Proposta de melhoria da rota de transporte de hortaliças: uma aplicação técnica do problema de caixeiro viajante**.XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa/PB, p. 1-12, 3-6 out. 2016. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_226\\_319\\_29422.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_319_29422.pdf)> Acesso em: 05 jun. 2017.

SOLOMON, Marius M. **Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints**. *Operations research*, v. 35, n. 2, p. 254-265, 1987.

SOUZA, Anderson Willian; BARZAN de Matos Amaral, Daniel; OI, Ricardo Kenji; CARNEIRO, João Batista; FONTEBASSO NETO, José **Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas**. *Exacta*, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2016.

**APÊNDICE A – ROTAS EXECUTADAS PELA EMPRESA E  
PLANEJADAS DE FORMA EMPÍRICA.**

**Rota 2 Executada pela Empresa e Planejada de Forma Empírica**

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo em Cada Ponto	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	1	00:14:55	00:10:30	30	5,3
1	2	00:07:50	00:07:55	20	0,9
2	3	00:16:41	00:06:19	20	5,8
3	4	00:02:18	00:06:37	35	0,9
4	5	00:11:49	00:50:21	17	3,8
5	6	00:10:12	00:10:43	40	4,3
6	7	00:02:03	00:10:43	30	0,7
7	8	00:03:12	00:10:12	50	2,4
8	ALMOÇO	00:05:45	00:30:20	0	2
ALMOÇO	9	00:15:30	00:03:30	0	4,8
9	10	00:05:03	00:03:45	15	1,4
10	11	00:10:39	00:08:13	25	4,2
11	12	00:07:47	00:31:31	110	2,8
12	13	00:05:12	00:07:35	30	0,5
13	14	00:10:35	00:09:05	40	5,3
14	9	00:07:00	00:23:10	80	3,3
9	5	00:09:01	00:19:14	110	5,9
5	0	00:19:14	00:24:17	0	9,7
<b>TOTAL</b>		<b>02:44:46</b>	<b>04:34:00</b>	<b>652</b>	<b>64</b>

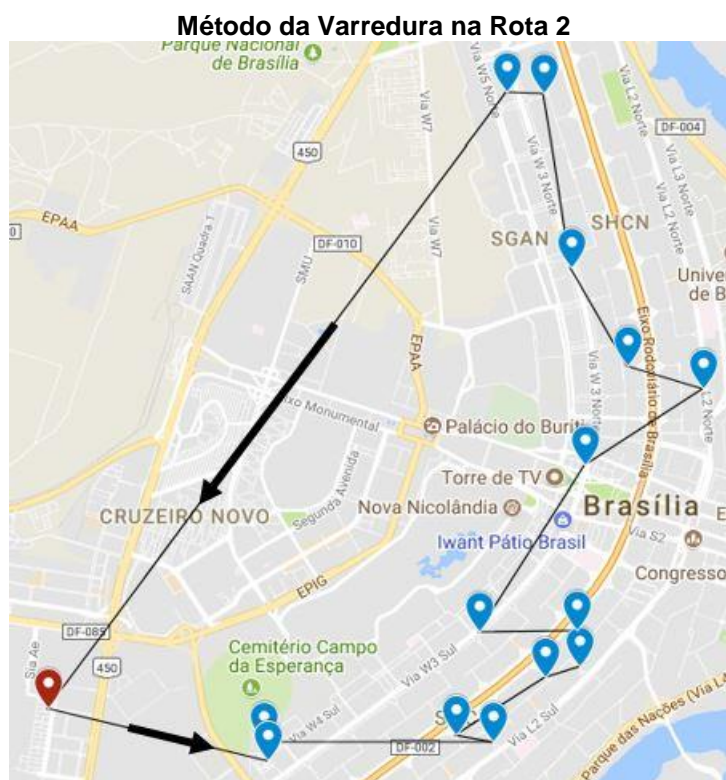
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**Rota 3 Executada pela Empresa e Planejada de Forma Empírica**

