



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL DO SEMIARIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**JESSIKA TAINÁ SELBA DA SILVA**

**ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE  
LATICÍNIOS SITUADA NO RIO GRANDE DO NORTE.**

**SUMÉ - PB  
2018**

**JESSIKA TAINÁ SELBA DA SILVA**

**ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE  
LATICÍNIOS SITUADA NO RIO GRANDE DO NORTE.**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.**

**Orientadora: Prof. Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.**

**SUMÉ – PB  
2018**

S586r Silva, Jessika Tainá Selba da.  
Roteirização de veículos: estudo de caso em uma indústria de laticínios situada no Rio Grande do Norte . / Jessika Tainá Selba da Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

65 f.

Orientadora: Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo..

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Roteirização de veículos. 2. Logística de transportes. 3. Heurística. 4. Método de varredura. 5. Indústria de laticínios. I. Título.

CDU: 658.788(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

JESSIKA TAINÁ SELBA DA SILVA

**ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA  
DE LATICÍNIOS SITUADA NO RIO GRANDE DO NORTE.**

**Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao Curso de Superior de  
Engenharia de Produção a Unidade  
Acadêmica de Engenharia de Produção do  
Centro de Desenvolvimento Sustentável do  
Semiárido da Universidade Federal de  
Campina Grande.**

**BANCA EXAMINADORA**



**Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo**  
Orientador – UAEP/CDSA/UFCG



**Professora Dra. Vanessa Batista Schramm**  
Examinador 01 – UAEP/CDSA/UFCG



**Professor Me. Daniel Oliveira de Farias**  
Examinador 02 – UAEP/CDSA/UFCG

Aprovação em 11 de Dezembro de 2018.

*Dedico este trabalho a Deus e a minha  
família, que sempre me incentivou a lutar  
pelos meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que me sustentou todos esses anos, me dando forças para seguir firme nessa longa jornada.

A minha mãe Fabiana Selba e ao meu padrasto Francisco Casemiro, que sempre acreditaram em mim e tornaram possível a realização do meu sonho, e as minhas irmãs Livia e Letícia que sempre me deram muito amor e são minhas melhores amigas.

Aos meus avós, Maria Auxiliadora e Francisco de Oliveira que me educaram, e sempre acreditaram na minha capacidade.

Aos meus grandes e queridos amigos, que sempre me motivaram, me apoiaram, que cuidaram de mim como a grande família que somos, sou grata por tudo e por todos, entre eles: Luísa Freitas, Williane Oliveira, Felipe Jessé, Ingrid Braz, Natan Magalhães e Pedro Barros.

Aos que eu conheci fora da Universidade, mas que sempre estiveram comigo e me proporcionaram grandes e inesquecíveis momentos, Isabela Batista, Gilvando Henrique, Paulo Sérgio, Gabriel Philipe, Khyson Cunha e Carlos Magno.

A minha grande parceira Larissa Fernanda, que não só dividimos o apartamento, mas dividimos as alegrias e tristezas durante os cinco anos de graduação, e que apesar das dificuldades sempre esteve do meu lado e se tornou uma grande amiga.

A todo o corpo docente do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Campina Grande – Campus CDSA, pelo conhecimento que adquiri durante esses cinco anos. Em especial a minha excepcional orientadora Creuza Borges, que sempre teve muita paciência comigo, e me ajudou bastante na construção desse trabalho. Muito obrigada por toda assistência e palavras de incentivo.

*“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”*

*Friedrich Nietzsche.*

## RESUMO

A diminuição dos custos logísticos, bem como a melhoria do nível de serviço, são fatores importantes para a manutenção das empresas no mercado, visto que apresentam influência significativa na competitividade e nos resultados econômicos e financeiros da organização. Os problemas de transporte representam grande impacto nos custos logísticos da organização e apresentam papel fundamental no serviço ofertado ao cliente. O presente trabalho propõe a utilização de uma heurística para solucionar um problema real de roteirização de veículos com frota homogênea, demanda conhecida e com restrição de capacidade do veículo e jornada de trabalho dos motoristas. A estratégia adotada consiste na aplicação do método de Varredura para definir e propor novas rotas para o processo de distribuição de uma indústria de laticínios situada na cidade de Angicos, Rio Grande do Norte, de modo a atender as necessidades dos clientes, respeitando todas as restrições presentes no problema. O método mostrou-se eficaz no que tange a redução de trajetos, utilização máxima da capacidade do veículo e otimização do tempo disponível para entregas, influenciando na redução de 27,91% dos custos operacionais logísticos.

**Palavras-Chave:** Roteirização. Heurística. Método de Varredura.



## ABSTRACT

The reduction of logistical costs as well as the improvement of the service level are important factors for the maintenance of the companies in the market, since they have a significant influence on the competitiveness and economic and financial results of the organization. Transport problems represent a major impact on the logistics costs of the organization and play a fundamental role in the service offered to the customer. The present work proposes the use of a heuristic to solve a real problem of routing of vehicles with homogeneous fleet, known demand and with capacity restriction of the vehicle and working day of the drivers. The strategy adopted is the application of the Scanning method to define and propose new routes for the distribution process of a dairy industry located in the city of Angicos, Rio Grande do Norte, in order to meet the needs of customers, respecting all restrictions present in the problem. The method proved to be effective in terms of reduction of routes, maximum utilization of vehicle capacity and optimization of the time available for deliveries, influencing the reduction of 27.91% of logistics operating costs.

**Keywords:** Routing. Heuristics. Scan Method

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Representação de uma distribuição física .....	20
<b>Figura 2-</b> Problema do Caixeiro Viajante.....	24
<b>Figura 3 -</b> Aplicação da heurística de varredura.....	28
<b>Figura 4-</b> Estrutura Metodológica .....	33
<b>Figura 5-</b> Etapas da Pesquisa.....	35
<b>Figura 6 -</b> Visão geral dos pontos demandados .....	46
<b>Figura 7 -</b> Processo de roteirização da rota 01.....	47
<b>Figura 8 -</b> Processo de roteirização da rota 02.....	48
<b>Figura 9 -</b> Aproximação da Rota 02 .....	48
<b>Figura 10 -</b> Processo de roteirização da rota 03.....	49
<b>Figura 11-</b> Aproximação da Rota 03 .....	50
<b>Figura 12 -</b> Processo de roteirização da rota 04.....	51
<b>Figura 13 -</b> Processo de roteirização da rota 05.....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Rota atual realizada na segunda-feira .....	38
<b>Tabela 2-</b> Rota atual realizada na terça-feira .....	39
<b>Tabela 3-</b> Rota atual realizada na quarta-feira .....	39
<b>Tabela 4 -</b> Rota atual realizada na quinta-feira .....	40
<b>Tabela 5 -</b> Rota atual realizada na sexta-feira .....	41
<b>Tabela 6 -</b> Rota atual realizada no sábado .....	42
<b>Tabela 7-</b> Otimização da Rota 01 .....	53
<b>Tabela 8-</b> Otimização da Rota 02 .....	54
<b>Tabela 9 -</b> Otimização da Rota 03 .....	54
<b>Tabela 10 -</b> Otimização da Rota 04 .....	55
<b>Tabela 11 -</b> Otimização da Rota 05 .....	55
<b>Tabela 12-</b> Comparativo utilizando as distâncias .....	56
<b>Tabela 13-</b> Comparativo da utilização da capacidade do veículo .....	58

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Classificação dos custos logísticos quanto à finalidade da informação .....	21
<b>Quadro 2</b> - Características do problema .....	43
<b>Quadro 3</b> - Volume semanal e Tempo de descarregamento .....	45
<b>Quadro 4</b> - Tempo e volume da rota 01.....	47
<b>Quadro 5</b> - Tempo e volume da rota 02.....	49
<b>Quadro 6</b> - Tempo e volume da rota 03.....	50
<b>Quadro 7</b> - Tempo e volume da rota 04.....	51
<b>Quadro 8</b> - Tempo e volume da rota 05.....	52

## **LISTA DE SIGLAS**

**NP – Difícil:** Tempo polinomial não determinística – Difícil

**VMP** - Vizinho Mais Próximo

**PCV** -Problema do Caixeiro Viajante

**PRPV** - Problemas de Roteirização Periódica de Veículos

**RPV** - Roteirização e Programação de Veículos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	16
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO E PESQUISA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1 LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO.....	19
<b>2.1.1 Principais custos logísticos</b> .....	20
2.2 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS.....	22
<b>2.2.1 Métodos clássicos para a roteirização de veículos</b> .....	23
2.2.2.1 Problema do Caixeiro Viajante.....	24
<b>2.2.3 Métodos Heurísticos</b> .....	27
2.2.3.2 Método de Clarke e Wright .....	29
2.2.3.3 Heurística do Vizinho Mais Próximo .....	30
<b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	33
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	33
3.2 ETAPAS DA PESQUISA .....	35
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	37
4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA .....	37
4.2 PLANO ATUAL DE ROTAS .....	37
4.3 ESTRUTURAÇÃO DO NOVO PLANO DE ROTAS .....	42
4.4 ELABORAÇÃO DO NOVO PLANO DE ROTAS .....	43
4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE VARREDURA .....	46
<b>4.5.1 Melhoria das Rotas</b> .....	53
4.6 DISCUSSÃO.....	56
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	60
5.1 TRABALHOS FUTUROS .....	61
<b>REFERENCIAS</b> .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário atual de competitividade entre as organizações, surge a necessidade de redução de custos. Segundo Faria (2010), os custos logísticos simbolizam, geralmente, de 5 a 35% do faturamento das empresas, representando um dos maiores componentes de custo das mesmas. O autor ainda acrescenta que a logística agrega valor, refletindo no aumento da competitividade, visto que possibilita o aumento do nível de serviço, impulsionando as empresas a direcionarem seus esforços para otimização das atividades logísticas. Neste sentido, Bowersox e Closs (2001) afirmam que a logística de uma empresa se constitui de um esforço para criar valor para o cliente, através do menor custo total possível.

Para Freitas (2003) a logística é a chave para a prosperidade da organização, já que o mercado está cada vez mais exigente e requer eficiência na gestão dos fluxos de produtos, tornando-a uma área estratégica e permitindo que a organização ultrapasse os limites locais, ampliando suas relações com mercados internacionais. Desta forma, esta área pode auxiliar para que toda a cadeia produtiva possa fluir de forma positiva, beneficiando a empresa prestadora do serviço e garantindo a satisfação dos clientes. Dentre as áreas da logística está o transporte, que, segundo Bowersox e Closs (2007), é uma área operacional que tem recebido uma maior atenção gerencial em virtude da sua importância e da facilidade de se obter resultados na apuração dos custos.

O transporte é um componente que atua no processo de distribuição e como foi visto anteriormente, tem grande influência nos custos logísticos da organização. Dentre as questões que envolvem o transporte e a distribuição, existe também o problema de roteirização.

Através da roteirização é possível otimizar os veículos, planejar as rotas de entregas e vendas, aumentar a eficiência operacional, reduzir o índice de devolução, dispersão de quilometragem, consumo de combustível, gastos com manutenção e pneus, e melhorar a qualidade das informações gerenciais, assim, reduzindo os custos logísticos e melhorando o nível de serviço prestado aos clientes internos e externos (MATOS JUNIOR; NUNES; ASSIS, 2013). Desse modo, a opção por um modelo de roteirização adequado às necessidades da organização permite uma melhoria na eficiência e na utilização máxima de equipamentos, agregando valor à gestão da cadeia (LEAL JR, PEIXOTO; BARBOSA, 2012).

Um dos assuntos delicados quando se trata do transporte de produtos é o transporte de produtos perecíveis, visto que a qualidade do produto final pode interferir diretamente na saúde dos consumidores. Peres (2011) afirma que a logística é imprescindível no que diz respeito aos segmentos industriais, entre eles o lácteo, que está sempre em constante evolução

e a tecnológica necessária para o manuseio de tais produtos tornaram a logística essencial nesse ramo.

Nesse contexto, o presente trabalho visa criar um plano de roteirização eficiente, para redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do setor de laticínios situada na cidade de Angicos/RN. Diante do cenário, podem ser elaborados os seguintes problemas de pesquisa:

Tendo em vista os pontos de entrega e as restrições para entrega dos produtos, qual seria o plano de rotas apropriado?

Que resultados podem ser obtidos através da redução de quilômetros percorridos pelo veículo transportador e da utilização máxima da capacidade do veículo?

