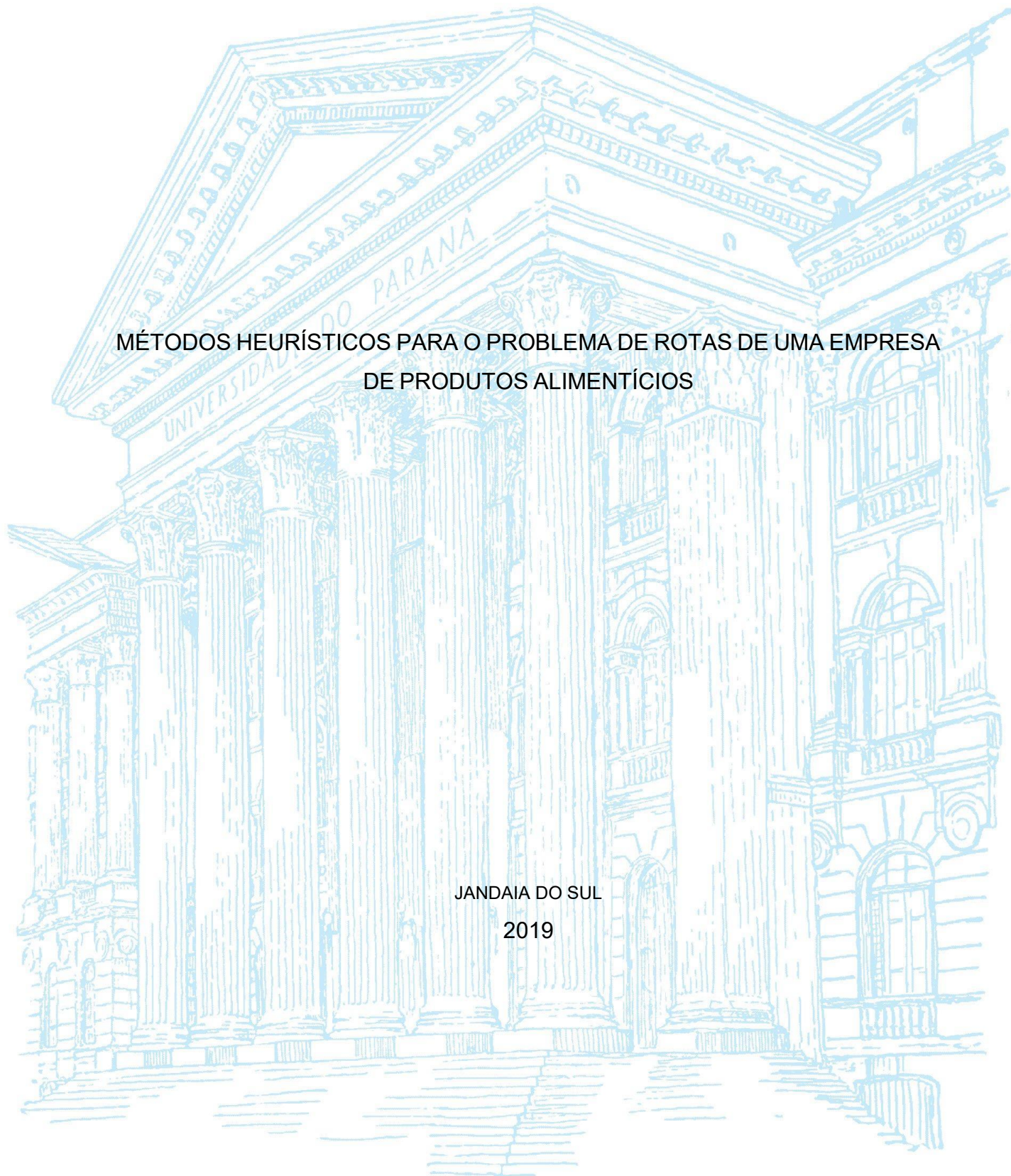


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA KAROLINE HESCK

MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA O PROBLEMA DE ROTAS DE UMA EMPRESA
DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS

JANDAIA DO SUL
2019



ANA KAROLINE HESCK

MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA O PROBLEMA DE ROTAS DE UMA EMPRESA
DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus de Jandaia do Sul, Universidade Federal Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Jair da Silva.

JANDAIA DO SUL

2019

Hesck, Ana Karoline
H583m Métodos heurísticos para o problema de rotas de uma empresa de produtos alimentícios. / Ana Karoline Hesck. – Jandaia do Sul, 2019. 46 f.

Orientador: Prof. Dr. Jair da Silva
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia de Produção.

1. Pesquisa operacional. 2. Rotas. 3. Aplicativo. 4. Ramo alimentício. I. Silva, Jair da. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 014/2019/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: ANA KAROLINE HESCK, JAIR DA SILVA
ASSUNTO: TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA O PROBLEMA DE ROTAS DE UMA EMPRESA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS.

Autor(a): Ana Karoline Hesck

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Jair da Silva (Orientador)
Juliana Verga Shirabayashi
Landir Saviniec



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/12/2019, às 11:22, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/12/2019, às 13:22, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LANDIR SAVINIEC, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/12/2019, às 16:46, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador 2371923 e o código CRC B0DD222E.

Referência: Processo nº 23075.079917/2019-87

SEI nº 2371923

AGRADECIMENTOS

À meu orientador, Prof Dr. Jair da Silva, por todo o tempo e valiosas contribuições dedicadas ao meu projeto de pesquisa.

À minha família, pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas conquistas.

Aos meus amigos de trabalho e parceiros de pesquisa, por toda a ajuda e apoio durante a construção do projeto.

À meus amigos, que sempre estiveram presentes com palavras de incentivo e conforto, contribuindo para as lembranças de ótimos momentos durante a graduação.

Ao Curso de Engenharia de Produção, à Universidade Federal do Paraná, e a todos os professores do meu curso, por todo o conhecimento, recursos e apoio oferecido.

“Tudo deveria se tornar o mais simples possível,
mas não simplificado.”

Albert Einstein

RESUMO

Com o avanço de tecnologias e a crescente competitividade no âmbito empresarial, tornou-se necessária a minimização nos custos de mercadorias, para que empresas, principalmente as de pequeno porte, possam continuar competindo no mercado. Estudos indicam que boa parte desses custos são provenientes de despesas logísticas, que podem ser otimizados utilizando métodos de Pesquisa Operacional. Uma abordagem eficiente para a modelagem de tais problemas é o Problema do Caixeiro Viajante, que visa encontrar a menor rota entre um determinado conjunto de localidades por meio de técnicas de Pesquisa Operacional. Neste trabalho, foi realizado um estudo de caso em rotas de entrega pertencentes a uma empresa de pequeno porte do ramo alimentício, localizada no Vale do Ivaí. Devido as características específicas do problema abordado, onde as rotas possuem constantes modificações, decidiu-se elaborar um aplicativo para facilitar a operação logística da empresa. Com o uso do mesmo, nas rotas estudadas, foram obtidas melhorias de, em média, 13,09% em suas distâncias. Demonstra-se assim uma oportunidade de desenvolvimento de ferramentas de otimização, levando o conhecimento acadêmico às empresas de pequeno e médio porte.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Rotas, Aplicativo, Ramo Alimentício.

ABSTRACT

With the advancement of technologies and increasing competitiveness in the business environment, it has become necessary to minimize the costs of goods, so that companies, especially small ones, can continue to compete in the market. Studies indicate that most of these costs come from logistics expenses, which can be optimized using Operational Research methods. An efficient approach to modeling such problems is the Traveling Salesman Problem, which aims to find the shortest route between a given set of locations through Operational Survey techniques. In this paper, a case study was conducted on delivery routes belonging to a small food business located in the Ivaí Valley. Due to the specific characteristics of the approached problem, where the routes have constant modifications, it was decided to develop an application to facilitate the logistics operation of the company. With the use of the same, on the studied routes, improvements were obtained, on average, 13.09% in their distances. This demonstrates an opportunity to develop optimization tools, bringing academic knowledge to small and medium sized companies.

Keywords: Traveling Salesman, Operational Research, Heuristic Methods.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- CAMPOS DA LOGÍSTICA.....	16
FIGURA 2- FLUXOGRAMA DA PO.	18
FIGURA 3- CIDADES A SEREM VISITADAS PELO VIAJANTE.	20
FIGURA 4- POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA.	20
FIGURA 5- ÓTIMOS LOCAIS.	24
FIGURA 6- LINGUAGEM VBA.	25
FIGURA 7- LINGUAGEM JULIA.	26
FIGURA 8- FLUXOGRAMA DO TRABALHO.....	29
FIGURA 9- PROCESSO DE COLETA DE DADOS.	31
FIGURA 10- FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO DAS COORDENADAS.	34
FIGURA 11- FLUXOGRAMA DE RESOLUÇÃO.	35
FIGURA 12- INTERFACE COM O USUÁRIO.....	37
FIGURA 13- LISTA DE CIDADES 1	38
FIGURA 14- LISTA DE CIDADES 2.....	38
FIGURA 15- LISTA DE CIDADES 3.....	38
FIGURA 16- LISTA DE CIDADES 4.....	38
FIGURA 17 – ROTA REALIZADA 1.	39
FIGURA 18 – ROTA REALIZADA 2.	39
FIGURA 19 – ROTA REALIZADA 3.	39
FIGURA 20 – ROTA REALIZADA 4.	39
FIGURA 21 – ROTA OTIMIZADA 1.	40
FIGURA 22 – ROTA OTIMIZADA 2.	40
FIGURA 23 – ROTA OTIMIZADA 3.	40
FIGURA 24 – ROTA OTIMIZADA 4.	40
FIGURA 25 – ESTADO REAL OTIMIZADO 1.....	41
FIGURA 26 – ESTADO REAL OTIMIZADO 2.....	41
FIGURA 27 – ESTADO REAL OTIMIZADO 3.....	41
FIGURA 28 – ESTADO REAL OTIMIZADO 4.....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- COMPOSIÇÃO DAS ROTAS	30
TABELA 2- REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ DISTÂNCIA	34
TABELA 3- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	39