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo no Ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	1	00:19:38	00:54:41	125	14,2
1	2	00:09:16	00:07:14	25	2,5
2	3	00:05:09	00:06:16	25	1,8
3	4	00:07:22	00:21:29	15	1,9
4	5	00:11:25	00:19:05	100	2,7
5	ALMOÇO	-	00:48:58	-	0,0
ALMOÇO	6	00:07:11	00:06:51	40	3,3
6	7	00:22:14	00:17:07	70	1,1
7	8	00:08:59	00:11:59	50	1,5
8	9	00:12:56	00:24:13	65	2,7
9	10	00:07:15	00:10:05	60	1,1
10	11	00:09:23	00:18:06	19	11,7
11	0	00:13:57	-	-	9,6
<b>TOTAL</b>		<b>02:14:45</b>	<b>04:06:04</b>	<b>594</b>	<b>54,1</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

## APÊNDICE B - MÉTODO DA VARREDURA.



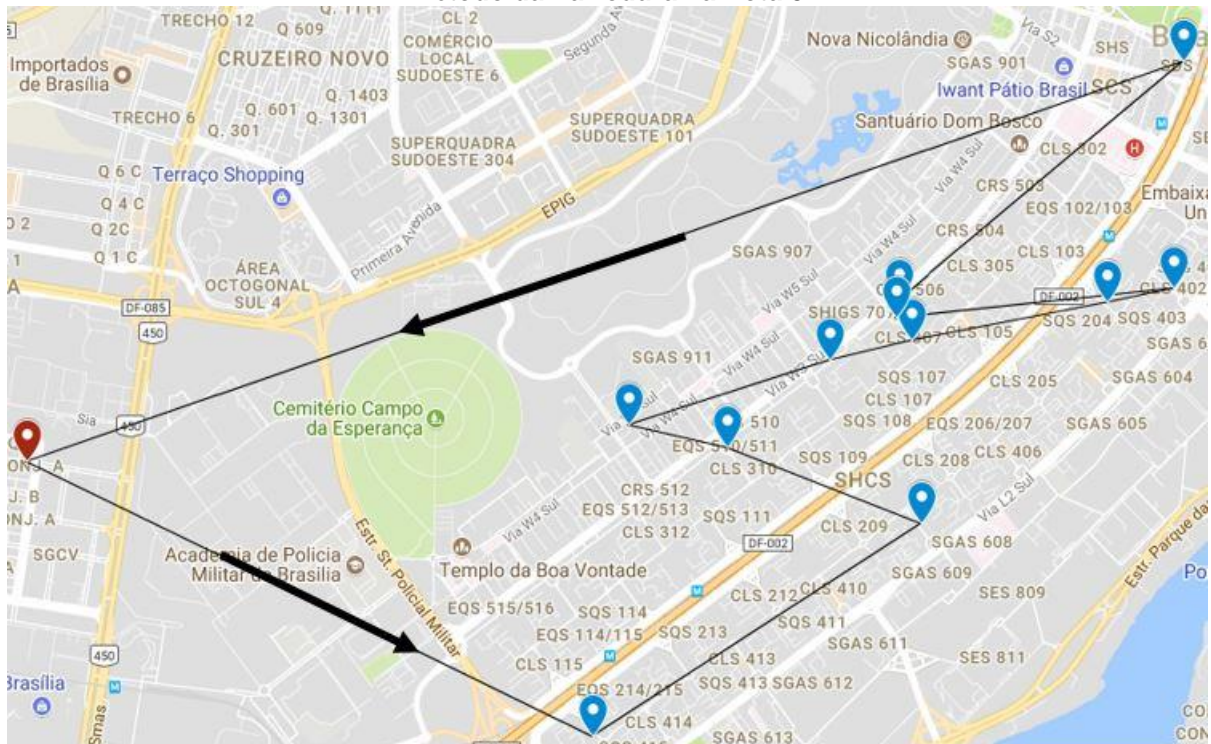
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dados Referentes à Aplicação do Método da Varredura na Rota 2