## 1.1 OBJETIVOS

A fim de solucionar o problema em questão, foram definidos os seguintes objetivos:

### 1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um modelo de roteirização eficiente em uma indústria de laticínios no Estado do Rio Grande do Norte.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os parâmetros necessários para resolução do problema;
- Levantar as informações sobre o atual plano de rotas da empresa;
- Analisar as restrições do problema em questão;
- Definir um método adequado ao contexto da organização;
- Aplicar o método de roteirização na empresa;
- Mostrar a eficiência da utilização da capacidade do veículo na rota proposta em relação à rota atual;
- Calcular a economia monetária da rota proposta em comparação à atual.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho abordará um estudo de roteirização em uma indústria de laticínios. A escolha do tema deve-se ao importante uso integrado da logística como vantagem competitiva para diferenciar-se dos seus concorrentes, no sentido de proporcionar



melhoria no nível de serviço e redução de custos, agregando valor tanto ao cliente, quanto a empresa.

Segundo Porter (1991) as atividades logísticas tornaram-se objeto de estudo para as organizações por representarem uma nova alternativa para melhoria da qualidade e redução dos custos, que são elementos base das estratégias competitivas no mercado. Entre as principais atividades da logística está a roteirização, que, conforme Júnior et al. (2013), ao ser empregada de forma adequada na empresa, poderá aproveitar melhor a capacidade dos seus veículos e aumentar a quantidade dos produtos nas entregas, determinar a quantidade de entregas de acordo com a capacidade da rota, além da redução de gastos com horas extras, combustível, manutenção, entre outros.

Martins (2014) afirma que os alimentos perecíveis necessitam de uma série de cuidados para não comprometer a qualidade do produto final, para isso eles precisam ser adequadamente embalados, conservados, transportados e consumidos dentro do prazo de validade. Para tanto, é indispensável o uso eficiente da logística de transporte, para não comprometer a qualidade final, causando a insatisfação do consumidor.

Nesse contexto, implementar um método de roteirização na empresa possibilitará melhorias significativas para a comunidade envolvida, visto que esta organização tem grande influência para a economia local, bem como aumento da satisfação dos clientes, pois a empresa cumprirá os prazos de entrega no menor tempo possível. No que tange a indústria, o principal benefício será a redução dos custos de transporte com trajetos excessivos.

O trabalho também servirá como base de estudo para desenvolvimento de novas alternativas relacionadas ao problema de roteirização de veículos, além de demonstrar a importância desse tema não somente no aspecto logístico, mas também na redução de custos.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo 1 do estudo, a justificativa da escolha do tema e apresenta os objetivos do trabalho. No capítulo 2, a pesquisa é caracterizada quanto a sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos e, em seguida, são abordadas as etapas utilizadas para desenvolvimento do presente estudo.

O capítulo 3 exhibe uma síntese de termos considerados relevantes para a compreensão do estudo, dando enfoque aos problemas de roteirização, aos métodos mais usuais para solução dos problemas de roteirização, e a importância do uso da logística como vantagem competitiva para as organizações.

No capítulo 4 é exibido o estudo de caso da indústria de Laticínios, onde são abordados o perfil da organização, a forma de distribuição dos produtos, e o tratamento dos dados do problema, para desenvolvimento das possíveis soluções.

No capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho, onde são exibidas algumas considerações sobre a aplicação do método no problema específico, as vantagens do uso adequado da logística de transportese os resultados sobre o plano de açãoproposto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Esta seção irá apresentar o levantamento bibliográfico da literatura para o embasamento teórico da pesquisa. Serão abordadas as seguintes temáticas: Logística de Distribuição, Principais Custos Logísticos, Roteirização de Veículos, Métodos Clássicos e pesquisas recentes sobre a Roteirização de Veículos.

### 2.1 LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO

A Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor (CSCMP, 2007).

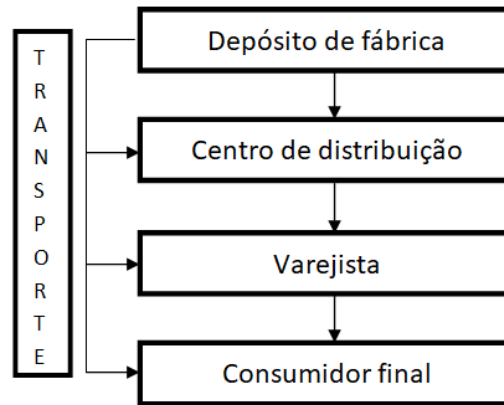
Para Ballou (2006), a logística/cadeia de suprimentos é um conjunto de atividades funcionais (transportes, controle de estoques, entre outros) que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor para o consumidor. Por sua vez, Slack *et al.* (1997) apontam a logística como uma extensão da gestão de distribuição física e normalmente refere-se à gestão do fluxo de materiais e informações de uma determinada empresa, até a chegada ao consumidor final, através de um canal de distribuição.

Neste sentido, a logística trata da criação de valor para os clientes e fornecedores da organização, assim como para todos aqueles que têm nela interesses diretos. O seu valor é manifestado primariamente em termos de tempo e lugar. Produtos e serviços não têm valor a menos que estejam em poder dos clientes quando (tempo) e onde (lugar) eles pretenderem consumi-los (BALLOU, 2006). O autor afirma ainda que a administração logística interpreta cada atividade na cadeia de suprimentos como contribuinte do processo de agregação de valor. Já para Christopher (2003), o valor para o cliente é criado quando as concepções dos benefícios recebidos em uma transação superam os custos totais reais do produto.

Uma questão essencial para o estudo da logística é a distribuição física, que, conforme Bowersox e Closs (2007) trata-se da movimentação do produto acabado até a entrega ao consumidor final. Segundo Novaes (2007), esta tem como objetivo levar os produtos certos, para os lugares certos, no momento certo e com o nível de serviço desejado, pelo menor custo possível. Para Bowersox e Closs (2001), a distribuição física relaciona-se com a área de marketing, visando o cliente como destino final. Novaes (2007) acrescenta que além da distribuição física compreender a saída do produto da fábrica até o consumidor

final, algumas vezes o produto também pode ser despachado da fábrica para o depósito de um atacadista, sendo comum também os casos em que a fábrica abastece diretamente as lojas de varejo. A figura 1 representa uma distribuição física:

**Figura 1-** Representação de uma distribuição física



Fonte: Adaptado de Novaes (2007)

Segundo Melo (2001) a maioria das organizações que participam frequentemente das operações de transporte tem uma redução entre 10% a 15% dos custos utilizando análises de transporte, tática e estratégia. Portanto, à medida que os clientes se tornam mais exigentes, a análise de transportes torna-se cada vez mais necessária nas decisões referentes à roteirização, programação e consolidação. Dessa forma, conhecer e gerenciar os principais custos de transporte é fundamental para aumentar a produtividade da organização.

### 2.1.1 Principais custos logísticos

Faria e Costa (2005) apontam que, diante do cenário de extrema competição entre as organizações, em grande parte dos segmentos da economia, a gestão dos custos logísticos tem como principal objetivo estabelecer políticas que possibilitem às empresas, simultaneamente, uma diminuição nos custos e melhoria do nível de serviço oferecido ao cliente. Para tanto, é imprescindível conhecer quais os custos inerentes a todo o processo logístico. Conforme Masiero (2008), o custo logístico remonta a um diferencial competitivo tanto para as organizações prestadoras de serviços de transporte, quanto para as empresas que utilizam desse serviço para manter-se bem posicionadas no mercado. O quadro 1 a seguir mostra a classificação dos custos com relação a finalidade da informação:

**Quadro 1-** Classificação dos custos logísticos quanto à finalidade da informação

<b>Finalidade da Informação</b>	<b>Classificação dos custos logísticos</b>
Quanto ao relacionamento com o objeto	Diretos e Indiretos
Quanto ao comportamento diante do volume de atividades	Variáveis e Fixos
Quanto ao relacionamento com o processo de gestão	Controláveis e Não Controláveis;
	Custos de Oportunidade;
	Custos Relevantes;
	Custos Irrecuperáveis;
	Custos Incrementais ou Diferenciais;
	Custos Ocultos ( <i>HiddenCosts</i> );
	Custo-Padrão;
	Custo-Meta;
	Custo <i>Kaizen</i> ; e
Custo do Ciclo de Vida	

Fonte: Adaptado Faria e Costa (2005)

Ballou (2006) afirma que geralmente o transporte representa entre um e dois terços do custo logístico, daí a importância de aumentar a eficiência através da utilização máxima dos equipamentos, pessoas e transporte. O tempo que a mercadoria demora a ser entregue ao consumidor final reflete tanto na quantidade de fretes feitos por veículo, quanto nos custos de transporte que são incorridos no produto final.

Estes custos podem ser classificados como custos fixos e variáveis. Bowersox e Closs (2001) classificam como custos fixos aqueles que independem da quantidade de carga movimentada. Estão relacionados aos custos de terminais, direitos de acesso, sistema de informação e depreciação do veículo. Os autores classificam custos variáveis como aqueles que envolvem os custos da transportadora ao transporte de cada carga, referenciadas como custo por quilômetro ou por unidade de peso. Normalmente os custos dessa categoria são os custos com combustível e manutenção do veículo.

Os custos fixos são os de aquisição e manutenção de direito de tráfego, instalações de terminais, equipamento de transporte e administrativos, enquanto os custos variáveis incluem normalmente os gastos com combustível e salários, equipamentos de manutenção, manuseio e coleta e entrega (BALLOU, 2006).

Um dos fatores que influenciam nos custos de transporte é a quantidade de quilômetros percorridos pelos veículos, que podem ser podendo obter melhorias significativas através da roteirização adequada.

## 2.2 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Os problemas de roteirização de veículos (VehicleRoutingProblems - VRPs), que são de natureza combinatória, pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede. Nessa categoria encontram-se problemas clássicos, como problema de fluxo máximo, problema do caminho mínimo, problema de transporte e problema de designação (GOLDEN; BALL; BODIN, 1981).

Para Wu (2007), a roteirização consiste em encontrar um conjunto de rotas de menor custo, que atenda às necessidades dos pontos de entrega, bem como depósitos, entre outros, que deve obedecer a restrições operacionais, tais como capacidade dos veículos, duração das rotas, janelas de tempo, duração da jornada de trabalho, entre outros. Novaes (2007) define o problema de roteirização em três dimensões fundamentais:

- Decisões: as decisões referem-se a como deve ser feita a alocação dos clientes a serem visitados, a frota juntamente com seus respectivos motoristas, envolvendo também a programação e a sequência de clientes a serem visitados.
- Objetivos: os objetivos visam proporcionar um serviço de alto nível aos clientes, mantendo os custos operacionais e de capital o mais baixo possível.
- Restrições: em primeiro lugar, as rotas devem ser cumpridas, respeitando o recurso disponível e assumindo o compromisso feito com os clientes. Em segundo lugar, deve-se respeitar os limites de tempo de acordo com a jornada normal de trabalho dos motorista e ajudantes. E por fim, as restrições de trânsito devem ser respeitadas, no que tange às velocidades máximas, horários de carga e descarga, tamanho máximo de veículo nas vias públicas etc.

Ballou (2006) complementa que a roteirização e programação de veículos (RPV) é uma extensão do problema básico de roteirização, o Problema do Caixeiro Viajante, e agora são incluídas restrições mais racionais, entre elas:

- Cada escala pode ter tanto coleta quanto entrega de volumes;
- Múltiplos veículos com capacidade limitada tanto de peso quanto de volume podem ser usados;
- Há um tempo máximo de tráfego em cada rota antes de um período mínimo de repouso de dez horas (restrição de segurança do Departamento de Transporte dos EUA);

- As escalas permitem coleta e entrega apenas em determinados períodos do dia que são as chamadas janelas de tempo;
- As coletas são permitidas num roteiro apenas depois da efetivação das entregas;
- O motorista tem direito a breves intervalos de descanso ou refeição em determinados períodos do dia.

Por fim Cunha (2000) sintetiza que a roteirização é o processo utilizado para determinar roteiros, ou sequência de paradas a serem cumpridas pelos veículos, podendo ser caracterizada por ‘ $n$ ’ clientes, que são representados numa rede de transporte por nós ou arcos, com o objetivo de atender um conjunto de pontos geograficamente dispersos em locais predeterminados.

### **2.2.1 Métodos clássicos para a roteirização de veículos**

Para Laporte (1992) os problemas de Roteirização de Veículos podem ser solucionados através de algoritmos exatos, que resultam na melhor solução do problema. Esses problemas são conhecidos como *NP-difícil* (do inglês *NP-Hard*). Em outras palavras, o esforço computacional para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema, dado pelo número de pontos a serem atendidos (Garey e Johnson, 1999). Entretanto, segundo Ballou (2006), elaborar boas soluções para o problema de roteirização e programação de veículos torna-se cada vez mais difícil na medida em que novas restrições são impostas. Janelas de tempo, caminhões múltiplos com diferentes capacidades de peso e cubagem, tempo máximo de permanência ao volante em cada roteiro, velocidades máximas diferentes em diferentes zonas, barreiras ao tráfego (lagos, desvios, montanhas) e os intervalos para o motorista são algumas inúmeras considerações práticas, que acabam pesando sobre o projeto do roteiro.