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

API - INTERFACE DE PROGRAMAÇÃO DE APLICAÇÕES
CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS
PO - PESQUISA OPERACIONAL
PCV - PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE
VBA - *VISUAL BASICS FOR APPLICATIONS*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	O PERFIL ECONÔMICO DO PARANÁ.....	14
2.2	LOGÍSTICA	15
2.3	PESQUISA OPERACIONAL	16
2.4	O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	19
2.4.1	Descrição e Formulação matemática	21
2.4.2	Métodos de resolução	22
2.5	MÉTODOS HEURÍSTICOS.....	22
2.6	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO VBA.....	24
2.7	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JÚLIA.....	25
2.7.1	Heurísticas para o PCV	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	28
3.3	ANÁLISE DOS DADOS.....	30
3.4	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	32
3.4.1	Obtenção das coordenadas	33
3.4.2	Criação da Matriz	34
3.4.3	Resolução do Problema	35
3.4.4	Interface com o usuário	37
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

As empresas de pequeno porte são responsáveis por grande parte do desenvolvimento econômico do Brasil, bem como pela criação de melhorias em seu mercado. Geralmente, são tais empresas que aderem mais facilmente a novas formas de negociações e se adaptam mais facilmente às mudanças constantes de tendência do mercado. Apesar de sua influência na economia, elas podem enfrentar dificuldades financeiras que muitas vezes, as fazem perder sua competitividade quando comparado a empresas de grande porte (MAÇANEIRO; CHEROBIM, 2011). Nestas empresas qualquer desperdício de capital pode vir a ser uma perda de oportunidade, um risco de perder negócios, ou até mesmo, um impedimento de sua sobrevivência no mercado.

No Paraná, segundo dados de 2018 da CNI- Confederação Nacional Das Indústrias, 94% das indústrias são de micro e pequeno porte, onde estão concentrados cerca de 35% dos empregos industriais (CNI, 2018). O estado conta com posicionamento estratégico com relação ao escoamento de mercadorias, devido a sua proximidade a consumidores nacionais, além de possuir o Porto de Paranaguá, responsável por grande parte da exportação do país. Apesar disso, os custos de transporte ainda representam parte significativa no custo final do produto, gerando a preocupação pela melhoria de tal processo.

Neste contexto, existe forte carência na utilização de métodos de otimização em geral (BARCELOS; EVANGELISTA; SEGATTO, 2012), e isto ocorre principalmente pela falta de conhecimento sobre o assunto, recursos empresariais, levando as empresas a tomarem decisões sem planejamento. Tais métodos são de grande auxílio na resolução de problemas, por intermédio do uso de modelos matemáticos, onde se obtém a melhoria ou a otimização de determinado cenário.

Uma boa abordagem para o problema de rotas de veículos é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), atraindo diversos pesquisadores de inúmeras áreas, devido sua diversificada possibilidade de aplicações (REINELT, 2001). O problema, que consiste basicamente em encontrar a menor rota para visitar várias cidades com a menor trajetória possível, possibilita melhorias na eficiência da logística de cadeias produtivas, minimizando a distância, o tempo, e

consequentemente os custos, garantindo assim, uma melhor aplicação de recursos de transporte.

Sendo assim, na presente monografia será apresentada a construção de um aplicativo de utilização simples e intuitiva, em uma ferramenta amplamente utilizada em empresas atuais. Tal estudo surgiu a fim de facilitar a tomada de decisões quanto à rotas de entrega de empresas de pequeno a médio porte, que possuem grande carência quanto a acesso a softwares desse tipo.

Para a realização de testes, foi utilizado um estudo de caso em uma empresa alimentícia de pequeno porte localizada no Vale do Ivaí. A empresa possui rotas de entrega de produtos em todo o estado do Paraná, com clientes fixos, porém com periodicidades de entregas diferentes, tornando o planejamento de rotas um processo dinâmico ao longo do tempo.

1.1 OBJETIVOS

Nesta sessão, serão apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, e também, sua justificativa.

1.1.1 Objetivo geral

O estudo visa a otimização de rotas de entrega de uma empresa do ramo alimentício de pequeno porte, por meio da utilização de métodos de otimização, visando redução em seu tempo de entrega, na quilometragem percorrida, e consequentemente em seus custos operacionais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantamento bibliográfico do problema de rotas e o caixeiro viajante.
- Levantamento bibliográfico de softwares, técnicas de otimização e de trabalhos relacionados a rotas.
- Desenvolvimento de aplicativo de simples utilização.
- Testes computacionais e análise dos resultados obtidos.
- Comparação com resultados empíricos utilizados atualmente.

1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de programas computacionais em planejamento de rotas é baixíssima, e em sua maioria, tais rotas são geradas empiricamente, seja por falta de conhecimento sobre o tema, que fora do âmbito acadêmico é pouco divulgado, ou por falta de capital, pois os softwares voltados para tais fins são de alto custo. É conhecido que o uso de sistemas de otimização na eficiência da utilização de recursos de transporte podem minimizar o tempo de percurso, e muitas vezes otimizar a quantia de veículos necessárias, acarretando assim, em menores custos na operação de cadeias de distribuição.

Os custos de transporte podem representar cerca de 20% do custo final de produtos comercializados. Então, pode ocorrer grande economia quando se utiliza de métodos computacionais para planejar melhores rotas de distribuição de produtos. São constatadas em média cerca de 5% a 20% de diminuição no custo total de transporte, se empregados métodos de otimização em redes de distribuição (TOTH; VIGO, 2002).

No cenário onde estes custos representam parte significativa no custo final do produto, a otimização é de extrema importância, visando minimizar ao máximo desperdícios. Além disso, a distribuição logística ineficiente acaba gerando maior poluição, e conseqüentemente, maiores impactos ambientais. Então, é de extrema importância avaliar os custos empregados nas rotas e a viabilidade das mesmas.

Outro fator relevante foi a contribuição acadêmica do estudo em questão, pois foi possível utilizar os conhecimentos adquiridos da Pesquisa Operacional em um problema com aplicação abrangente, buscando contribuir com os futuros estudos quanto ao tema abordado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O PERFIL ECONÔMICO DO PARANÁ

É cada vez mais desafiador, e sobretudo necessário, a criação de ambientes em que as pessoas possam se aperfeiçoar, não somente financeiramente, mas principalmente potencializar-se em seu desenvolvimento pessoal. No âmbito empresarial, é crescente a quantidade de empresas preocupadas em proporcionar a seus clientes e colaboradores comodidade e satisfação. Tais necessidades tornaram-se básicas ao manterem-se ativos e competitivos no mercado (SOUZA et al., 2018).

Comparado com os demais estados, o Paraná possui diversas vantagens competitivas, como boa localização geográfica, onde possui posicionamento estratégico para escoar mercadorias tanto internamente, devido a proximidade a consumidores nacionais, quanto para exportações, onde o Porto do Paranaguá é responsável por boa parte do escoamento de mercadorias do país. Além disso, possui grande disponibilidade de mão de obra qualificada, baixos custos e boa infraestrutura de energia elétrica e comunicações (LOURENÇO, 2014).

Um levantamento feito em 2018 pela CNI no Paraná, aponta que existem cerca de 42.100 empresas industriais no estado, e destas, 94%, ou 39.480, são de pequeno ou médio porte, e é nelas que estão concentrados cerca de 35% dos empregos industriais, tornando-as parte essencial da economia do estado.

Em empresas de pequeno porte, desperdício de capital pode vir a ser uma perda de oportunidade, um risco de perder negócios, ou até mesmo, um impedimento para sua sobrevivência no mercado, pois muitas vezes trabalham com margens de lucro e capital reduzidos em seus primeiros anos de existência. Essas empresas são responsáveis por grande parte do desenvolvimento do país, por meio da criação de novas tecnologias, inovações, e a promoção de um ambiente de concorrência, onde cada vez mais existe a necessidade de melhorias para manter-se no mercado. Apesar de sua grande importância, podem enfrentar dificuldades financeiras que muitas vezes, as fazem perder competitividade quando comparado a empresas de grande porte (MAÇANEIRO; CHEROBIM, 2011).

2.2 LOGÍSTICA

A palavra logística tem sua origem no século XVII, onde era utilizada por generais de tropas de exércitos franceses, que possuíam preocupações quanto as estratégias de movimentação, acampamento e alocações de suas tropas. Seu significado era “a arte prática de movimentar exércitos”. Durante a Segunda Guerra mundial, devido à necessidade de vantagens estratégicas, a logística passou a ser mais estudada, considerando que a necessidade de gerenciamento de instalações, materiais de apoio e suprimentos era vital para as unidades de combate. O principal objetivo dos líderes de tropas não era a redução de custos, porém estratégias parecidas são utilizadas em empresas atuais, onde são cada vez mais necessários preços competitivos e vantagens em relação a concorrentes (REIS, 2004).