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo em cada ponto	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	1	00:15:12	00:10:30	30	5,9
1	2	00:03:52	00:07:55	20	1,5
2	6	00:11:04	00:10:43	40	4,3
6	7	00:01:56	00:10:43	30	0,75
7	3	00:04:23	00:06:19	20	1,7
3	4	00:01:48	00:06:37	35	0,7
4	8	00:04:07	00:10:12	50	1,6
8	5	00:05:24	00:50:21	127	2,1
5	14	00:09:32	00:09:05	40	3,7
14	9	00:08:14	00:23:10	80	3,2
9	10	00:03:36	00:03:45	15	1,4
10	11	00:05:40	00:08:13	25	2,2
11	12	00:08:45	00:31:31	110	3,4
12	13	00:05:09	00:07:35	30	2
13	0	00:38:38	00:00:00	0	15
<b>TOTAL</b>		<b>02:07:20</b>	<b>03:16:39</b>	<b>652</b>	<b>49,45</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>02:13:05</b>	<b>03:46:59</b>	<b>652</b>	<b>51,45</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Método da Varredura na Rota 3



Fonte: Elaborado pelo Autor.

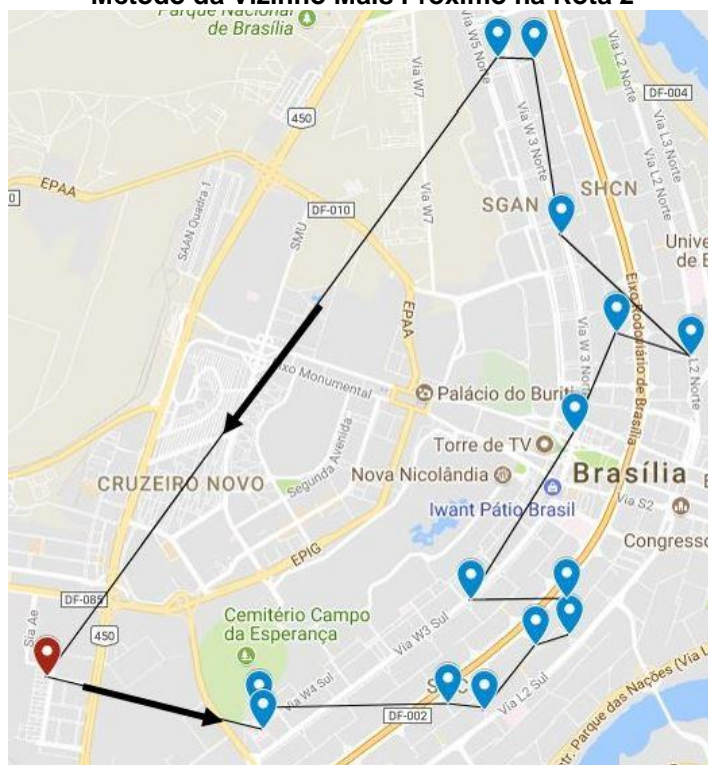
#### Dados Referentes à Aplicação do Método da Varredura na Rota 3

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo no Ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	10	00:18:56	00:10:05	60	7,6
10	9	00:07:58	00:24:13	65	3,2
9	5	00:04:59	00:19:05	100	2
5	11	00:02:44	00:18:06	19	1,1
11	8	00:05:29	00:11:59	50	2,2
8	6	00:01:52	00:06:51	40	0,75
6	3	00:04:29	00:06:16	25	1,8
3	2	00:02:00	00:07:14	25	0,8
2	7	00:06:44	00:17:07	70	2,7
7	4	00:00:19	00:21:29	15	0,13
4	1	00:06:29	00:54:41	125	2,6
1	0	00:28:54	-	-	11,6
<b>TOTAL</b>		<b>01:30:52</b>	<b>03:17:06</b>	<b>594</b>	<b>36,48</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>01:30:52</b>	<b>04:06:04</b>	<b>594</b>	<b>36,48</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## APÊNDICE C –MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