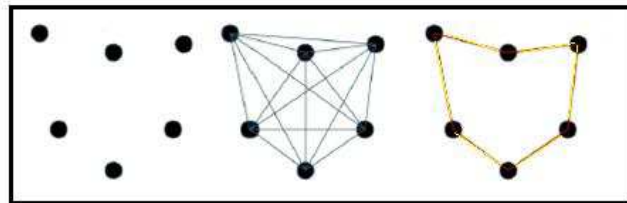
Cunha (2006) explica que, por este motivo, foram desenvolvidos métodos de solução baseados em procedimentos heurísticos para a resolução de problemas complexos. Conforme Belfiore *et al.* (2006) estes métodos têm o objetivo de identificar um trajeto no qual o custo de transporte seja mínimo, de modo que a demanda seja atendida e as restrições de capacidade dos veículos sejam respeitadas. Cunha (2006) afirma que estes não necessariamente garantem a obtenção de soluções ótimas do ponto de vista matemático, porém identificam o conjunto de soluções viáveis. O termo heurístico geralmente refere-se a um procedimento repetitivo de busca, baseado em alguma estrutura de controle. A seguir serão abordados os métodos mais usuais de roteirização.

### 2.2.2.1 Problema do Caixeiro Viajante

A evolução dos mercados levou a que o transporte de mercadorias aumentasse e dessa forma o número de entregas seguisse o mesmo caminho. Deste modo, tornou-se cada vez mais difícil determinar os caminhos mais curtos e/ou econômicos. Isso acabou por gerar situações que são conhecidas/modeladas como um Problema do Caixeiro Viajante. Este problema tem por objetivo visitar um conjunto de ‘ $n$ ’ cidades, apenas uma vez por rota e, no final da rota, regressar ao ponto de origem, de forma a percorrer o caminho mais curto (Hurkens e Woeginger, 2004).

Segundo Luna (2000), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) caracteriza-se por um conjunto de  $n$  cidades e a matriz de distâncias entre elas, onde o objetivo é encontrar um ciclo, melhorando a distância a ser percorrida, a fim de visitar todas as cidades de uma única vez, retomando ao ponto de origem. A Figura 2 a exemplifica uma solução de um problema do Caixeiro Viajante:

**Figura 2-** Problema do Caixeiro Viajante



Fonte: Autoria Própria (2018)

Goldberg (2005) apresenta o modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante, formulado por Dantzig. A seguir é exibida a restrição binária nas equações:

#### Formulação

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:



$$\sum_{i=1}^n = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n = 1 \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in N \quad (5)$$

Onde:

- (1) Representa a função objetivo;
- (2) Restrição que garante que o caixeiro visite a cidade uma única vez;
- (3) Restrição que garante que o caixeiro saia da cidade uma única vez;
- (4) Restrição que exclui subciclos (ciclos hamiltonianos) das alternativas.  $|S|$  é o número de vértice do grafo S;
- (5) Restrição binária, atribui-se o valor 1, se o percurso de uma cidade para outra é utilizado. Caso contrário, a variável receberá o valor 0.

### 2.2.2 O Problema de Roteirização Periódico de Veículos

O problema de Roteirização de Veículos consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada cliente seja visitado exatamente uma vez e a demanda total de qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que atende (LAPORTE *et al.*,2000).

Dentre a classificação dos problemas de roteirização e programação de veículos, aqueles que envolvem o transporte de passageiros de seus locais de origem a seus destinos são conhecidos genericamente na literatura como problemas do tipo “dial-a-ride” (Znamensky e Cunha, 1998).Belfiore *et al.* (2006) explica que no problema de roteirização de veículos, o horizonte de tempo é de curto prazo, abrangendo apenas um dia, onde o objetivo consiste em estabelecer rotas que reduzam os custos de transporte, de modo a atender toda demanda, e as restrições de capacidade dos veículos sejam respeitadas.

Uma formulação básica para o modelo clássico de roteirização de veículos foi classificada por Fischer e Jaikumar (1981), como segue abaixo:

**Orientações:**

NV = número de veículos;

n = número de clientes para os quais uma entrega deve ser feita. Os clientes são indexados de 1 a n e o índice 0 representa o depósito central;

QV = capacidade do veículo v;

qi = Demanda do cliente i;

cij = custo de viagem do cliente i para j;

S = Representa um subgrafo qualquer do problema, excluindo o depósito.

**Variáveis:**

$$Y_i^v = \begin{cases} 1, & \text{se o pedido do cliente } i \text{ é entregue pelo veículo } v \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$X_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo } v \text{ viaja diretamente do cliente } i \text{ para o } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

**Formulação**

$$\text{Minimizar } \sum_i \sum_j \sum_v X_{ij}^v C_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_i Q_i Y_i^v \leq Q_v \quad v = 1, \dots, NV \quad (2)$$

$$\sum_v Y_0^v = NV \quad (3)$$

$$\sum_v Y_i^v = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_i X_{ij}^v = Y_j^v \quad i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (5)$$

$$\sum_j X_{ij}^v = Y_i^v \quad i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (6)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij}^v \leq |S| - 1 \quad S \subseteq N \setminus \{0\}; 2 \leq |S| \leq n - 1; v = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$Y_i^v \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (8)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (9)$$

Onde;

- (1) Função objetivo, representa a minimização dos custos ou distâncias totais de viagem, satisfazendo todas as restrições impostas pelo problema;
- (2) Restrição que a, limita a utilização do veículo a sua capacidade máxima;
- (3) Restrição que garante que todos os veículos iniciem e terminem suas rotas no depósito;
- (4) Restrição que garante que todos os clientes serão atendidos e que cada um deles será visitado por apenas um veículo;
- (5) e (6) São as restrições de conservação dos fluxos, ou seja, cada cliente terá obrigatoriamente um único arco de entrada e um único arco de saída correspondente. Esta restrição garante também que os veículos não interrompam as suas rotas em um cliente;
- (7) Restrição que impede a formação de subrotas, impondo para cada veículo, que os arcos de qualquer subgrafo  $S$  do grafo  $G(N, A)$  que compõem o problema, não formem circuitos isolados;
- (8) e (9) restrições que garantem que as variáveis  $X_{ij}^v$  e  $Y_i^v$  sejam binárias.

### 2.2.3 Métodos Heurísticos

Nicholson (1971) define heurística como um procedimento para resolver problemas através de um enfoque intuitivo, em geral racional, no qual a estrutura do problema possa ser interpretada e explorada inteligentemente para obter uma solução razoável. Conforme Prestes (2006), uma heurística são algoritmos em que não há garantias de que será encontrada uma solução ótima, em contrapartida conseguem retornar uma solução em um tempo adequado. De acordo com Vitor (2007) não é possível garantir a qualidade da solução é no mínimo próximo da ótima, além de serem rápidas e não possuírem restrições com relação ao tamanho do trabalho. A seguir serão apresentadas heurísticas para a resolução de problemas de roteirização.

#### 2.2.3.1 Método de varredura

O método de varredura, também conhecido como *Sweep Algorithm*, é um método heurístico no qual se procura obter a solução dos problemas em duas etapas distintas: a primeira visa agrupar os pontos de demanda segundo algum critério de proximidade; enquanto na segunda etapa, cada grupo é solucionado independentemente (NOVAES, 2007).

Conforme apresentado por Ballou (2001), o método da varredura é simples e de processamento rápido, apresentando uma precisão de 10% e a desvantagem do método diz

respeito à maneira como os roteiros são formados. O método consta da seguinte sequência de procedimentos, formuladas por (NOVAES, 2007):

**Etapa 1-** Tomando o depósito como centro, definir um eixo passando por ele. Esse eixo geralmente coincide com a linha horizontal.

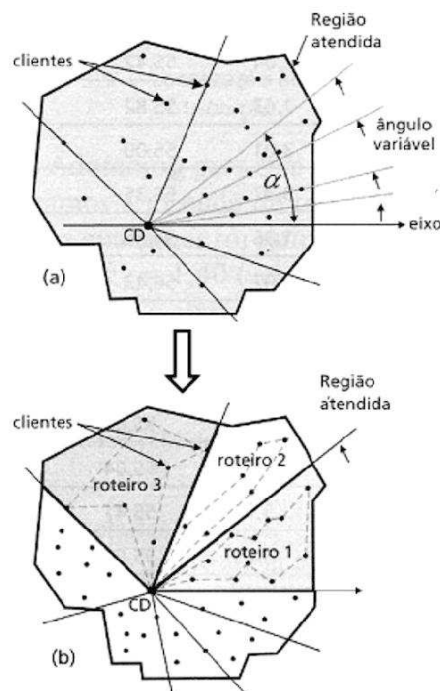
**Etapa 2-** Vá girando o eixo em torno do CD no sentido anti-horário (ou horário, se assim o preferir) até que a linha inclua um cliente.

**Etapa 3-** Teste o cliente em potencial, verificando se pode ser incluído no roteiro em formação: (a) o tempo de atendimento do novo cliente excede a jornada de trabalho permitida por dia?; (b) a quantidade de mercadoria a transportar para o novo cliente excede o limite de capacidade do veículo? Se ambas as restrições não forem violadas, o novo cliente poderá ser incorporado ao roteiro, e o processo (etapa 2 e 3) continua.

**Etapa 4-** Se o novo cliente não puder ser incluído no roteiro em formação, é sinal de que as possibilidades desse roteiro se esgotaram. Nesse caso, fechamos o roteiro e iniciamos um novo. O processo termina quando todos os clientes tiverem sido incluídos num roteiro.

**Etapa- 5** Para cada roteiro, aplicar um método de melhoria de forma a minimizar os percursos.

**Figura 3 -** Aplicação da heurística de varredura



Fonte: Novaes (2007)

Segundo Novaes (2007) o método de Varredura é bem mais simples que o Clarke & Wright.

### 2.2.3.2 Método de Clarke e Wright

Para Ballou (2001) o método de Clarke e Wright ou o método as economias é o método mais flexível, além de permitir incorporar diversos tipos de restrições. Segundo Novaes (2006) o método Clarke-Wright baseia-se na abordagem das economias, com ampla flexibilidade para resolver um conjunto de soluções práticas, sendo relativamente rápido em termos computacionais para problemas com número moderado de paradas, e capaz de gerar soluções próximas do ótimo.

Segundo Ballou (2006) o objetivo do método é reduzir a distância total percorrida por todos os veículos e, conseqüentemente, reduzir a quantidade de veículos necessários para todas as paradas. O método consta dos seguintes procedimentos, elaborados por Novaes (2007):

**Etapa 1-** Combinam-se todos os pontos (que representam os clientes) dois a dois e calcula-se o ganho para cada combinação, através da Equação 1 (equação dos ganhos de agrupamento de demanda).

**Etapa 2-** Ordenam-se todas as combinações  $i,j$ , de forma decrescente segundo valores dos ganhos  $S_{ij}$ .

**Etapa 3-** Começamos com a combinação de dois nós que apresentou o maior ganho. Posteriormente, na análise de outras situações, vai-se descendo na lista de combinações, sempre obedecendo à sequência em ordem decrescente de ganhos.

**Etapa 4-** Para um par de pontos  $(i,j)$ , tirado da sequência de combinações, verifica-se se os dois pontos já fazem parte de um roteiro iniciado:

(a) Se  $i$  e  $j$  não foram incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, cria-se então um novo roteiro com esses dois pontos;

(b) Se o ponto  $i$  já pertence a um roteiro iniciado, verifica-se se esse ponto é o primeiro ou último desse roteiro (não contando o CD). Se a resposta for positiva, acrescentar o par de pontos  $(i,j)$  na extremidade apropriada. Fazer a mesma análise com o ponto  $j$ . Se nenhum dos dois pontos satisfizer essa condição separadamente, passar para o item (c);

(c) Se ambos os pontos  $i$  e  $j$  fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se a resposta for positiva,

fundir os dois roteiros num só, juntando-os de forma a unir  $i$  a  $j$ . Caso contrário, passar para a Etapa 5;

(d) Se ambos os nós  $i$  e  $j$  pertencerem a um mesmo roteiro, passar para a Etapa 5.

**Etapa 5-** Cada vez que acrescentar um ou mais pontos num roteiro ou quando fundir dois roteiros num só, verificar se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade. Se atender aos limites das restrições, a nova configuração é aceita.