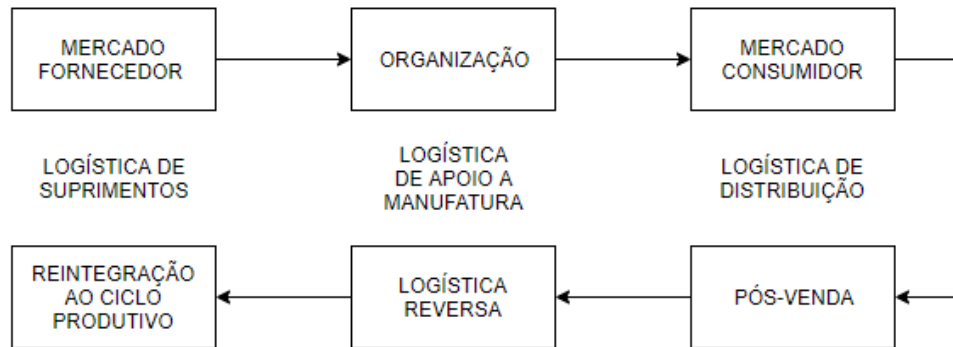
É também evidente que, desde o início da história registrada, havia a necessidade de transportar bens de consumo de um local para o outro, visto que não eram produzidos em seu local de consumo, nem no momento em que os consumidores necessitavam. No século XXI, devido a mudança de escala das transações de mercado e a maior disparidade de tipos de produções a nível global, onde cada região é especializada em determinada produção, os desafios quanto ao transporte são extremamente complexos e com grande impacto no preço final do produto. Enquanto são aplicadas melhorias na qualidade de redes de transporte, são abertas maiores possibilidades de negócios, acarretando em melhores oportunidades de crescimento empresarial (BALLOU, 2007).

A transição para tal cenário teve seu início, segundo Moura (2006), por volta do final dos anos de 1950, juntamente com os estudos de custos logísticos. A necessidade surgiu, pois as empresas passaram a dar importância à satisfação das necessidades dos clientes, que estavam adquirindo novos hábitos de consumo, exigindo melhores preços, mais qualidade e menores tempos de entrega.

E foi a partir dos anos de 1980, segundo Costa (2010), com o início da globalização e ainda maiores competitividades de mercado, que a logística empresarial passou a se preocupar com três campos (representados na FIGURA 1): a logística de suprimentos, que facilita a gestão principalmente de recursos escassos; a logística de apoio à manufatura, considerando movimentações totais

de materiais; e a logística de distribuições físicas, que pode chegar a representar cerca de dois terços dos custos logísticos totais.

FIGURA 1- CAMPOS DA LOGÍSTICA.



FONTE: IZIDORO (2016).

Por sua ampla área de atuação, e pela sua grande gama de ferramentas para otimização de problemas, a logística oferece às empresas ótimas opções de administração, trazendo grande vantagem competitiva. Vantagem essa que se dá pela possibilidade de redução no custo final de seus produtos, que se tornou essencial para a sobrevivência das empresas devido às características de um mercado globalizado (LEITE et al., 2017).

2.3 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (PO), segundo Tiwarie Sandilya (2006), teve seu início durante a Segunda Guerra mundial, utilizada na administração de recursos escassos em tempos de combates. Era utilizada por equipes envolvidas em resolver problemas de missões de guerra, com planejamento de escolha dos melhores aviões para determinada situação e para o planejamento de suas manutenções, e com estudos de melhoria nas possibilidades de destruição de submarinos.

Com a chegada da era industrial, passou a ser utilizada em indústrias, possuindo grande atuação em tomadas de decisão, levando em consideração incertezas futuras, restrições de tempo, de distâncias e de custos.

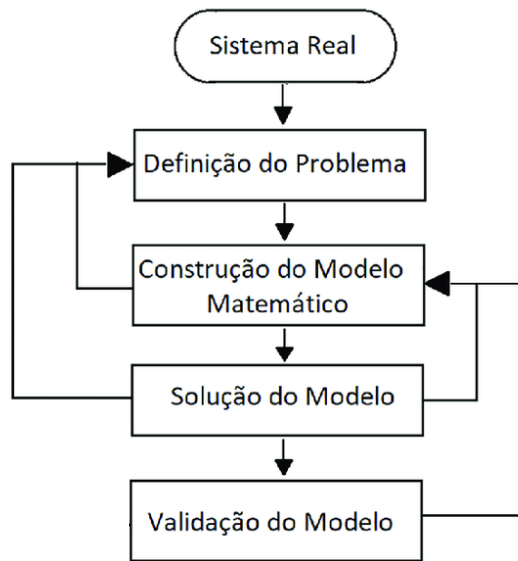
As técnicas da PO utilizam como base uma união de critérios lógicos e técnicas matemáticas para a obtenção dos resultados. Possui seus estudos nos mais variados campos, como na matemática, economia, estatística e informática. Porém, suas aplicações vão muito mais além, podendo ser aplicada em problemas complexos e de grande porte, ou até mesmo em problemas práticos do cotidiano (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

Devido às características econômicas do mercado em que as empresas se encontram inseridas, não podem existir falhas em tomadas de decisões, pois as mesmas podem ocasionar grandes perdas ou resultados insatisfatórios. Então, é de extrema importância que administradores possuam conhecimento quanto a ferramentas que auxiliam em processos decisórios, distanciando-se de conclusões empíricas, muitas vezes distantes da melhor alternativa.

A PO possibilita análises de problemas de grande complexidade, buscando sua otimização. Assim, proporciona aos gestores a possibilidade de interpretação de cálculos matemáticos, formulados a partir de análises da situação real, onde a solução é otimizada, melhorando assim, os resultados organizacionais (BARCELOS; EVANGELISTA; SEGATTO, 2012).

Cada problema de PO possui suas particularidades, porém, segundo Fávero e Belfiore (2013), durante a realização de estudos em PO em geral são necessárias etapas lógicas, a fim de que a estruturação esteja bem definida, garantindo assim, bons resultados. A FIGURA 2 apresenta um fluxograma da esquematização de tais etapas. Por vezes se faz necessária a conferência de etapas anteriores, para assegurar a confiabilidade do modelo. Porém tal esquematização pode sofrer alterações, dependendo da área abordada.

FIGURA 2- FLUXOGRAMA DA PO.



Fonte: BELFIORE E FÁVERO (2013, p. 6).

- a) Definição do problema: Nesta fase é definido o escopo do problema a ser investigado, as alternativas da decisão, determinação dos objetivos de estudo e as limitações do mesmo;
- b) Construção do modelo: Tradução do problema real em um modelo matemático, nesta fase é identificado o nível de dificuldade do problema, e é definido se a resolução será exata ou aproximada;
- c) Resolução do modelo: Nesta etapa usa-se métodos pré-definidos a fim de chegar em uma solução para o modelo matemático. Para modelos que seguem a Programação Linear, usa-se métodos exatos como Simplex, já para aqueles que a resolução exata é complicada, usa-se aproximações do ótimo com métodos heurísticos, que reduzem o tempo de processamento dos algoritmos em contrapartida ao ótimo;
- d) Validação do modelo: Nesta etapa busca-se realizar análises do projeto, para garantir que a aplicação real para o problema seja viável;

Ainda, para a construção dos modelos de PO, é necessária a identificação de três parâmetros:

- a) A função objetivo: é criada a partir das variáveis de decisão, e é responsável por buscar as soluções ótimas do problema. Ela pode ser de

maximização ou de minimização de custos, lucros, riscos, tempo, entre outros.

b) As restrições: são baseadas nas limitações do problema, representadas por meio de equações e de inequações, com base na situação apresentada.

c) Variáveis de decisão: são variáveis quantitativas, podendo assumir valores contínuos ou inteiros (ARAÚJO; LIMA; LIMA, 2017).

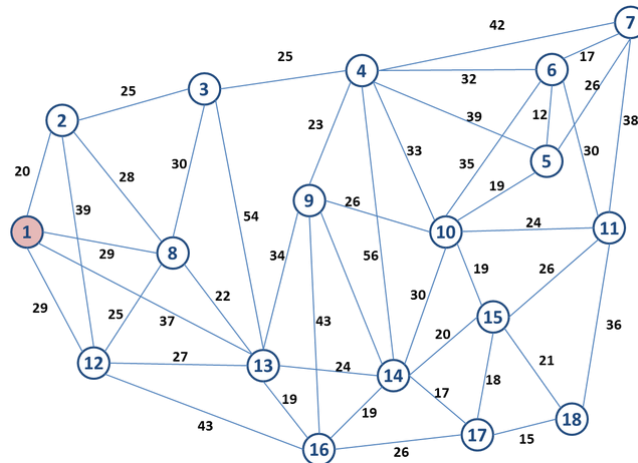
Para a obtenção de resultados confiáveis e seguros, é imprescindível que o modelo matemático seja fiel ao problema real, sem a presença de interferências, e apresentado de modo quantitativo. Os dados utilizados devem corresponder ao problema real, garantindo que qualquer resultado obtido possa ser utilizado no modelo real (ARENALES, et al. 2015).

2.4 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

Um problema clássico da PO é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), cujo objetivo é visitar um conjunto de cidades por meio de uma rota de custo, duração ou distância mínimos. Ele atrai diversos pesquisadores dos mais variados campos, devido a sua fácil formulação e diversas possibilidades de aplicação, tanto em teorias quanto em problemas práticos.

Sua definição clássica é conhecida, de maneira bem didática, como a seguinte: um viajante deseja sair de sua cidade de origem, visitar clientes em diversas cidades e retornar a seu local de origem. É ele quem define a ordem em que visitará as cidades, para que o custo total seja o menor possível. O problema pode ser modelado a partir de um grafo, conforme exemplificado na FIGURA 3, onde cada vértice representa uma cidade e cada aresta representa um caminho entre elas. O objetivo é encontrar o trajeto que minimize o custo, tempo ou distância total (ZOPI; TELLER; KASPI, 2016).