### Método da Vizinho Mais Próximo na Rota 2



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### Dados Referentes à Aplicação do Método do Vizinho Mais Próximo na Rota 2

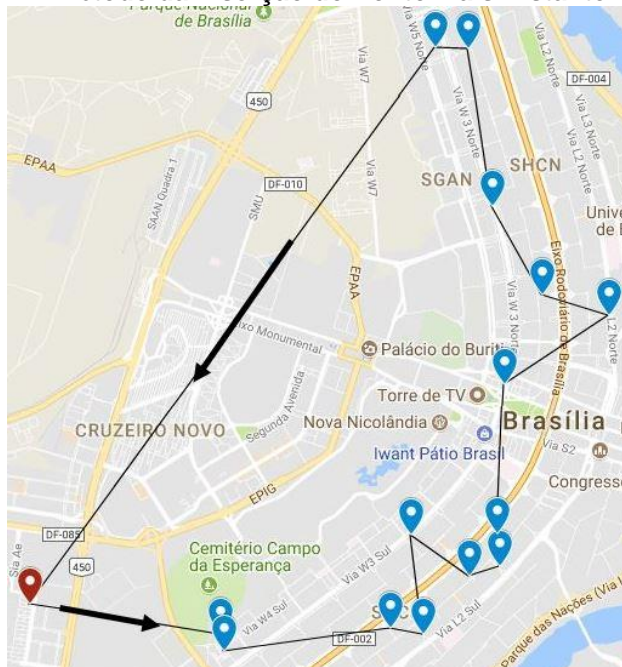
Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo em Cada Ponto	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	1	00:14:41	00:10:30	30	5,7
1	2	00:03:52	00:07:55	20	1,5
2	7	00:09:01	00:10:43	30	3,5
7	6	00:02:04	00:10:43	40	0,8
6	3	00:04:54	00:06:19	20	1,9
3	4	00:01:48	00:06:37	35	0,7
4	8	00:02:35	00:10:12	50	1
8	5	00:05:24	00:50:21	127	2,1
5	14	00:09:32	00:09:05	40	3,7
14	10	00:05:24	00:03:45	15	2,1
10	9	00:03:36	00:23:10	80	1,4
9	11	00:09:16	00:08:13	25	3,6
11	12	00:08:45	00:31:31	110	3,4
12	13	00:02:35	00:07:35	30	1
13	0	00:38:38	-	-	15
<b>TOTAL</b>		<b>02:02:04</b>	<b>03:16:39</b>	<b>652</b>	<b>47,4</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>02:07:49</b>	<b>03:46:59</b>	<b>652</b>	<b>49,4</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.