**Etapa 6-** O processo termina quando todos os pontos (clientes) tiverem sido incluídos nos roteiros.

### 2.2.3.3 Heurística do Vizinho Mais Próximo

O algoritmo do Vizinho mais próximo é descrito por Rosenkrantz *et al.* (1977) como um dos métodos heurísticos mais simples para resolução de problemas de veículos. Silva (2013) que define a heurística do Vizinho Mais Próximo no qual o primeiro ponto a ser atendido no roteiro seja o ponto que apresenta menor distância do ponto de origem. O segundo ponto a ser atendido deve ser o destino que apresentar a menor distância do último ponto visitado. Uma vez visitado um ponto do roteiro, este não poderá ser visitado novamente. Após o caixeiro visitar todos os pontos, o mesmo deverá regressar ao ponto de origem.

A heurística do Vizinho Mais Próximo, segundo Texeira (2014), é caracterizada pela escolha da cidade mais próxima, sempre que o caixeiro se desloque, até que todas as cidades sejam visitadas, sendo descrita por Carvalho (1998) o método de funcionamento:

**1º Passo:** escolher um nó aleatório para ponto de partida;

**2º Passo:** enquanto existirem nós não visitados, seleccionar o nó mais próximo do último nó visitado e adicioná-lo à rota;

**3º Passo:** ligar o último nó visitado ao nó inicial.

## 2.3 PESQUISAS RECENTES PARA A ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

O estudo abordado por Eubank, Wanke e Hadi (2015) apresenta uma técnica de agrupamento difuso aplicado a uma frota homogênea. A heurística apresenta um erro médio menor do que 7,5 % e consiste em agrupar os pontos a serem visitados em clusters, considerando as restrições de capacidade do veículo e a distância mínima percorrida em cada cluster. A técnica pode ser aplicada ao problema em estudo, visto que atende todas as

características do problema, porém sua formulação matemática exige enormes esforços computacionais.

Na pesquisa realizada por Souza *et al.*(2016) desenvolveu-se uma ferramenta de roteirização de frota por meio da aplicação da técnica de varredura com o auxílio do software ArcGIS, o método de solução do problema baseia-se na roteirização por meio da aplicação do conhecimento geográfico, associada à análise de diversas rotas independentes, realizando a combinação de informações por meio de um conjunto de operações, visando à redução dos percursos das rotas que compõe a malha. Este método apresenta resolução dos problemas de maneira rápida e eficaz, e apresenta uma margem de erro de 10%. Nurcahyo *et al* (2002) compara dois métodos de varredura para resolver o problema de roteamento de veículos do transporte público em Semarang, Indonésia. O algoritmo de varredura nesse trabalho foi usado de dois métodos diferentes: varredura para frente e varredura para trás, ambos são comparados a fim de determinar qual método apresenta melhores resultados. Nota-se, nesse trabalho que o algoritmo de varredura contribui na geração de rotas de ônibus públicos, ao encurtar a distância das rotas atuais mantidas pela empresa.

Toigo, *et al.* (2007) apresentou um sistema de roteirização baseado no o método heurístico de Clarke e Wright e um algoritmo de otimização 2-opt e 3-opt para aplicação do método. O primeiro passo foi definir o número de cidades e a abrangência da transportadora e, em seguida, inicia-se o método através da análise das possíveis combinações em grupos de dois a dois.

Campos, Yoshizaki e Belfiore (2006) propõem a utilização de metaheurística e computação paralela a fim de solucionar um problema real de roteirização de veículos com frota heterogênea, utilizando janelas de tempo e entregas fracionadas. Os autores adaptaram a heurística proposta por Clarke e Wright como solução inicial e, em seguida, implementou-se um algoritmo genético paralelo que é solucionado com o auxílio de um cluster de computadores. A aplicação do algoritmo genético apresentou os melhores resultados com relação à heurística construtiva.

Palhares (2017) solucionou o mesmo problema abordado nesse estudo através do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), utilizando a heurística do vizinho mais próximo para definição da rota geral, identificando todos os pontos a serem visitadas, as rotas diárias, respeitando as restrições de capacidade do veículo para utilização máxima da capacidade. Em seguida, o autor implementou o modelo matemático de Dantzig com auxílio da ferramenta computacional Microsoft Excel ©Solver, a fim de otimizar cada uma das rotas definidas.

O problema de roteirização estudado nesta pesquisa adéqua-setanto ao PCV utilizado no mesmo problema por Palhares (2017),quanto à técnica utilizada por Eubank, Wanke e Hadi (2015).A proposta de Campos, Yoshizaki e Belfiore (2006) não se adéqua ao problema, visto que os autores aplicaram o método em uma frota heterogênea, alémde considerar a demanda dos clientes maior que a capacidade dos veículos. O sistema de roteirização elaborado por Toigo, *et al.* (2007), também não é apropriado ao estudovisto que o mesmo deve ser utilizado por empresas com grande número de entregas, além do método heurístico de Clarke e Wright não considerar o ponto de origem como sendo o ponto de término da rota.

A escolha do método de Varredura para solucionar o problema de roteirização desse trabalho, foi adotada devido a sua facilidade de implementação, visto que os demais métodos exigiam muita complexidade matemática.



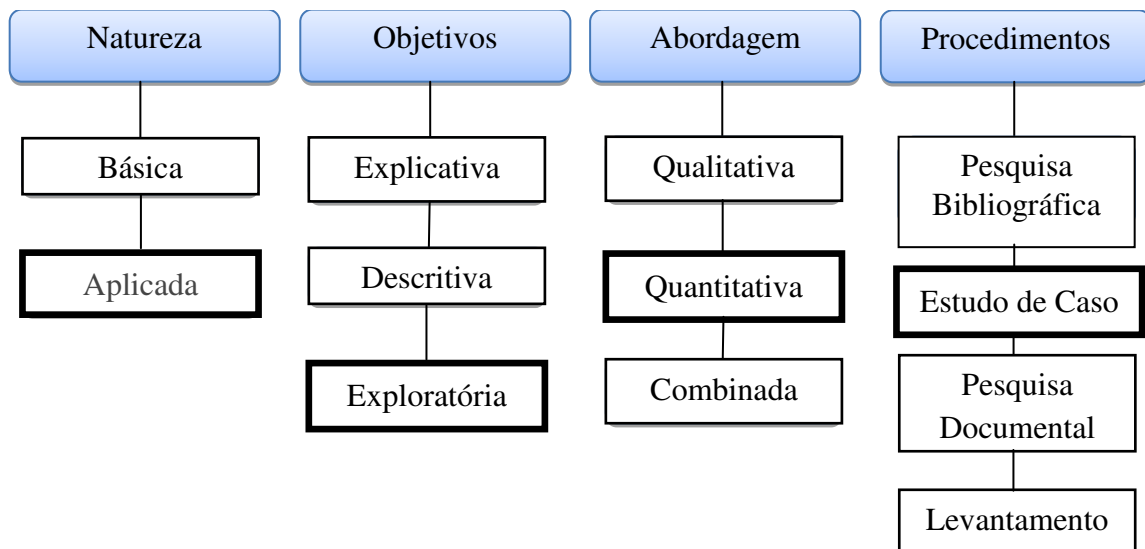
### 3METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta seção descreve as premissas metodológicas empregadas para o desenvolvimento da pesquisa. Neste sentido, inicialmente é apresentada a caracterização da pesquisa quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Em seguida, são expostas as etapas realizadas durante a realização do estudo.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia da pesquisa pode ser classificada de acordo com a sua natureza, objetivos, seus procedimentos e o cunho de sua abordagem, conforme exibido na Figura 4:

**Figura 4-** Estrutura Metodológica



Fonte: Autoria Própria (2018)

Em relação à natureza, a pesquisa pode ser classificada como básica ou aplicada. De acordo com Thiollent (2009) a pesquisa aplicada empenha-se na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções. Portanto, o presente estudo possui natureza aplicada, visto que propõe elaborar um plano de rotas referente à distribuição de bebidas em uma empresa situada na cidade de Sumé/PB.

Em relação aos objetivos, a pesquisa divide-se em três tipos: explicativa, descritiva e exploratória. De acordo com Gil (2007), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com o intuito de torná-lo mais explícito e de levantar hipóteses. Ainda segundo o autor, geralmente essas pesquisas baseiam-se em levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema em questão e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Neste sentido, esta pesquisa

é exploratória, pois para a realização do estudo de caso foi necessário um levantamento bibliográfico, estudo dos problemas atuais de roteirização e questionários aplicados a gerência da organização para levantamento de dados.

A abordagem da pesquisa pode ser classificada em quantitativa, qualitativa ou combinada. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, entre outros (FONSECA, 2002). Considerando que os resultados dessa pesquisa puderam ser quantificados, e que para resolução dos problemas recorreu-se a modelos matemáticos, a pesquisa em questão trata-se de uma abordagem quantitativa.

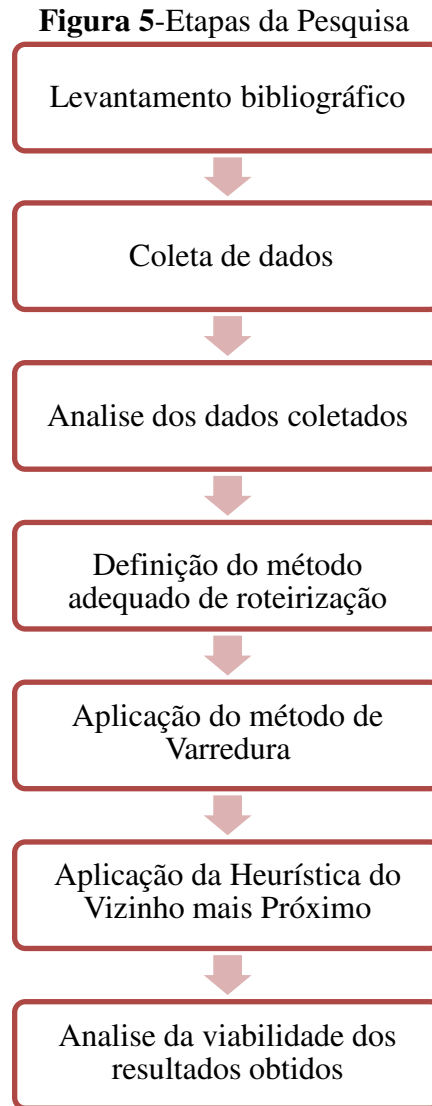
Em relação ao procedimento a pesquisa pode ser definida como um estudo de caso, pesquisa bibliográfica, levantamento e pesquisa documental. De acordo com Fonseca (2002):

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

Quanto ao estudo de caso, o propósito do mesmo é reunir informações detalhadas e sistemáticas sobre um fenômeno (PATTON, 2002). Portanto, para realização da pesquisa fez-se, além do levantamento bibliográfico, um detalhamento de informações necessárias para elaborar uma proposta de solução para os problemas encontrados na empresa. Assim, a pesquisa bibliográfica foi utilizada como base para o estudo de caso.

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A Figura 5 apresenta as Etapas da Pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico para um embasamento teórico sobre a importância da gestão logística, os métodos mais usuais de roteirização de veículos e os custos operacionais logísticos relacionados ao transporte. Entre os meses de Setembro e Outubro de 2018, foi realizada uma coleta para identificação do plano atual de rotas, do tipo de frota, tempo de jornada de trabalho dos motoristas, da demanda de cada rota, do tempo necessário para descarregar o veículo e as restrições presentes no problema.

Após a obtenção dos dados necessários a realização do trabalho, na qual todas as variáveis dos problemas foram determinadas, o método de Varredura mostrou-se apropriado para solucionar o problema de roteirização. Com o auxílio da ferramenta rota fácil, foi possível determinar a distância entre as cidades, para aplicação das etapas do método. Feito isso, as rotas diárias foram previamente definidas, e melhoradas com o método heurístico do Vizinho Mais Próximo.

Em seguida, foram comparados os resultados da rota proposta melhorada com a rota atual. Na última etapa do trabalho, as alternativas de melhorias foram analisadas profundamente para averiguar a viabilidade de implantação.

## 4 ESTUDO DE CASO

Nesta seção será abordada a descrição da empresa em estudo, bem como a metodologia utilizada pela mesma para o planejamento atual de rotas. Em seguida, será abordado o plano diário de rotas utilizado atualmente, que tem como origem a cidade de Angicos/RN. Ademais, será aplicado o Método da Varredura para a proposição de rotas diárias adequadas. Por fim, será realizado um comparativo entre os planos de rotas atual e proposto.

### 4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa em estudo está situada na cidade de Angicos, no Estado do Rio Grande do Norte, a mesma foi fundada em 1994 e atualmente dispõe de um quadro de 31 funcionários. Tem como principal atividade a produção de leite e seus derivados, tais como; requeijão, queijo, bebidas lácteas e coalhada.