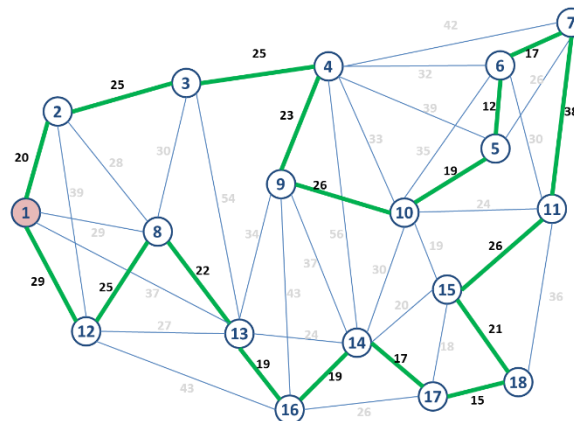
FIGURA 3- CIDADES A SEREM VISITADAS PELO VIAJANTE.



FONTE: PARDINI, 2015.

Abaixo, sua respectiva resolução, apresentada na FIGURA 4:

FIGURA 4- POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA.



FONTE: PARDINI, 2015.

Existem inúmeras pesquisas na área, porém, devido a sua complexidade, o problema ainda não é bem resolvido por métodos exatos quando o número de cidades é consideravelmente grande. Nesses casos, apesar de não garantirem uma solução ótima, pode-se recorrer a métodos heurísticos de resolução, que podem oferecer soluções satisfatórias ou próximas do ótimo (REINELT, 2001).

Na solução exata, uma das maneiras de resolução consiste em encontrar todas as soluções possíveis, e ao final, escolher a de menor distância entre elas. Tal tarefa se torna árdua até mesmo em computadores, pois o número de rotas

possíveis cresce exponencialmente a medida que o número de cidades aumenta (TAUFER; PEREIRA, 2011).

Já os métodos heurísticos possuem capacidade de resolução de problemas de grande porte, por adotarem as mais estratégias de resolução que não enumeram todas as possibilidades (HALIM; ISMAIL, 2017).

2.4.1 Descrição e formulação matemática

Considerando um conjunto de pontos representando n cidades, o PVC consiste na definição de uma rota que tem início em uma cidade, passa por cada cidade do conjunto apenas uma vez, e retorna à cidade inicial da rota, por meio da menor distância possível. A representação deste problema pode ser feita através de um grafo $G = (V, A)$, onde V é o conjunto de vértices representando as cidades e A o conjunto de arcos ou arestas que conectam cada par de cidades. A cada aresta é atribuído um valor c_{ij} , que é a distância da cidade i para a cidade j (CARVALHO, 2007).

Ainda segundo Carvalho (2007), a formulação matemática do problema é definida conforme as equações a seguir:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

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

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

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

Onde a função objetivo (1) garante a minimização do somatório das distâncias dentre as cidades da rota. Nela, x_{ij} são as variáveis de decisão, onde $x_{ij} = 1$ se a rota passa pela aresta (i, j) , e $x_{ij} = 0$, caso contrário.

A variável n representa o número de cidades no problema, S é um subconjunto. As restrições (2) e (3) garantem que o caixeiro entre e saia de cada

cidade. A restrição (4) garante a não existência de sub-rotas e a restrição (5) define x como uma variável binária.

2.4.2 Métodos de resolução

A descrição do PCV é simples, porém, ele pertence a categoria dos problemas NP-difíceis, para os quais não se conhecem algoritmos de resolução em tempo polinomial. Tal fato torna a resolução de problemas de grande porte por métodos exatos inviável na maioria dos casos (HALIM; ISMAIL, 2017).

Devido a grande variedade de problemas que podem ser modeladas pelo PCV, inúmeras abordagens são desenvolvidas, sendo exatas ou heurísticas. Para soluções exatas, são frequentemente utilizados o *branch-and-bound* e o *branch-and-cut*. Nos métodos heurísticos, existem diversos algoritmos que utilizam diversas técnicas e mostram geralmente bons resultados (CARVALHO, 2007).

2.5 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Heurísticas são algoritmos que objetivam encontrar soluções de problemas sem possuir a garantia de que será a melhor solução, pois não existem conhecimentos exatos quanto a seu comportamento. São utilizadas em sua maioria para resolução de problemas complexos empregando menor quantidade de recursos computacionais, diminuindo assim o tempo de processamento (SUCUPIRA, 2004).

A eficiência do método de resolução deve-se ao fato de que não existe a preocupação de percorrer todas as possibilidades a fim de encontrar a melhor solução. A busca baseia-se em critérios racionais e construtivos, e tem como maior objetivo encontrar caminhos factíveis, próximos ao ótimo, porém com tempo de processamento aceitável. Muitas vezes, a diferença entre a melhor solução obtida por métodos exatos e a obtida por um método heurístico não justifica o tempo e esforço computacional requerido para a resolução exata (FUCHIGAMI, 2005).

Para garantir seu funcionamento, as heurísticas podem possuir uma ou mais das seguintes técnicas básicas: a aleatoriedade, a gulosidade, o refinamento e a intensificação. A aleatoriedade permite que o algoritmo percorra as possíveis

soluções aleatoriamente, o que favorece encontrar boas soluções, e a gulosidade busca resolver o problema por meio de escolhas locais a fim de mover-se na direção dos ótimos locais. O método de refinamento, que geralmente trabalha associado a outro método, auxilia-os em sua busca por meio da identificação de bons padrões. Já a intensificação, ao se deparar com regiões propícias, que ao menos localmente parecem ser ótimas, reforça suas buscas a fim de obter o ótimo global (AGUIAR; MAURI; SILVA, 2018).

Segundo Fuchigami (2005), os métodos heurísticos também podem ser classificados entre construtivos e melhorativos.

a) Métodos construtivos, onde a solução pode ser obtida de forma:

Direta: segue-se um método previsível, que chegará sempre no mesmo resultado.

- Melhor sequência: a escolha de sequências locais não atrapalha a solução final e auxilia na criação de uma sequência global lógica e de boa qualidade.
- Junção das melhores: a junção de todas as sequências locais cria uma solução final próxima ao ótimo.

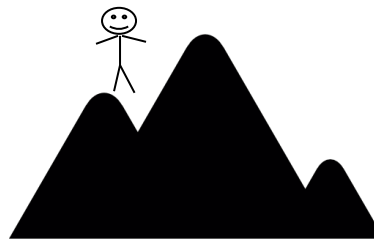
b) Métodos melhorativos, que podem ser classificados entre:

- Indiretos: não é possível seguir um método pré estabelecido e o tempo de processamento não é exatamente calculável.
- Alusão a mecanismos da natureza: a solução é dada por um método orgânico onde as soluções locais podem não ajudar a encontrar uma solução ótima.
- Utilização de um conjunto de métodos adaptados para o problema em questão, geralmente denominados como Meta-Heurísticas.

Para os algoritmos dos métodos heurísticos, é difícil identificar mínimos ou máximos globais, por isso podem existir casos onde, ao se deparar com um ótimo local, entende-se que esta é a melhor solução. Não existem critérios para encontrar um ótimo global, porém, para determinar se um ponto é um ótimo local, utilizam-se derivações, onde o sinal da primeira derivada nulo indica um ponto extremo, e a segunda derivada indica se o extremo é um máximo ou mínimo. O conceito pode ser exemplificado considerando o problema de escalar em uma montanha, em um dia com pouca visibilidade devido a neblina. É fácil perceber

que se está no topo de uma montanha, pois a qualquer direção, existe uma descida. Porém, não se sabe se está no topo da maior montanha ou apenas em uma das montanhas mais baixas da região, como na representação da FIGURA 5 (COLIN, 2007).

FIGURA 5- ÓTIMOS LOCAIS.



FONTE: O Autor (2019).

Para contornar tais problemas, foram desenvolvidas estratégias genéricas, baseadas em estudos realizados durante décadas, chamadas meta-heurísticas. São métodos adaptáveis, aplicáveis a tipos distintos de problemas de otimização, realizando poucas modificações para sua adequação. Alguns exemplos de metaheurísticas são: simulated annealing, busca tabu, busca local iterada, algoritmos evolutivos e colônia de formigas (SUCUPIRA, 2004).

Ainda segundo Sucupira (2004), a importância das meta-heurísticas deve-se ao fato de que podem ser aplicadas a problemas de otimização onde não são conhecidos algoritmos específicos. Embora possam não apresentar resultados tão bons quanto algoritmos específicos, existe a possibilidade de fusões entre eles, utilizando as melhores características de cada um como um apoio na busca da garantia de melhores resultados. Além disso, nas últimas décadas, os métodos heurísticos têm sido amplamente estudados, aprofundando o conhecimento e desenvolvendo melhorias nos processos de resolução de problemas complexos.

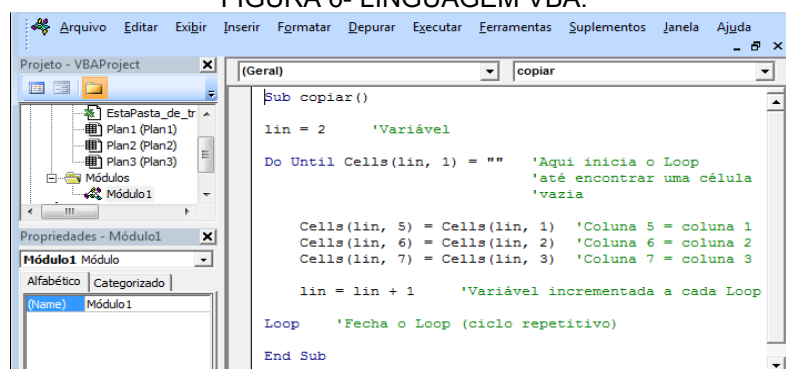
2.6 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO VBA

O *Visual Basic for Applications* (VBA), é a linguagem incorporada ao conhecido pacote de programas da *Microsoft Office*, que surgiu de uma necessidade do mercado de desenvolvimento de cálculos rápidos para o ambiente

empresarial, e hoje é amplamente utilizado por empresas do mundo todo, tornando-se parte importante na produtividade de variados postos de trabalho. Isto acontece devido sua versatilidade, permitindo uma ampla resolução de problemas, de maneira fácil e intuitiva.