## APÊNDICE D - MÉTODO DA INSERÇÃO DO PONTO MAIS DISTANTE

Método da Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 2



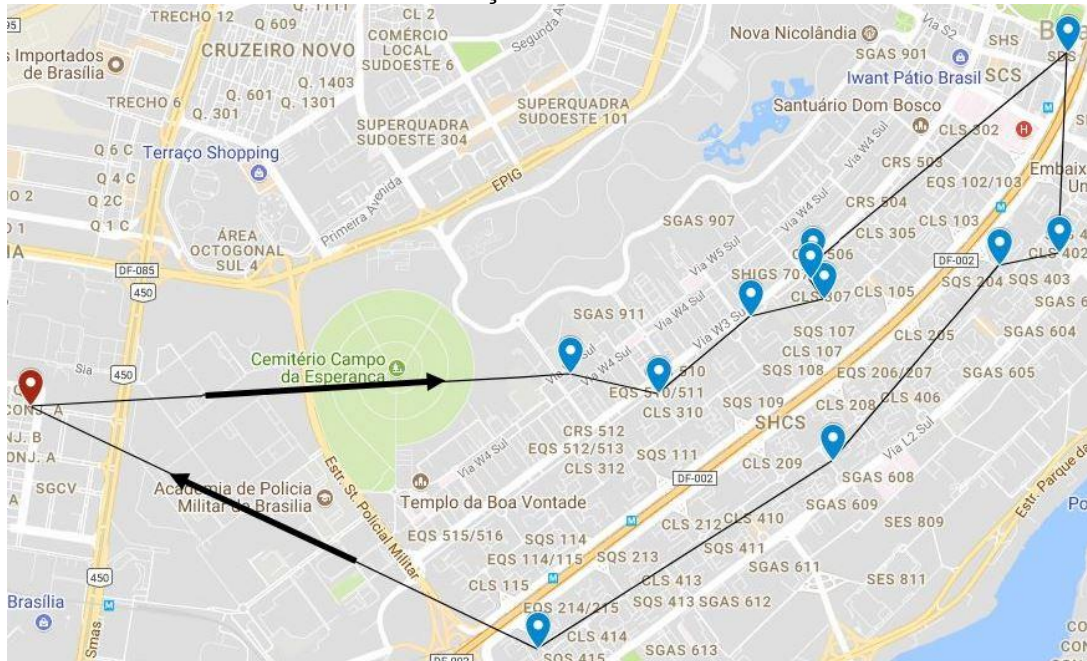
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dados Referentes à Aplicação do Método da Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 2.

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo em cada ponto	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	2	00:15:58	00:07:55	20	6,2
2	1	00:02:35	00:10:30	30	1
1	7	00:08:45	00:10:43	30	3,4
7	6	00:02:04	00:10:43	40	0,8
6	5	00:07:13	00:50:21	127	2,8
5	3	00:05:09	00:06:19	20	2
3	4	00:01:48	00:06:37	35	0,7
4	8	00:02:35	00:10:12	50	1
8	14	00:04:07	00:09:05	40	1,6
14	9	00:14:56	00:23:10	80	3,2
9	10	00:03:36	00:03:45	15	1,4
10	11	00:06:26	00:08:13	25	2,2
11	12	00:08:45	00:31:31	110	3,4
12	13	00:02:35	00:07:35	30	1
13	0	00:38:38	00:00:00	0	15
<b>TOTAL</b>		<b>02:05:09</b>	<b>03:16:39</b>	<b>652</b>	<b>45,7</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>02:10:54</b>	<b>03:46:59</b>	<b>652</b>	<b>47,7</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### Método da Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 3.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### Dados Referentes à Aplicação do Método da Inserção do Ponto Mais Distante na Rota 3.

Ponto Inicial	Ponto Final	Tempo de Trajeto	Tempo no Ponto Final	Demanda (Sacos de Gelo)	Distância Percorrida (Km)
0	11	00:16:41	00:18:06	19	6,7
11	5	00:03:14	00:19:05	100	1,3
5	8	00:02:29	00:11:59	50	1
8	6	00:01:52	00:06:51	40	0,75
6	7	00:00:27	00:17:07	70	0,18
7	4	00:00:19	00:21:29	15	0,13
4	1	00:06:29	00:54:41	125	2,6
1	2	00:05:29	00:07:14	25	2,2
2	3	00:01:52	00:06:16	25	0,75
3	9	00:08:28	00:24:13	65	3,4
9	10	00:07:43	00:10:05	60	3,1
10	0	00:18:56	-	-	7,6
<b>TOTAL</b>		<b>01:14:00</b>	<b>03:17:06</b>	<b>594</b>	<b>29,71</b>
<b>TOTAL + Almoço (Real)</b>		<b>01:14:00</b>	<b>04:06:04</b>	<b>594</b>	<b>29,71</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.