A produção diária da empresa é de aproximadamente 20.500 litros/leite, sendo 18.000 litros de leite bovino e 2.500 litros de leite caprino e a produção média da bebida láctea fermentada é de aproximadamente 1500 litros por dia. O leite é classificado em duas linhas de produtos, sendo eles: leite institucional, demandado pelo programa do governo e distribuído em instituições públicas, e leite comercial, distribuído para o varejo.

A rota estudada nessa pesquisa é a rota de Angicos/RN com sentido a Natal/RN, na qual são distribuídos semanalmente 30.100 litros de leite comercial, 23.955 litros de leite institucional e 4.600 litros de bebidas lácteas e o veículo utilizado para realizar as entregas é o caminhão Mercedes Benz MB 1620, com capacidade para 15.000 litros.

### 4.2 PLANO ATUAL DE ROTAS

A empresa em estudo não conta com nenhuma técnica estruturada de roteirização, a distribuição é realizada de forma empírica, baseada apenas nas experiências dos motoristas e gestores da organização. As rotas atuais realizadas pela empresa apresentam uma ineficiência devido a quantidade de percursos realizados para a entrega dos produtos, podendo ser otimizado caso utilize de forma adequada os recursos disponíveis de capacidade do veículo e jornada de trabalho dos motoristas.

As rotas são realizadas semanalmente por um único veículo durante os dias: Segunda-Feira, Terça-Feira, Quarta-Feira, Quinta-Feira, Sexta-Feira e Sábado.

Na rota da Segunda-Feira, são visitados 12 pontos, o volume transportado é de 15.000 litros, nos quais: 8.600 litros correspondem ao leite institucional, 5.300 litros ao leite comercial e 1.100 litros são referentes às bebidas lácteas.

O percurso total dessa rota é de aproximadamente 512 km contando com o retorno ao ponto de origem e que todos os pontos demandados sejam atendidos. Os dados estão representados na Tabela 1:

**Tabela 1**-Rota atual realizada na segunda-feira

<b>Segunda-Feira</b>		
<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Angicos	Caiçara do Rio do Vento	84
Caiçara do Rio do Vento	Riachuelo	24
Riachuelo	Rui Barbosa	17
Rui Barbosa	Lagoa dos Velhos	32
Lagoa dos Velhos	Bento Fernandes	55
Bento Fernandes	Natal (Rua Macaé, 1994 - Potengi)	92
Natal (Rua Macaé, 1994 - Potengi)	Natal/RN (Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária)	13
Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária)	Natal/RN (Rua Teotônio Freire, Ribeira)	8
Natal/RN (Rua Teotônio Freire, Ribeira)	Natal (Rua Coronel Joaquim Manoel, 720 - Petrópolis)	1
Natal (Rua Coronel Joaquim Manoel, 720 - Petrópolis)	Santa Maria	63
Santa Maria	Angicos	123
<b>Total</b>		<b>512</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

A Tabela 2 abaixo compreende a rota realizada na terça-feira. Esta possui apenas 5 pontos a serem visitados e seu volume corresponde a 9.925 litros, que estão distribuídos em: 4.625 litros de leite institucional, 4.500 litros de leite comercial e 800 litros de bebidas lácteas. A quilometragem percorrida nesse trajeto é de aproximadamente 419 km.

**Tabela 2-** Rota atual realizada na terça-feira

<b>Terça-Feira</b>		
<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Angicos	São Paulo do Potengi	122
São Paulo do Potengi	Natal (Rua Macaé, 1994-Potengi)	81
Natal (Rua Macaé, 1994-Potengi)	Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437-Candelária)	13
Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437- Candelária)	Natal (Rua João XXIII, 12-Mãe Luíza)	8
Natal (Rua João XXIII, 12- Mãe Luíza)	Natal (Rua Dr. Mário Negócio- Quintas)	16
Natal (Rua Dr. Mário Negócio- Quintas)	Angicos	179
<b>Total</b>		<b>419</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

A Tabela 3 apresenta o itinerário correspondente ao trajeto realizado na quarta-feira, os dois pontos visitados nessa rota estão localizados na cidade de Natal/RN. O volumetransportado para esses pontos é de 5.440 litros ao todo, nos quais 4.600 de leite comercial e 800 de bebidas lácteas, não tendo demanda de leite institucional para esse dia. O total de percorrido nesse trajeto é de aproximadamente 380 km.

**Tabela 3-** Rota atual realizada na quarta-feira

<b>Quarta-Feira</b>		
<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Angicos	Natal (Rua Macaé, 1994-Potengi)	187
Natal (Rua Macaé, 1994-Potengi)	Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437-Candelária)	12
Natal (Rua Érico Veríssimo, 347- Candelária)	Angicos	181
<b>Total</b>		<b>380</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

A Tabela 4 representa o itinerário correspondente à quinta-feira. Neste dia são visitados 6 pontos. O volume total transportado no veículo é de aproximadamente 9.400 litros, dos quais: 4.800 litros de leite institucional, 4.100 litros de leite comercial e 500 litros referentes a bebidas lácteas. O trajeto realizado na quinta-feira é de aproximadamente 502 km.

**Tabela 4** - Rota atual realizada na quinta-feira

<b>Quinta-Feira</b>		
<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Angicos	Pedra Preta	88
Pedra Preta	Lajes	31
Lajes	São Paulo do Potengi	103
São Paulo do Potengi	Natal (Rua Macaé, 1994 - Potengi)	80
Natal (Rua Macaé, 1994 - Potengi)	Natal (Rua Érico Veríssimo,3437 - Candelária)	13
Natal (Érico Veríssimo,3437 - Candelária)	Natal (Rua Ferreira Nobre, Alecrim)	6
Natal (Rua Ferreira Nobre, Alecrim)	Angicos	181
<b>Total</b>		<b>502</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

A Tabela 5 a seguir, apresenta os dados referentes a rota realizada na sexta-feira. Para esta rota, existem 6 pontos a serem visitados e todos os pontos se localizam na cidade de Natal/RN. A quantidade total demandada da rota é de 12.350 litros, em que 5.250 litros correspondem ao leite institucional, 6.200 litros de leite comercial e 900 litros referem-se às bebidas lácteas. A quilometragem total da rota, como consta na tabela a seguir, é de 411 km.



**Tabela 5** - Rota atual realizada na sexta-feira

<b>Sexta-Feira</b>		
<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTÂNCIA(km)</b>
Angicos	Natal (Rua Macaé, 1994 - Potengi)	186
Natal (Rua Macaé, 1994 - Potengi)	Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária)	13
Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária)	Natal (Rua Dinarte Mariz Neto, 174 - Nova Descoberta)	5
Natal (Rua Dinarte Mriz Neto, 174 - Nova Descoberta)	Natal (Av. Coronel Estevam, 1657- Alecrim)	5
Natal (Av. Coronel Estevam, 1657- Alecrim)	Natal (Bairro Passo da Pátria- Conselho Comunitário)	3
Natal (Bairro Passo da Pátria- Conselho Comunitário)	Natal (E.E. José Frazão)	14
Natal (E.E. José Frazão)	Angicos	185
<b>Total</b>		<b>411</b>

Fonte: Aatoria Própria (2018)

A Tabela 6 a seguir, apresenta os 3 pontos visitados durante o sábado e a distância entre eles. Para esta rota, são demandados aproximadamente 6.900 litros, nos quais: 1.000 litros correspondem ao leite institucional, 5.400 litros ao leite comercial e 500 litros as bebidas lácteas. Os 3 pontos estão localizados na cidade de Natal e a distância total do percurso é de aproximadamente 381 km.

**Tabela 6** - Rota atual realizada no sábado

<b>Sábado</b>		
<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Angicos	Natal (Rua Macaé, 1994-Potengi)	187
Natal (Rua Macaé, 1994-Potengi)	Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária)	13
Natal (Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária)	Natal (Av. Solange Nunes do Nascimento, 503 - Cidade Nova)	4
Natal (Av. Solange Nunes do Nascimento, 503 - Cidade Nova)	Angicos	177
<b>Total</b>		<b>381</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

Diante do cenário em que se encontra o atual plano de rotas realizado pela empresa, observa-se que em algumas rotas a capacidade do veículo é subutilizada. Além disso, para atender todos os pontos demandados, é necessário exceder a jornada de trabalho do motorista, fazendo com que a empresa tenha custos com pagamentos de horas extras. Mediante isto, o presente trabalho propõe uma aplicação estruturada de um novo roteiro para a organização, que visa a utilização máxima da capacidade do veículo e redução de quilômetros rodados e, conseqüentemente, a redução dos custos operacionais logísticos.

#### 4.3 ESTRUTURAÇÃO DO NOVO PLANO DE ROTAS

Considerando que no problema em questão, o ponto de origem é o mesmo destino final da rota, e que todas as demais restrições existentes no problema se adequam ao método de Varredura nesse processo logístico, pode-se analisar as restrições para a aplicação da heurística. No quadro 2, é possível observar todas as características do problema:

**Quadro 2 - Características do problema**

CARACTERÍSTICAS	
FROTA	Homogênea
CAPACIDADE DO VEÍCULO	15.000 litros
JORNADA DE TRABALHO DOS MOTORISTAS	10hrs/dia
DEPÓSITO	Ponto de partida e chegada

Fonte: Autoria Própria (2018)

Faz-se necessário ainda a definição da função objetivo, restrições relacionadas aos clientes e veículos, as variáveis de decisão e as características do problema, em que:

1. Função objetivo: Minimizar as distâncias percorridas para redução dos custos operacionais logísticos
2. Restrições dos veículos e com clientes:
  - (i) apenas um veículo com capacidade de 15.000 L;
  - (ii) a cidade de São Paulo do Potengi/RN é o único ponto visitado duas vezes na semana, com intervalo mínimo de um dia;
  - (iii) Nesta mesma cidade, a demanda semanal deve ser dividida em 50% para cada um dos dois dias de visita.
3. Variáveis de decisão: A decisão atual é escolher a melhor rota para o veículo;

#### 4.4 ELABORAÇÃO DO NOVO PLANO DE ROTAS

O caminhão utilizado para distribuição dos produtos é a Mercedes-Benz MB 1620, que atende 22 cidades situadas no Rio Grande do Norte/RN. Para que toda demanda semanal seja atendida, faz-se necessário a identificação e análise da matriz de relação de distância entre as cidades. Para facilitar a identificação dos pontos na matriz, os pontos de distribuição serão representados da seguinte maneira:

- **A1:** Angicos;
- **A2:** São Paulo do Potengi;
- **A3:** Pedra Preta;
- **A4:** Lajes;
- **A5:** Caiçara do Rio do Vento;
- **A6:** Riachuelo;
- **A7:** Ruy Barbosa;

- **A8:** Lagoa dos Velhos;
- **A9:** Bento Fernandes;
- **A10:** Santa Maria;
- **A11:** Rua Macaé, 1994 - Potengi;
- **A12:** Rua Érico Veríssimo, 3437 - Candelária;
- **A13:** Rua Teotônio Freire - Ribeira;
- **A14:** Rua Coronel Joaquim Manoel, 720 - Petrópolis;
- **A15:** Rua João XXIII, 12 – Mãe Luiza;
- **A16:** Rua Dr. Mário Negócio – Quintas;
- **A17:** Rua Ferreira Nobre – Alecrim;
- **A18:** Rua Dinarte Mariz Neto, 174 – Nova Descoberta;
- **A19:** Av. Coronel Estevam, 1657 – Alecrim;
- **A20:** Av. Capitão-Mor Gouveia, 2509 – Felipe Camarão;
- **A21:** Av. Boa Sorte, 1834 – Nossa Sra. da Apresentação;
- **A22:** Av. Solange Nunes do Nascimento, 503.

O Quadro 3 apresenta o tempo necessário para descarregamento do veículo em cada cidade, baseado na demanda. Vale salientar que o valor apresentado no quadro é apenas uma média de tempo, podendo esse valor ser alterado. Feito isso, é possível aplicar o método, respeitando as restrições de tempo e capacidade.