O VBA é uma linguagem de fácil programação, e embora, sendo uma linguagem lenta ao comparar com outras linguagens comerciais como o *Python* e *Julia*, para problemas simples torna-se uma linguagem produtiva e de fácil implementação. Sua interface pode ser observada pela FIGURA 6:

FIGURA 6- LINGUAGEM VBA.



FONTE: O autor (2019).

Usualmente os usuários já estão familiarizados com os programas do pacote, permitindo uma fácil utilização de aplicativos criados na linguagem. Sendo assim, o VBA possui grande relevância ao considerar desenvolvimento de aplicações para utilização em ambientes empresariais.

2.7 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JULIA

Análises numéricas possibilitam soluções de problemas matemáticos complicados, que são improváveis de serem resolvidos manualmente. Devido a tal demanda, surgiram múltiplos softwares e linguagens de programação, com a finalidade de solucionar problemas numéricos, com vasta aplicação, seja acadêmica ou industrial. As plataformas mais utilizadas em âmbito acadêmico são de difícil programação e de alto custo, e além disso, necessitam de computadores acima do padrão nacional para bom desempenho, como é o caso do MATLAB®. Existem várias linguagens alternativas, como o Python e R, que são de código

aberto, e a linguagem Julia surge com o intuito de competir com as linguagens voltadas a computação científica (PEREIRA; SIQUEIRA, 2016).

FIGURA 7- LINGUAGEM JULIA.



FONTE: O autor (2019).

Desde os anos 60, onde a Pesquisa Operacional e a ciência computacional vêm se desenvolvendo, existem dois tipos de linguagem de programação. As linguagens de alta performance porém complicadas, e as linguagens de baixa performance porém com um nível de programação de mais fácil aprendizagem e mais produtivas para se escrever os algoritmos (LUBIN; DUNNING, 2015).

A proposta da linguagem Julia é válida pois era crescente a busca por uma linguagem que pudesse englobar os dois extremos, movendo diversas pesquisas de desenvolvimento ao redor do mundo. A linguagem unifica expertises de vários campos para criar um novo conceito de programação numérica, sendo parametrizada para ser rápida e fácil. A linguagem foi desenvolvida combinando tecnologias e estudos, transformando-a em uma linguagem com fácil documentação e com alta performance (BEZANSON et al., 2015).

A linguagem ainda conta com uma biblioteca de pacotes de qualidade para auxílio em resoluções de problemas, permitindo grande facilidade aos programadores, que muitas vezes não precisam implementar códigos complicados, se já disponíveis. Também é possível a criação de novos pacotes por usuários, e a disponibilização dos mesmos em sites especializados, criando uma linguagem estruturada e de muitas oportunidades. A plataforma está em constante crescimento e construção, com ferramentas de qualidade e confiabilidade (PEREIRA, 2017).

2.7.1 Heurísticas para o PCV

Dentre os pacotes oficiais da linguagem Julia, encontra-se o *TravelingSalesmanHeuristics*, pacote aberto, disponível para ser utilizado na linguagem Júlia, possuindo implementadas algumas heurísticas de resolução do Problema do Caixeiro Viajante. Sendo elas: *nearest neighbor*, *farthest insertion*, e *cheapest insertion* para construção de rotas, e, *2-opt strategy* e o *simulated annealing* para refinamento.

Seu uso é recomendado, segundo o desenvolvedor do pacote, em instâncias de pequeno e médio porte, pois em casos onde se possui mais de 400 pontos, a velocidade de resolução diminui consideravelmente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será apresentada a classificação da pesquisa, a caracterização da empresa e toda a metodologia adotada para resolver o problema em estudo.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Gil (2009), são consideradas pesquisas aqueles estudos onde são obtidos novos conhecimentos quanto a resposta de problemas, utilizando como ferramenta procedimentos científicos, sendo este seu objetivo principal. Tais pesquisas podem ser classificadas de acordo com sua abordagem, sua natureza, seus objetivos e seus procedimentos.

Quanto a sua abordagem, existem duas alternativas: ser classificada entre qualitativa ou quantitativa. Na primeira, existe certa subjetividade nas considerações, visto que não há possibilidade de transformação em abordagens numéricas. É utilizada geralmente em compreensões de grupos sociais ou organizações. Na segunda, é possível que se classifique e analise certos aspectos, baseando-se em observações objetivas e quantificáveis. A pesquisa quantitativa utiliza-se do pensamento lógico, e busca aplicar atributos mensuráveis à experiência humana.

De sua natureza, pode-se classificar uma pesquisa entre básica, onde objetiva-se somente a geração de novos conhecimentos de utilidade científica, sem aplicação prática; ou aplicada, onde os conhecimentos gerados são implementados na prática, buscando solucionar problemas característicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

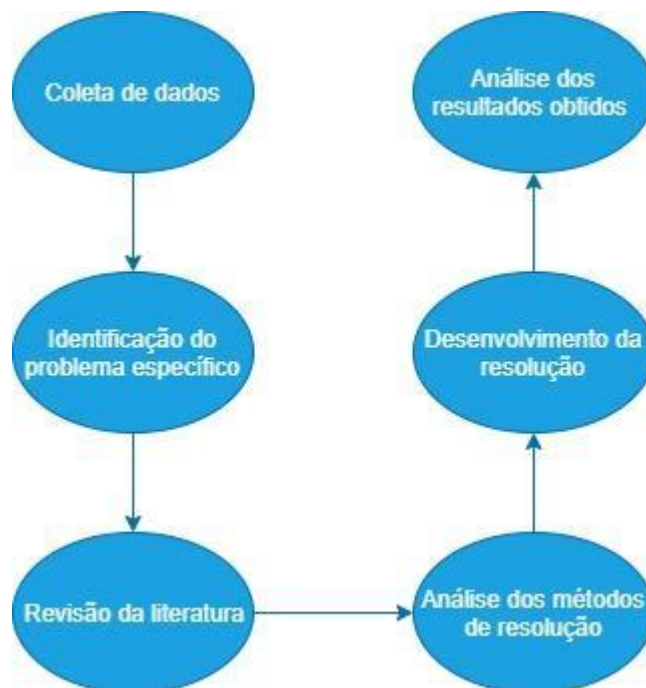
Quanto aos objetivos, existem as pesquisas exploratórias, descritivas e explicativas. As pesquisas exploratórias tem o objetivo de trazer mais conhecimento sobre o problema, criando hipóteses e ajudando em pesquisas futuras. As descritivas procuram descrever fatos e fenômenos de determinado problema. Já as explicativas possuem o objetivo de levantar fatores que influenciam ou estão relacionadas com determinado problema.

As pesquisas também podem ser classificadas de acordo com seu procedimento, alguns exemplos são: Pesquisa experimental, Pesquisa Bibliográfica, Estudo de Caso e Pesquisa-Ação.

No presente trabalho, utiliza-se a abordagem quantitativa pois os processos de otimização de rotas por Pesquisa Operacional utilizam modelos matemáticos, objetivos e numéricos. A respeito da natureza, classifica-se como aplicada, pois a finalidade é utilizar o conhecimento científico para uma melhora do serviço na prática. O objetivo de pesquisa é descritivo, pois busca a solução de um fenômeno ou problema local, e, quanto ao procedimento, classifica-se em estudo de caso, pois a pesquisa surge de uma necessidade específica de otimização..

Na FIGURA 8, encontra-se o fluxograma das etapas de realização do trabalho.

FIGURA 8- FLUXOGRAMA DO TRABALHO.



Fonte: O Autor (2019).

Primeiramente, foi realizada a coleta de dados junto a empresa, e a partir daí, foi realizada a identificação do problema específico que precisava ser resolvido, bem como a revisão da literatura, que se mostrou importante para a construção do desenvolvimento do trabalho. Com o estudo, foi possível identificar quais seriam os métodos adequados para a resolução, e então, a mesma foi

desenvolvida e executada. A partir dos resultados, realizou-se a análise da qualidade dos mesmos.

3.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa onde o estudo de caso foi realizado é uma empresa alimentícia localizada no norte do Paraná, na cidade de Borrazópolis, com cerca de 7800 habitantes atualmente. Fundada em 1991, possui atualmente 28 anos de mercado, e seus produtos são comercializados por todo o estado.

Ela possui 19 colaboradores, incluindo os vendedores externos, que realizam as vendas de mercadorias nos locais fixos de entrega, conforme pedidos. A empresa também possui vendedores independentes, não incluídos na grade de funcionários informada.

O estudo foi realizado nas rotas feitas pelos vendedores externos, que são determinadas pela empresa. Os clientes atendidos possuem demandas distintas, e suas periodicidades são inconstantes. Por este motivo, não há conjunto de rotas fixas. A sequência de localidades a ser seguida é determinada de forma empírica pelos vendedores.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados para o estudo e para a modelagem matemática foram coletados na empresa, juntamente com todas as restrições e características gerais do problema, seguindo o fluxograma apresentado na FIGURA 9.

FIGURA 9- PROCESSO DE COLETA DE DADOS.



Fonte: O Autor (2019).

O problema identificado, consiste na minimização das rotas de mercadorias, que possuem localidades pré definidas, cada uma delas possuindo determinada demanda, e conseqüentemente, determinada periodicidade. Tal periodicidade indica a formação das rotas, que, devido às demandas diferentes, não são padronizadas. Considerando que a empresa já possui controle sobre tais prazos e identificação das necessidades de entrega, o problema consiste em minimizar a rota de entrega, por meio de uma lista de cidades, que deverão ser atendidas em uma única rota.