**Quadro 3 - Volume semanal e Tempo de descarregamento**

<b>PONTOS DEMANDADOS</b>	<b>VOLUME SEMANAL DE ENTREGAS (Litros)</b>	<b>TEMPO DE DESCARREGAMENTO (min)</b>
Angicos	-	-
São Paulo do Potengi	3.450	15
Pedra Preta	605	10
Lajes	1.730	20
Caiçara o Rio do Vento	1.240	12
Riachuelo	1.550	15
Ruy Barbosa	1.290	12
Lagoa dos Velhos	1.220	12
Bento Fernandes	1.250	12
Santa Maria	950	10
Rua Macaé, 1994 – Potengi	13.880	32
Rua Érico Veríssimo-Candelária	20.820	44
Rua Teotônio Freire – Ribeira	750	10
Rua Coronel Joaquim Manoel – Petrópolis	350	7
Rua João XXIII, 12 - Mãe Luiza	1.500	15
Rua Dr. Mário Negócio – Quintas	1.400	12
Rua Ferreira Nobre	750	10
Rua Dinarte Mariz Neto - Nova Descoberta	1.250	12
Av. Coronel Estevam – Alecrim	1.250	12
Av. Capitão-Mor Gouveia - Felipe Camarão	1000	10
Av. Boa Sorte - Nossa Sra. da Apresentação	1.750	20
Av. Solange Nunes do Nascimento	1000	10

Fonte: Autoria Própria (2018)

Com os dados determinados pelo quadro, a próxima etapa foi a aplicação do método, considerando as demandas semanais e o tempo de descarregamento somado ao tempo de percurso, para determinar o tempo total da rota.

#### 4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE VARREDURA

Para aplicação do método de Varredura, foi considerada a restrição de capacidade do veículo, para que fosse possível utilizar da capacidade máxima, sem exceder o limite de carga, e a restrição de tempo de entregas, respeitando a jornada de trabalho do motorista de até 10 horas/dia. A Figura 6 abaixo ilustra todos os pontos a serem designados nas rotas:

**Figura 6 - Visão geral dos pontos demandados**



Fonte: Autoria Própria (2018)

Inicialmente, foi traçada uma linha, a partir do centro de distribuição, denominado por A1 em seguida, a linha é rotacionada no sentido horário, atingindo o primeiro ponto da reta, o ponto A4. O processo é repetido até que a capacidade máxima do veículo seja atingida, ou até que o limite de tempo considerado para a jornada de trabalho do motorista seja atingido. Continuando com o processo de varredura, a primeira rota é definida pelos pontos A1 – A4 – A3 – A9 – A21 – A1, conforme a Figura 7:

**Figura 7 - Processo de roteirização da rota 01**

Fonte: Autoria própria(2018)

A rota 01 é composta por cinco pontos de entrega, conforme apresentado no Quadro 4. O total percorrido nesse trajeto é 438 km e o tempo necessário para realização do percurso total da rota é de 9 horas e 44 minutos.

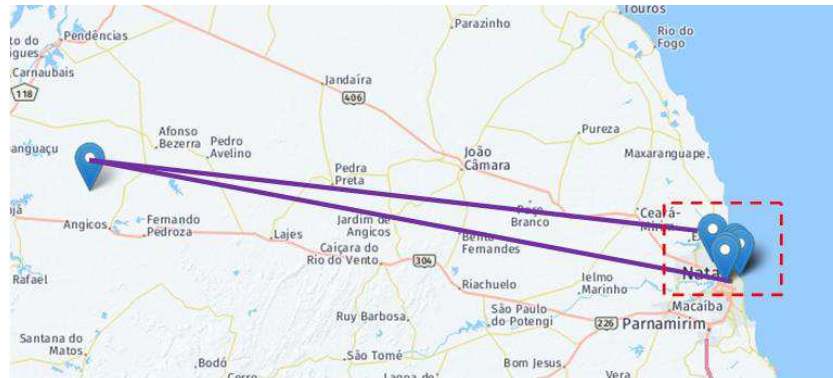
**Quadro 4 - Tempo e volume da rota 01**

ROTA 01		
CIDADES	VOLUME (litros)	TEMPO DE DESCARREGAMENTO (min)
Angicos	-	-
Lajes	1.730	25
Pedra Preta	605	15
Bento Fernandes	1.250	20
Av. Boa Sorte	1.750	25
Rua Macaé	9.665	55
Angicos	-	-
Total	15.000	140

Fonte: Autoria própria (2018)

Para definição da segunda rota, inicia-se novamente pelo ponto A1, e o primeiro ponto a ser intersectado é o ponto A11, conforme a figura 8. Visto que as restrições de capacidade não foram atingidos, o processo de varredura continua e a segunda rota é composta pelos pontos: A1 - A11 – A14 – A15 – A17 – A19 – A1, conforme apresentado na Figura 8 de aproximação dos pontos da rota:

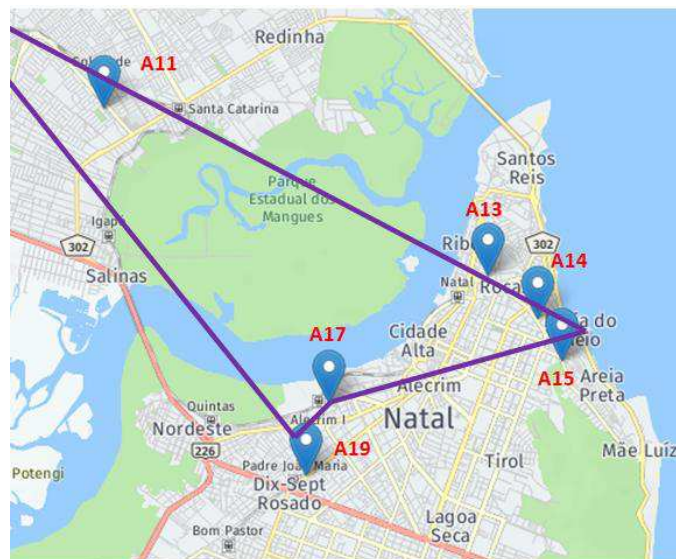
**Figura 8-** Processo de roteirização da rota 02



Fonte: Autoria Própria (2018)

A Figura 9 abaixo representa a aproximação da rota pontilhada em vermelho da Figura 8, facilitando a visualização dos pontos que são tocados pela rota.

**Figura 9-** Aproximação da Rota 02



Fonte: Autoria Própria (2018)

A rota 02 é composta por seis pontos de entrega, conforme apresentado no Quadro 5. Nota-se que, embora ainda restasse capacidade para mais 6.185 litros no veículo, o tempo restante não seria suficiente para a próxima entrega. O tempo gasto para realizar o percurso total da rota é de 7 horas e 35 minutos, e o tempo total considerando o tempo de descarregamento dos produtos é de 9 horas e 40 minutos.

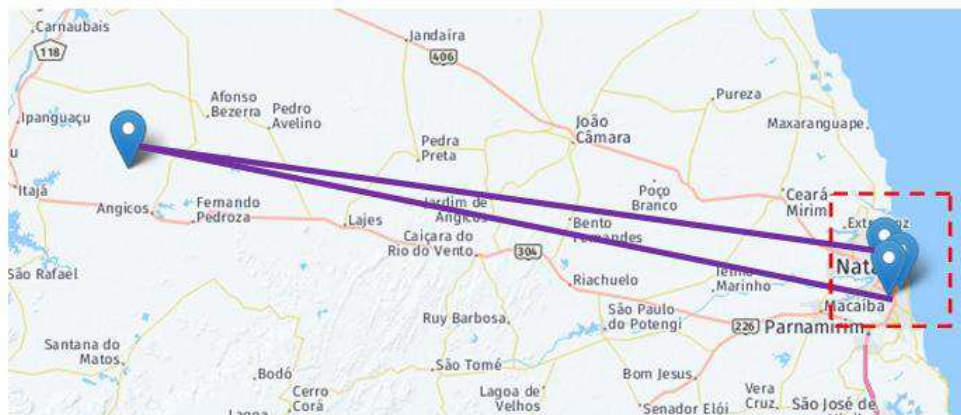


**Quadro 5 - Tempo e volume da rota 02**

ROTA 02		
CIDADES	VOLUME (litros)	TEMPO DE DESCARREGAMENTO (min)
Angicos	-	-
Rua Macaé	4.215	40
Rua Teotônio	750	15
Rua Coronel Joaquim	350	10
Rua João XXIII	1.500	25
Rua Ferreira Nobre	750	15
Av. Coronel Estevam	1.250	20
Angicos	-	-
<b>Total</b>	<b>8.815</b>	<b>125</b>

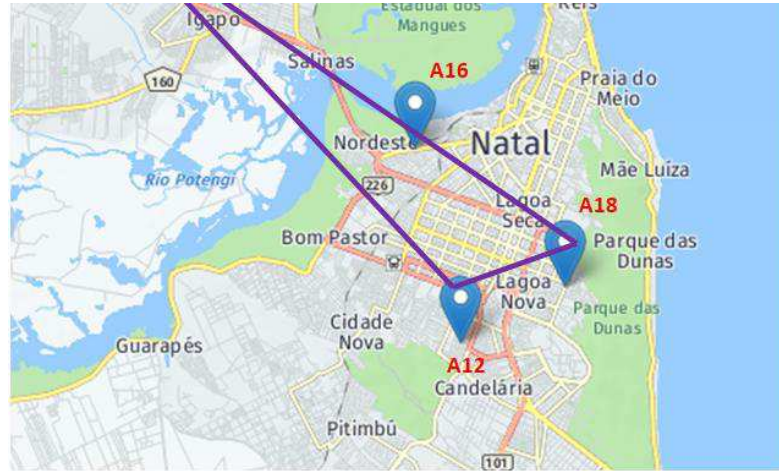
Fonte: Autoria Própria (2018)

Na terceira rota, o primeiro ponto a ser selecionado é o A16 e, seguindo com a rotação da reta, o próximo ponto a ser contemplado é o A18 e por último a rota se encerra com utilização máxima da capacidade do veículo ao atingir o ponto A12, e a terceira rota é composta pelos pontos: A1 - A16 – A18 – A12 – A1, como apresentado pela Figura 11 de aproximação da rota geral ilustrada na Figura 10:

**Figura 10 - Processo de roteirização da rota 03**

Fonte: Autoria Própria (2018)

A Figura 11 abaixo representa a aproximação da rota pontilhada em vermelho da Figura 8, facilitando a visualização dos pontos que são tocados pela reta.

**Figura 11-** Aproximação da Rota 03

Fonte: Autoria Própria (2018)

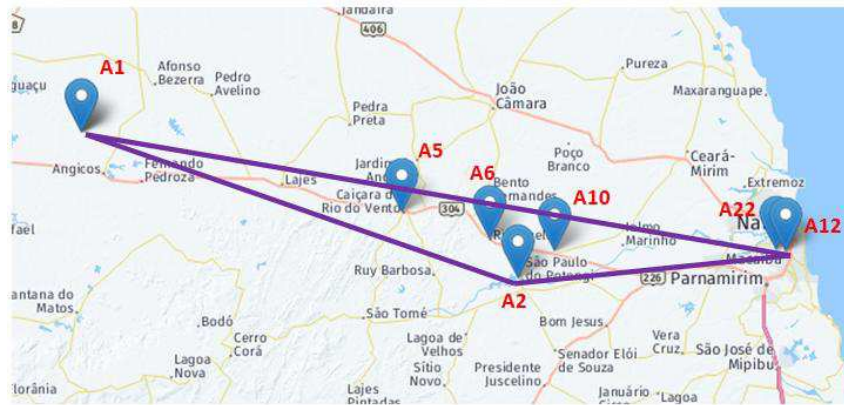
A terceira rota é composta por apenas três pontos de entrega, devido a demanda da Rua Érico Veríssimo ser muito alta, comprometendo 82% da capacidade do caminhão. O tempo necessário para completar as entregas desta rota é de 6 horas e 37 minutos de percurso, somado com o tempo para descarregar a mercadoria o tempo total gasto na rota é de 8 horas e 57 minutos. Os dados estão apresentados no Quadro 6 a seguir:

**Quadro 6 -** Tempo e volume da rota 03

<b>ROTA 03</b>		
<b>CIDADES</b>	<b>VOLUME (litros)</b>	<b>TEMPO DE DESCARREGAMENTO (min)</b>
Angicos	-	-
Rua Dr. Mário Negócio	1400	25
Rua Dinarte	1.250	20
Rua Érico Veríssimo	12.350	95
Angicos	-	-
<b>Total</b>	<b>15.000</b>	<b>140</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na quarta rota, o primeiro ponto a ser selecionado é o A12, pois embora o mesmo ponto estando presente na rota anterior, sua demanda não foi totalmente atendida, fazendo-se necessário incrementar o restante dos pedidos nesta rota. A rota total compreende os pontos A1 – A12 – A22 – A10 – A5 – A6 – A2 – A1, conforme ilustrado na Figura 12:

**Figura 12 - Processo de roteirização da rota 04**

Fonte: Autoria Própria (2018)