Para os testes iniciais, foram utilizadas como exemplo as seguintes rotas, disponibilizadas na TABELA 1, conforme a sequência em que a empresa a realizou.

TABELA 1- COMPOSIÇÃO DAS ROTAS.

Lista de Cidades			
Roteiro 1	Roteiro 2	Roteiro 3	Roteiro 4
BORRAZÓPOLIS	BORRAZÓPOLIS	BORRAZÓPOLIS	BORRAZÓPOLIS
MARUMBI	ENGENHEIRO BELTRAO	MANOEL RIBAS	PEABIRU
MANDAGUARI	PEABIRU	CÂNDIDO DE ABREU	ARARUNA
PAIÇANDU	ARARUNA	TEREZA CRISTINA	CIANORTE
ASTORGA	CIANORTE	IVAÍ	TAPEJARA
PITANGUEIRAS	TAPEJARA	ALTO DO AMPARO	MOREIRA SALES
ARAPONGAS	MOREIRA SALES	PONTA GROSSA	UMUARAMA
APUCARANA	UMUARAMA	CASTRO	PÉROLA
MAUA DA SERRA	PÉROLA	TIBAGI	ALTO PIQUIRI
FAXINAL	MARILUZ	PIRAÍ DO SUL	MARILUZ
NOVO ITACOLOMI	FORMOSA DO OESTE	VENTANIA	MANDAGUARI
IVAIPORA	ALTO PIQUIRI	IMBAÚ	JANDAIA DO SUL
LUNARDELI			APUCARANA
SAO JOAO DO IVAI			ENGENHEIRO BELTRAO
BARBOSA FERRAZ			
BOM SUCESSO			

Fonte: O Autor (2019).

A partir dos nomes das cidades informadas, foram identificadas as coordenadas das mesmas, por meio da utilização do aplicativo desenvolvido, para que o mesmo possa construir a matriz do problema, que consiste na representação matemática de um grafo, que possibilitará a resolução.

Devido a constantes alterações das rotas, decidiu-se elaborar um aplicativo para ajudar a empresa nas alterações necessárias, garantindo que, a cada alteração, não sejam necessárias consultas externas.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Para facilitar a experiência dos usuários na empresa em questão, desenvolveu-se uma ferramenta para automatizar a obtenção das rotas, por meio da linguagem VBA, integrada à API (Interface de programação de aplicações) da Google de Geolocalização para a obtenção dos dados, e à linguagem Júlia para a resolução do mesmo.

Para fins de simplificar a explicação, o aplicativo será apresentado por meio das seguintes etapas: Obtenção das coordenadas, criação da matriz distância, resolução do problema e a interface com o usuário.

3.4.1 Obtenção das coordenadas

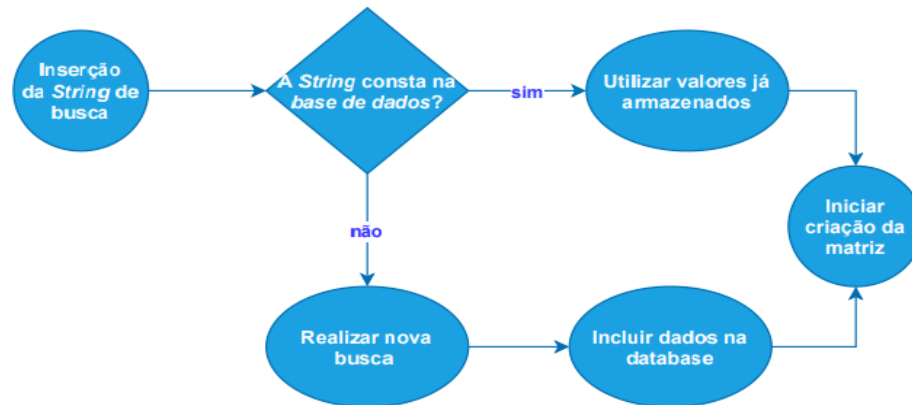
Para dar início ao processo de resolução de um problema, precisa-se obter os dados iniciais de maneira confiável, permitindo maior confiabilidade nos resultados obtidos. No problema em questão, as entradas serão as coordenadas de cada cidade do romaneio.

Na linguagem VBA, as coordenadas podem ser obtidas por meio de uma função programada, que fará a interface com as API's do *Google Maps*. Tal integração é possível pois as API's permitem a comunicação e a integração de aplicativos com os serviços do Google de maneira descomplicada, por meio de links disponibilizados em seu *website* voltado para desenvolvedores. Tal ferramenta oferta facilidade e praticidade na obtenção de informações.

Devido aos custos financeiros atribuídos à obtenção das coordenadas, foi desenvolvido no aplicativo um banco de dados que armazena as buscas já realizadas, a fim de não gerar requerimentos duplicados e minimizar os custos com as obtenções dos dados, que apesar de baixos, passariam a se tornar onerosos devido às altas alternâncias entre as cidades nas rotas.

Em suma, a obtenção de dados do aplicativo está representada no fluxograma da FIGURA 10.

FIGURA 10- FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO DAS COORDENADAS.



Fonte: O Autor (2019).

Todo o processo, a partir da inserção das *Strings* de busca, é automático, a fim de evitar possíveis erros presentes nos processos de decisão e facilitar a utilização do aplicativo. Foi automatizada também, a organização da base de dados, que se apresenta por ordem alfabética, para que, a medida em que se torna maior, o tempo de análise e busca na mesma não aumente mais do que necessário.

3.4.2 Criação da Matriz

A partir das coordenadas obtidas na fase anterior, podem-se criar fórmulas matemáticas em uma planilha para que seja obtida a matriz de distâncias para resolução do problema.

Devido a altos custos de obtenção das distâncias reais entre as cidades, nesta fase de testes optou-se por utilizar as distâncias aproximadas entre elas, mesmo que tal prática possa interferir na escolha do melhor resultado.

A fim de se obter a matriz distância, as coordenadas de latitude e longitude são dispostas ordenadamente na vertical e na horizontal, e, a partir delas, o cálculo dos elementos da matriz é realizado a partir da fórmula descrita nas equações (1), (2) e (3):

$$(1) \ i = (LAT_i, LONG_i)$$

$$(2) \ Z_{ij} = \cos \frac{(90-LAT_i)*\pi}{180} * \cos \frac{(90-LAT_j)*\pi}{180} + \sin \frac{(90-LAT_i)*\pi}{180} * \sin \frac{(90-LAT_j)*\pi}{180} * \cos \frac{(LONG_i-LONG_j)*\pi}{180}$$

$$(3) \ C_{ij} = 6371 * \arccos(Z_{ij})$$

Tal fórmula, segundo Alves (2015), é utilizada devido a sua capacidade de levar em consideração a curvatura terrestre, oferecendo melhores aproximações se comparada a formula da distância euclidiana.

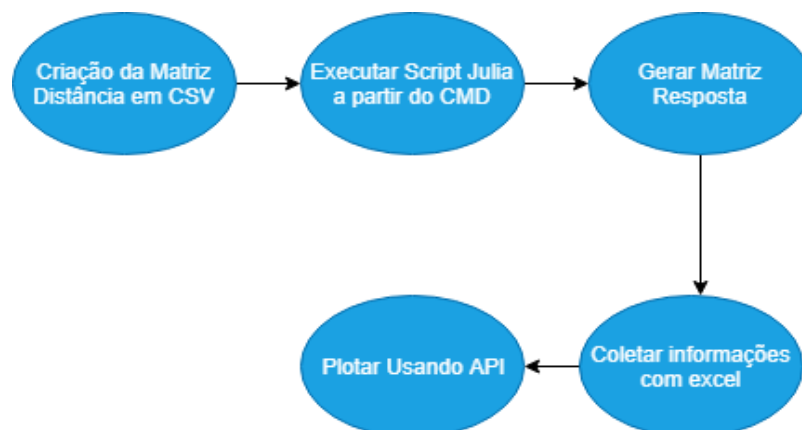
3.4.3 Obtenção das rotas

A partir da matriz de distância gerada, foi utilizada a linguagem de programação Julia para a resolução do problema, visto que seu pacote de resoluções para o caixeiro viajante (*TravelingSalesmanHeuristics*) apresenta resoluções eficientes.

Para que ocorra a integração entre a planilha e o Julia, inicialmente precisa-se que esteja devidamente instalado no computador a aplicação da linguagem de programação Julia, que permite que sejam feitas as programações, e posteriormente que as mesmas sejam executadas a partir dos comandos estabelecidos em VBA.

Todo formato de resolução do problema é exemplificado pelo fluxograma da FIGURA 11.

FIGURA 11- FLUXOGRAMA DE RESOLUÇÃO.



Fonte: O Autor (2019).

Primeiramente, precisa-se exportar a matriz distância para um formato CSV (*Comma Separated Values*), para se obter uma entrada para o *script*, no formato apresentado na TABELA 2. Nela, o conjunto $P = \{P1, P2, \dots, Pn\}$ é um conjunto contendo os pontos onde devem ser feitas as entregas, e conseqüentemente, onde devem ser realizadas as iterações a fim de encontrar o resultado. Definiu-se como matriz D , o conjunto distâncias entre todos os pontos P_i e P_j , com $i, j = 1, \dots, n$. Salienta-se a necessidade, pelas características do problema, de D ser uma matriz quadrada de ordem n , onde n é a quantidade de pontos de entrega.

TABELA 2- REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ DISTÂNCIA.

	P1	P2	..	.	..	Pn
P1	0	d12	..	.	..	d1n
P2	d21	0				
..	..		0			
.	.			0		
..	..				0	
Pn	dn1					0

Fonte: O Autor (2019).

Posteriormente, devido a ausência de módulos de integração entre Julia e o programa utilizado, utiliza-se o VBA para executar o *script* do Julia pelo CMD. O *script* utiliza o módulo de solução do *TravelingSalesmanHeuristics*, utilizando a heurística *Nearest Neighbor* para realizar os cálculos de otimização, com base na matriz definida anteriormente. A partir da resolução, é preenchida outra planilha denominada resposta, onde registra-se o caminho mínimo e o custo atingido.

O módulo que soluciona o PCV utilizado no trabalho é exemplificado no ALGORITMO 1:

ALGORITMO 1: Problema do caixeiro viajante.

```
using TravelingSalesmanHeuristics
path, pathcost = solve_tsp(matriz)
```

Fonte: O Autor (2019).

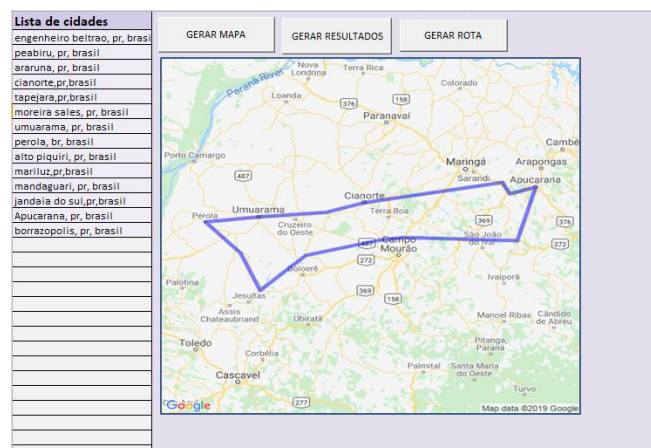
Nesse estágio, o aplicativo desenvolvido em VBA coleta as respostas e utiliza o módulo gráfico da API “*Google Maps Static Image*” para plotar o trajeto

obtido, para facilitar a leitura do usuário, bem como gerar uma lista dos endereços que o usuário deverá percorrer.

3.4.4 Interface com o usuário

Para que a utilização do programa seja intuitiva, o usuário terá acesso apenas à uma tela, onde acontecerá a inserção das *strings* de busca no programa, e onde será apresentado o resultado da melhor rota, após os cálculos realizados pelo algoritmo. Na FIGURA 12, mostra-se a interface.

FIGURA 12- INTERFACE COM O USUÁRIO.



Fonte: O Autor (2019).

O usuário deverá adicionar as localizações desejadas no local indicado, conforme a ordem Cidade, Estado, País, não adicionando acentos nas buscas, e não deixando nenhuma célula da lista vaga. Isso garantirá o retorno correto das coordenadas, e evitará erros ao serem realizadas as buscas na base de dados e na API utilizada.

Ao finalizar as buscas, o usuário deverá pressionar o botão “Gerar Mapa”, e conferir se todos os destinos realizados foram adicionados a lista e ao mapa.

Para gerar os resultados, o usuário poderá pressionar o botão “Gerar Resultados”, que iniciará todo o processo de resolução, e o botão “Gerar Rota” retornará na tela as rotas otimizadas.

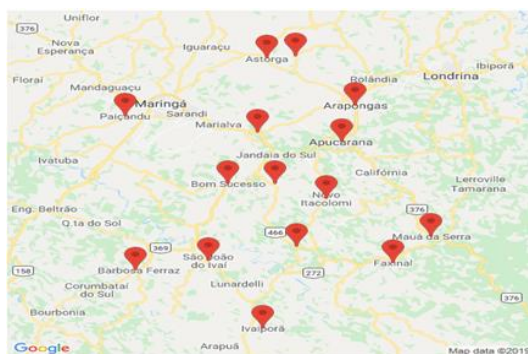
Sempre que necessário, poderão ser realizadas alterações na lista de cidades. São possíveis alterações de todas as cidades, ou apenas as necessárias, seguindo os mesmos procedimentos indicados acima.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

No presente estudo de caso, a empresa possui a necessidade de uma melhoria na rota de entrega de doces, com a restrição de que a resolução não seja fixa, devido suas características específicas. Portanto, surgiu a necessidade da criação de um programa que possa ser intuitivo, e que atenda as necessidades empresariais. Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos por meio da realização da pesquisa, de maneira a identificar as melhorias obtidas.

Para testar a solução do aplicativo, obteve-se o romaneio de quatro rotas realizadas pela empresa. Tais rotas, foram utilizadas como a base para verificação da aplicabilidade e efetividade do aplicativo. As cidades que compõe as mesmas são do estado do Paraná, e estão apresentadas da FIGURA 13 a FIGURA 16:

FIGURA 13- LISTA DE CIDADES 1.



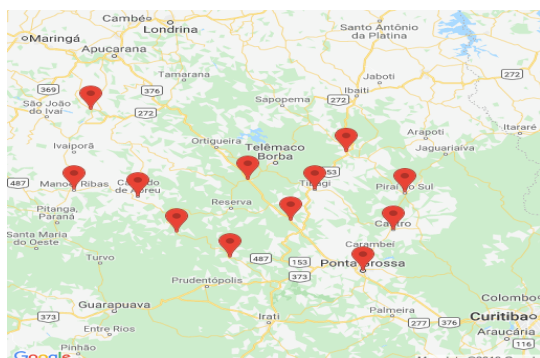
Fonte: Google Maps (2019).

FIGURA 14- LISTA DE CIDADES 2.



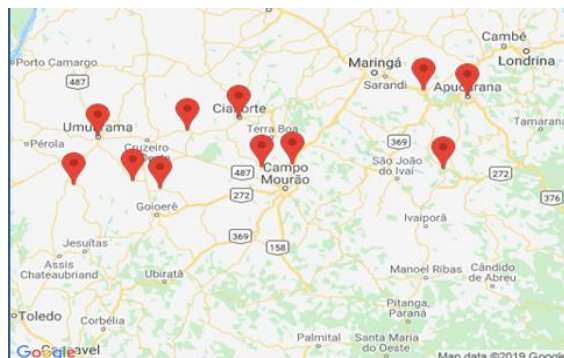
Fonte: Google Maps (2019).

FIGURA 15- LISTA DE CIDADES 3.



Fonte: Google Maps (2019).

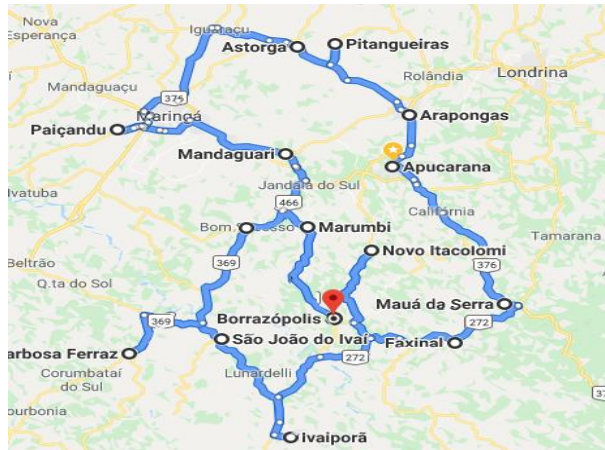
FIGURA 16- LISTA DE CIDADES 4.



Fonte: Google Maps (2019).

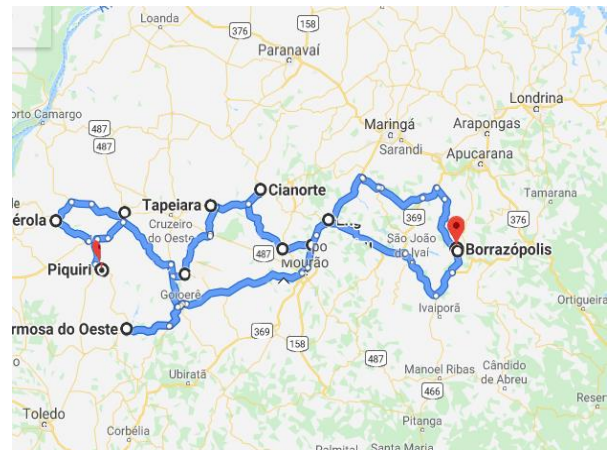
As rotas realizadas pelo entregador estão apresentadas da FIGURA 17 a FIGURA 20. As mesmas foram determinadas empiricamente pelo responsável na empresa, sem a utilização de ferramentas de auxílio, e tiveram um total de, respectivamente, 661 km, 747 km, 1077 km e 781 km percorridos.

FIGURA 17- ROTA REALIZADA 1.



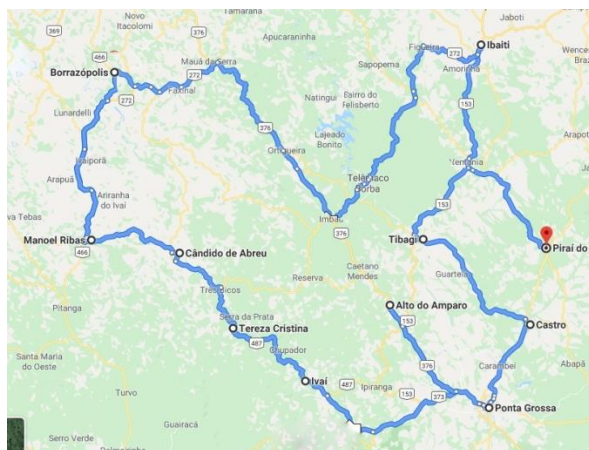
Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

FIGURA 18 – ROTA REALIZADA 2.