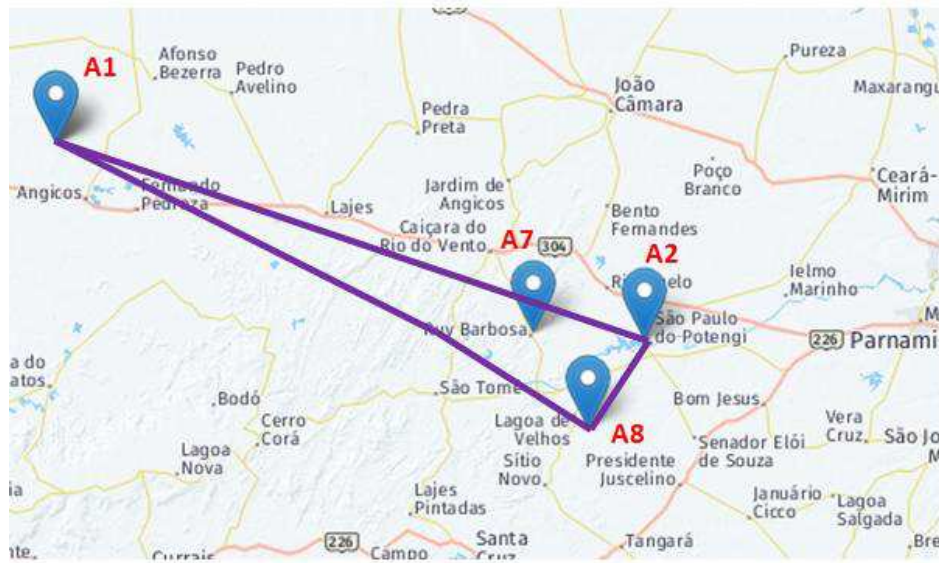
A quarta rota é composta por seis pontos de entrega e utiliza 99,6% da capacidade do veículo. O tempo necessário para completar as entregas desta rota é de 6 horas e 47 minutos de percurso, somado com o tempo para descarregar a mercadoria, o tempo total gasto na rota é de 9 horas e 50 minutos. Os dados estão apresentados no Quadro 7:

**Quadro 7 - Tempo e volume da rota 04**

ROTA 04		
CIDADES	VOLUME (litros)	TEMPO DE DESCARREGAMENTO (min)
Angicos	-	-
Rua Érico Veríssimo	8.470	65
Av. Solange	1.000	20
Santa Maria	950	18
Caiçara do Vento	1.240	20
Riachuelo	1.550	25
São Paulo do Potengi	1.725	35
Angicos	-	-
Total	14.935	183

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na quinta e última rota, o primeiro ponto a ser tocado pela rota é o A2, pois embora o mesmo ponto estando presente na rota anterior, sua demanda não foi totalmente atendida, fazendo-se necessário incrementar o restante dos pedidos nesta rota. A rota total compreende os pontos A1 – A2 – A7 – A8– A1, conforme ilustrado na Figura 13, a seguir:

**Figura 13** - Processo de roteirização da rota 05

Fonte: Autoria Própria (2018)

A quinta rota é composta por três pontos de entrega. A rota inclui a cidade de São Paulo do Potengi, também presente na rota anterior, devido a sua restrição para entrega parcelada, a cidade solicita que a empresa entregue a mercadoria em duas vezes. Nesta rota, são utilizados apenas 28% da capacidade do veículo. O tempo necessário para completar as entregas desta rota é de 5 horas e 37 minutos de percurso, somado com o tempo para descarregar a mercadoria o tempo total gasto na rota é de 6 horas e 52 minutos. Os dados estão apresentados no Quadro 8:

**Quadro 8** - Tempo e volume da rota 05

ROTA 05		
CIDADES	VOLUME (litros)	TEMPO DE DESCARREGAMENTO (min)
Angicos	-	-
São Paulo do Potengi	1.725	35
Ruy Barbosa	1.290	20
Lagoa de Velhos	1.220	20
Angicos	-	-
Total	4.235	75

Fonte: Autoria Própria (2018)

Após aplicação do método de Varredura e definição das novas rotas, o próximo passo consiste em aplicar um método de melhoria para minimizar os percursos de cada uma das rotas.

#### 4.5.1 Melhoria das Rotas

Para otimizar as rotas propostas, aplicou-se a Heurística do Vizinho Mais Próximo. O método consiste em identificar as cidades mais próximas entre si, a partir do ponto de distribuição. Para a identificação das cidades mais próximas, foi construída a matriz de relação entre as distâncias no Software Rota Fácil. A matriz está disponível no Apêndice A.

O processo para redução de distância da rota 01, se inicia a partir do ponto de distribuição A1, nesse sentido o vizinho mais próximo a ele, é o ponto A4 e o processo segue até que o último ponto seja atendido, e retorne ao ponto de origem. O percurso total da rota melhorada foi reduzido em 32 km. Nesse sentido, o trajeto que diminuiria o total de quilômetros percorridos na Rota 01 deve ser seguido da seguinte forma: A1 > A4 > A13 > A19 > A21 > A11 > A1. A Tabela 7 apresenta as respectivas distâncias entre as cidades:

**Tabela 7-** Otimização da Rota 01

ROTA 01		
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (km)
Angicos	Pedra Preta	88
Pedra Preta	Lajes	37
Lajes	Bento Fernandes	27
Bento Fernandes	Av Boa sorte	90
Av. Boa Sorte	Rua Macaé	4
Rua Macaé	Angicos	187
<b>TOTAL</b>		433

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na segunda rota, o processo se inicia a partir do ponto A1, com destino ao ponto mais próximo, no caso o ponto A19, do ponto A19 identificou-se o ponto mais próximo a ele, e assim fez-se com toda a rota. Não houve redução de quilômetros com a aplicação da heurística na segunda rota, o valor se manteve igual ao resultado obtido no primeiro método. Nesse sentido, o trajeto da Rota 02 é descrito da seguinte forma: A1 > A19 > A17 > A13 > A14 > A15 > A11 > A1. A Tabela 8 apresenta as respectivas distâncias entre as cidades:

**Tabela 8-** Otimização da Rota 02

<b>ROTA 02</b>		
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (km)
Angicos	Av coronel Estevam	180
Av coronel Estevam	Rua Ferreira Nobre	2
Rua Ferreira Nobre	Rua Teotônio Freire	4
Rua Teotônio Freire	Rua Coronel Joaquim	1
Rua Coronel Joaquim	Rua João XXIII	2
Rua João XXIII	Rua Macaé	12
Rua Macaé	Angicos	187
<b>TOTAL</b>		<b>388</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

O mesmo processo utilizado para a rota anterior aplica-se a rota 03, o procedimento discorrerá a partir do ponto A1, até o ponto mais próximo a ele, o ponto A16 e assim por diante.

Nesse sentido, o trajeto da Rota 03 é descrito da seguinte forma: A1 > A16 > A12 > A18 > A1. A Tabela 9 apresenta as respectivas distâncias entre as cidades:

**Tabela 9 -** Otimização da Rota 03

<b>ROTA 03</b>		
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (km)
Angicos	Rua Dr Mário Negócio	179
Rua Dr Mário Negócio	Rua Érico Veríssimo	6
Rua Érico Veríssimo	Rua Dinarte	5
Rua Dinarte	Angicos	184
<b>TOTAL</b>		<b>374</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

O processo de melhoria da Rota 04, apresentou uma diferença de 41 km com relação a primeira proposta de rota. Neste sentido, o trajeto que diminuiria o total de quilômetros percorridos na Rota 04, deve ser seguido da seguinte forma: A5 > A6 > A10 > A2 > A22 > A12 > A1. A distância entre as cidades está descrita na Tabela 10:

**Tabela 10** - Otimização da Rota 04

<b>ROTA 04</b>		
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (km)
Angicos	Caiçara do Vento	84
Caiçara do Vento	Riachuelo	24
Riachuelo	Santa Maria	18
Santa Maria	São Paulo do Potengi	17
São Paulo do Potengi	Av Solange	70
Av Solange	Rua Érico Veríssimo	4
Rua Érico Veríssimo	Angicos	183
<b>TOTAL</b>		<b>400</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

O resultado da quinta rota apresentou uma redução significativa de 52 km. A sequência que diminuiria o total de quilômetros percorridos na Rota 05 é descrito por: A1 > A7 > A8 > A2 > A1. A Tabela 11 apresenta as respectivas distâncias entre as cidades.

**Tabela 11** - Otimização da Rota 05

<b>ROTA 05</b>		
Angicos	Ruy Barbosa	104
Ruy Barbosa	Lagoa de Velhos	32
Lagoa de Velhos	São Paulo do Potengi	26
São Paulo do Potengi	Angicos	122
<b>TOTAL</b>		<b>284</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

Após a aplicação da heurística, pode-se observar a redução de quilômetros percorridos nas rotas 1, 4 e 5. Vale salientar que a demanda semanal de cada uma das rotas continuará a mesma, a aplicação do método mudará apenas a ordem dos pontos visitados.

#### 4.6 DISCUSSÃO

Após a definição das rotas propostas, realizou-se uma análise comparativa entre o plano atual de rotas e o plano proposto. Na rota atual, para que todos os pontos sejam atendidos, é necessário que o veículo se desloque durante os 6 dias da semana, enquanto a proposta para o novo plano de rotas sugere que o mesmo realize as entregas em apenas 5 dias. A Tabela 12 exibe a análise comparativa entre o plano de rotas atual e o proposto, considerando a utilização das distâncias percorridas pelo veículo:

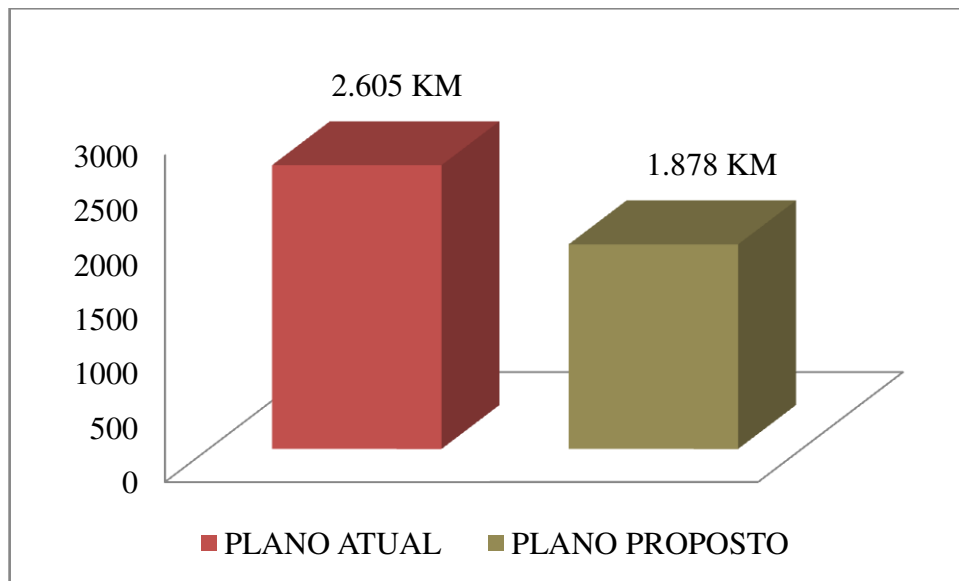
**Tabela 12-** Comparativo utilizando as distâncias

	<b>PLANO ATUAL</b>	<b>PLANO PROPOSTO</b>
	Total percorrido (km)	Total Percorrido (km)
Rota 1	512	433
Rota 2	419	388
Rota 3	380	374
Rota 4	502	400
Rota 5	411	284
Rota 6	381	-
<b>Total</b>	<b>2605</b>	<b>1879</b>

Fonte: Autoria Própria (2018)

Considerando a diminuição de uma das rotas, pode-se dizer que haverá melhorias após a aplicação do método. A excessiva quantidade de dias da rota é uma consequência da não utilização adequada da capacidade do veículo, que será analisada a seguir. De acordo com os dados da Tabela, houve redução de 726 km, ilustrado no Gráfico 1.



**Gráfico 1 - Análise comparativa das distâncias**

Fonte: Autoria Própria (2018)

Considerando que o veículo Mercedes-Benz MB 1620 consome em média 3,5 km por litro de combustível e os valores atuais dos postos onde comumente o veículo abastece tem a seguinte média de preço: Posto 1= R\$ 3,94; posto2= 3,79; e posto 3=4.05. Desta forma, o custo médio por litro de combustível é R\$ 3,92. O impacto monetário causado pelo plano de rotas proposto apresenta uma economia semanal estimada em R\$ 813,12, correspondendo a um valor aproximado de R\$ 39.029,76 ao ano.

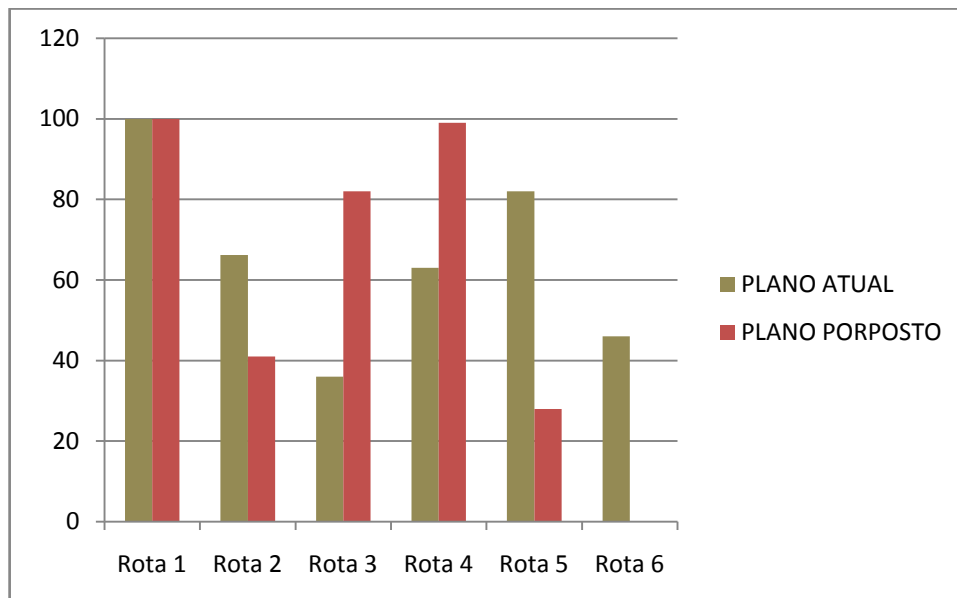
Os custos atuais da empresa com transporte estão estimados em R\$ 2.9176 reais por semana. Com o plano proposto de rotas, essa economia representaria uma redução de aproximadamente 27,91% dos custos logísticos de Transporte. Nesse contexto, observa-se que o resultado traria impactos significativos na redução dos custos logísticos da empresa. Tendo em vista a importância de otimizar a capacidade do veículo, uma vez que a baixa utilização do recurso incidirá no acréscimo de mais dias para atender a demanda, a Tabela 13 exhibe a análise comparativa entre o plano de rotas atual e o proposto, considerando a utilização da capacidade do veículo.

**Tabela 13-** Comparativo da utilização da capacidade do veículo

	<b>PLANO ATUAL</b>	<b>PLANO PORPOSTO</b>
	Utilização da capacidade (%)	Utilização da capacidade (%)
Rota 1	100	100
Rota 2	66	41
Rota 3	36	82
Rota 4	62.6	99.6
Rota 5	82	28
Rota 6	46	-
<b>Total</b>	-	-

Fonte: Autoria Própria (2018)

Vale salientar que em algumas das rotas não foi possível aproveitar a utilização máxima da capacidade do veículo devido à restrição de tempo de jornada de trabalho dos motoristas, pois, em algumas das rotas, caso fosse adicionado mais um ponto ao roteiro, excederia o tempo limite disponível para as entregas. Nesse contexto, buscou-se utilizar de forma eficiente a capacidade do veículo. O Gráfico 2, ilustra a utilização da capacidade do veículo em cada uma das rotas:

**Gráfico 2 -** Análise comparativa da utilização da capacidade

Fonte: Autoria Própria (2018)

Vale salientar que existem outros métodos adequados para solucionar o problema, como a técnica de agrupamento difuso usada por Ewbank, Wanke e Hadi-venecheh (2015), mas devido à simplicidade e agilidade que o método de Varredura sugere, o mesmo foi escolhido.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário atual globalizado exige mudanças e aprimoramentos nas atividades organizacionais, dificilmente uma empresa se mantém no mercado sem a busca por inovações em seus processos. Nesse contexto, melhoramento nos processos logísticos, bem como as técnicas utilizadas para roteirização de veículos, mostram-se peças fundamentais para permanência das empresas no mercado.

Nesse sentido o presente trabalho teve como objetivo, estruturar um plano de rotas adequado para uma empresa de laticínios situada na cidade de Angicos/RN. Diante dos dados obtidos sobre o plano atual de rotas, elaborado de forma empírica, mostrando ineficiência devido à subutilização da capacidade do veículo disponível para as entregas e fazendo com que este se desloque por mais dias na semana para atender toda a demanda, foi observado que a empresa necessitava de um plano estruturado de rotas.

Desta forma, utilizou-se o método de Varredura para definição de novas rotas diárias e, em seguida, a Heurística do Vizinho Mais Próximo foi aplicada para melhoria das rotas, a fim de diminuir os percursos. A aplicação da heurística permitiu a diminuição de uma das rotas, respeitando as restrições de capacidade do veículo e da jornada de trabalho do motorista.

Com base na rota atual da empresa, o veículo percorre 2605 km por semana, que corresponde a um custo de aproximadamente R\$ 2.917,60 com combustível. Considerando a aplicação do novo plano de rotas na empresa, ao invés de percorrer 2.605 quilômetros, o veículo passaria a percorrer apenas 1.878 quilômetros por semana. O Custo de transporte para realizar o novo percurso seria de R\$ 2.103,36. A economia monetária anual com a implantação da rota proposta é de aproximadamente R\$ 39.083,52. Em termos percentuais esse valor representa uma redução de 27,91 % dos custos logísticos.

Além disso, considerando que o veículo designado para a rota é o que possui a maior capacidade dentre os demais veículos da frota, e que com a redução de um dia na nova proposta de programação de rotas, tanto o veículo quanto o motorista e seus ajudantes podem ser alocados para outras atividades e funções.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

- Proposição de novas rotas alternativas, abordando outros algoritmos heurísticos e resoluções computacionais;
- Elaboração de planos de roteirização referente às outras rotas realizadas pela empresa, que não fazem parte do escopo desta pesquisa.

## REFERENCIAS

- Apostila de Custos Logísticos. FARIA, Ana Cristina de. COSTA, Maria de Fátima Gameiro da. **Gestão de Custos Logísticos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos** – Planejamento, Organização e Logística Empresarial. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BELFIORE, P.; COSTA, O.; FAVERO, L. P. Problema de Estoque e Roteirização: revisão bibliográfica. **Produção**, v.16, n.3, 2006, pp. 442-454.
- BODIN, L.D. Twenty Yearsof Routingand Scheduling. **Operations Research**, 38, 4, 571- 574. 1990.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da Cadeia de Suprimento**. Tradução Equipe do Centro de Estudos em Logística; Adalberto Ferreira das Neves; coordenação da revisão técnica Paulo Fernando Fleury, César Lavalle. São Paulo: Atlas, 2001.
- CAMPOS, Guilherme Guidolin de; YOSHIZAKI, Hugo Tsugunobu Yoshida; BELFIORE, Patrícia Prado. Algoritmos Genéticos e Computação Paralela para Problemas de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas. **Gestão & Produção**, São Paulo, v. 13, n. 2, p.271-281, ago. 2006.
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. (2010). <http://www.cscmpo.org>. Acesso em 07.08.2018
- CUNHA, C. B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. **Transportes**, v. 8, n.2, 2000. pp. 51-74.
- CUNHA, C.B. **Contribuição à Modelagem de Problemas em Logísticas e Transportes**. 2006. 315 p. Tese de Livre Docência em Logística e Sistemas de Transporte – Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.
- EWBANK, Henrique; WANKE, Peter; HADI-VENCHEH, Abdollah. An unsupervised fuzzy clustering approach to the capacitated vehicle routing problem. **Neural Computing And Applications**, [s.l.], v. 27, n. 4, p.857-867, 10 abr. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-015-1901-4>.
- FARIA, Ana Cristina de; COSTA, Maria de Fátima Gameiro da. **Gestão de Custos Logísticos: Custeio Baseado em Atividade (ABC), Balanced Scorecard (BSC) e Valor Econômico Agragado (EVA)**. São Paulo: Atlas. 2005. 431 p.
- FISHER, M.; JAIKUMAR, R. A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing. **Networks**, v.11, p.113-129, 1981

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

FREITAS, Lauro. A importância da Eficiência Logística para o Posicionamento Competitivo das Empresas no Mercado Internacional. **Revista de Administração**. União Metropolitana de Educação e Cultura (UNIME). 2003.

GAREY, M.R; JOHNSON, D.S. . **Computers and Intractability: A guide to the Theory of NP-Completeness**. W.H. Freeman, San Francisco. 1999.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

Hurkens, C.A.J., Woeginger, G.J., "On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem", **Operations Research Letters**, 32, 1–4. 2004.

JUNIOR, C. A. M.; NUNES, R. V.; DE ASSIS, C. W. C.; FONSECA; R. C.; ADRIANO, N. A.; SANTOS, G. P. **O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará**. Uberlândia, XX Congresso Brasileiro de Custos, nov. 2013. Disponível em: Acesso em 14/10/2018.

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. **Internacional Transactions in Operational Research**. V. 7, n4/5, p. 285-300, 2000.

Martins, Luiz Fernando Ferreira. **Roteirização de Veículos de cargas perecíveis usando sistemas de informações geográficas**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro. v. 31, n. 3, p.1-16, out. 2014.

MASIERO, L. S. **Proposta de dimensionamento de frota para uma transportadora**. 2008. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MATOS JUNIOR, Carlos Alberto de; NUNES, Rosângela Venâncio; ASSIS, Charles Washington Costa de. **O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará**. Xx Congresso Brasileiro de Custos. Uberlândia, p. 1-16. 18 nov. 2013.

MELO, A.C.S.; FERREIRA FILHO, V.J.M. **Sistemas de roteirização e programação de veículos**. Pesquisa Operacional. vol.21 nº2 Rio de Janeiro 2001.

NICHOLSON, T. **Optimization in industry**, optimization techniques. Longman Group Limited, v.1, 1971.

- NOVAES, A.G. **Logística e gerenciamento na cadeia de distribuição**: estratégia, operação e avaliação. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- NURCAHYO, Gunadi; ALIAS, Rose Alinda; SHAMSUDDIN, Sm Mamyam. Sweep Algorithm in Vehicle Routing Problem For Public Transport. **Jurnal Antarabangsa**. Malaysia, p. 51-64. fev. 2012.
- OLIVEIRA, Sebastião de; OLIVEIRA, Alessandra Perech de; LIMA, Lúcia Maria Schutz de. O48g **Gestão de transportes**. Londrina: Editora
- PALHARES, Rafael de Azevedo. **Estudo de roteirização de veículos: aplicação do problema do caixeiro viajante em uma distribuidora de laticínios situada em angicos/rn**. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2017.
- PATTON, M. G. **Qualitative Research and Evaluation Methods**, 3 ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2002.
- PERES, Carolina; NUNES, Frederico de Castro. **O que os dados do IBGE dizem sobre o leite**. Revista mais leite, nº 06. São Paulo: Editora Rocha, 2011.
- PORTER, Michael E.. **Vantagem competitiva**: criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1991.
- PRESTES, Álvaro Nunes, **uma análise experimental de abordagens heurísticas aplicadas ao problema do caixeiro viajante**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- ROSENKRANTZ, D.; STEARNS, R. e Lewis, P. (1977) **An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem**. *SIAM J. Comp.*, v,p. 563-581
- SILVA, Bruno de Castro Honorato. **Otimização de rotas utilizando abordagens heurísticas em um ambiente Georeferenciado**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado)-Curso de Ciência da Computação Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2013.
- SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 1 ed. São Paulo. Atlas, 1997.
- Souza, Anderson Willian; Barzan de Matos Amaral, Daniel; Kenji Oi, Ricardo; Batista Carneiro, João; Fontebasso Neto, José. **Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas** *Exacta*, vol. 14, núm. 1, 2016, pp. 1-10 Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil.
- TEIXEIRA, Levi Lopes. **Roteiro de Estudos de Pesquisa Operacional**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: . Acesso em: 02 dez. 2015.
- THIOLLENT, M. (2009). **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva



TOIGO, Rafael; FILHO, Adhemar M. Valle; LAVRATTI, Fábio Beylouni. **Sistema de Rotritização de Entregas**. Universidade do Vale do Itajaí, v. 32, nº 56/60. 2010.

VITOR, Adriano. **Determinação do Roteamento dos atendimentos de uma empresa de comercialização agrícola**- variações de soluções heurísticas. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, 2007.

WU, L. **O Problema de Roteirização Periódica de Veículos**, 2007. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo. 2007, p. 5-7.

Znamensky, A. e Cunha, C. B. **Um modelo para o problema de roteirização e programação do transporte de deficientes**. XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, São Carlos, 1998.

## **Apêndice A**

---

**Matriz de relação de distância entre as cidades**