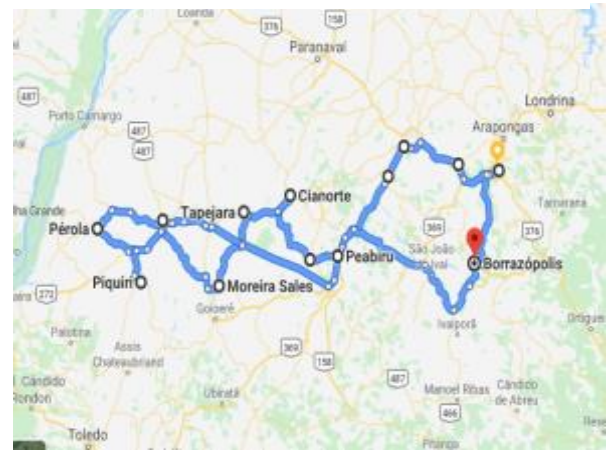
Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

FIGURA 19- ROTA REALIZADA 3.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

FIGURA 20- ROTA REALIZADA 4.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

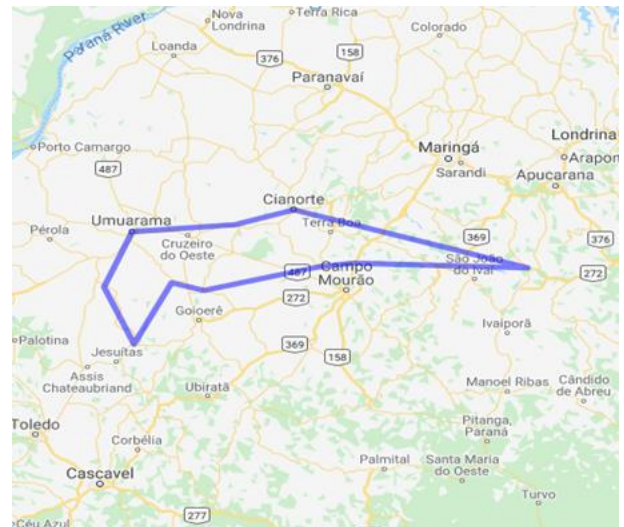
Ao solucionar o problema, obteve-se a rota apresentada das FIGURAS 21 a 24, diretamente do aplicativo.

FIGURA 21- ROTA OTIMIZADA 1.



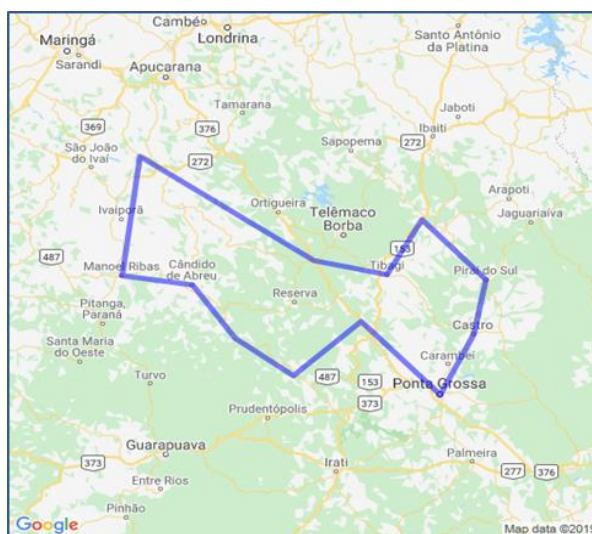
Fonte: O Autor (2019).

FIGURA 22- ROTA OTIMIZADA 2.



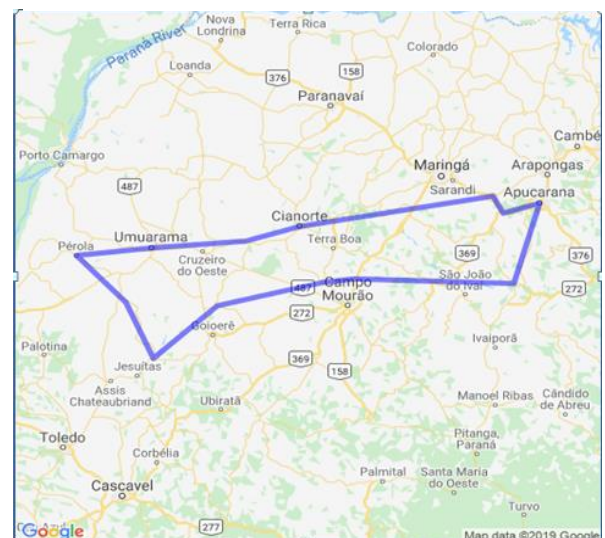
Fonte: O Autor (2019).

FIGURA 23- ROTA OTIMIZADA 3.



Fonte: O Autor (2019).

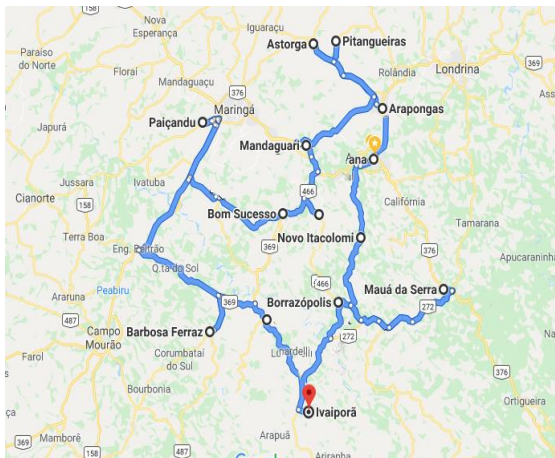
FIGURA 24- ROTA OTIMIZADA 4.



Fonte: O Autor (2019).

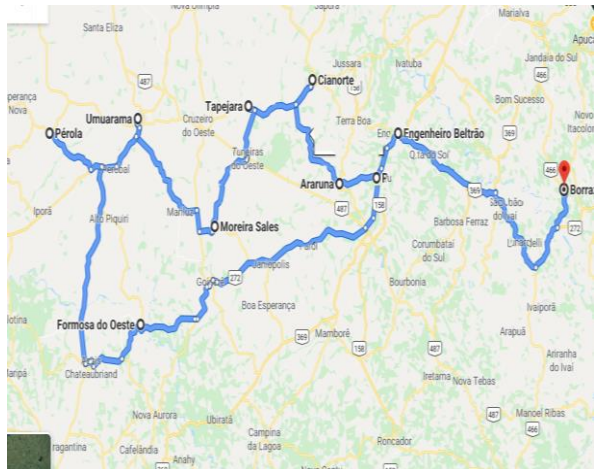
Para calcular a distância correta, foi utilizado a ferramenta *Google Maps*, já que a distância obtida automaticamente não são correspondentes a distância real, mas sim a mínima entre as cidades. As rotas otimizadas possuem um total de, respectivamente, 597 km, 734 km, 872 km e 673 km percorridos. As mesmas são apresentadas em seu real percurso nas FIGURAS 25 a 28:

FIGURA 25- ESTADO REAL OTIMIZADO 1.



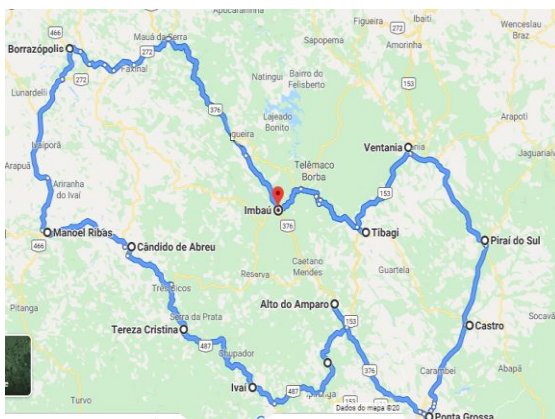
Fonte: Adaptado de Google Maps (2019)

FIGURA 26- ESTADO REAL OTIMIZADO 2.



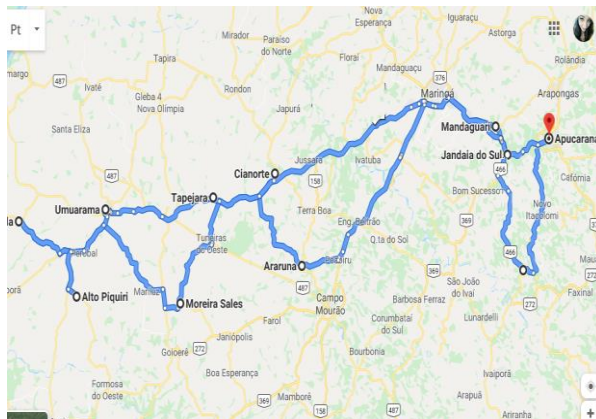
Fonte: Adaptado de Google Maps (2019)

FIGURA 27- ESTADO REAL OTIMIZADO 3.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

FIGURA 28- ESTADO REAL OTIMIZADO 4.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

As comparações entre as quilometragens das rotas estudadas estão apresentadas na TABELA 3:

TABELA 3- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.

ROTA	Antes	Depois	Melhoria
1	661 km	597 km	10,72%
2	747 km	734 km	1,77%
3	1077 km	872 km	23,5%
4	781 km	673 km	16,04%

Fonte: O autor (2019).

Observou-se então, uma melhora de, em média, 13,09% nas rotas estudadas.

O tempo de execução do programa foi de 15,5 segundos em média, a partir do momento em que o usuário executar o botão denominado “Gerar Resultados”, até o retorno do mapa da rota requisitada. As análises foram realizadas em um computador com processador Intel Core i3-6006 CPU @ 2GHz 1.99GHz e 4GB de RAM instalada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, fica evidente uma capacidade de gerar resultados no dia-a-dia empresarial, utilizando ferramentas simples e do cotidiano, com mínimos conhecimentos em programação.

O aplicativo apresentou bom desempenho operacional e bons resultados comparados com o romaneio fornecido, embora mais testes sejam necessários para afirmar sua confiabilidade. Para garantir melhores resultados, será necessário desenvolver métodos de obtenção das distâncias reais, que sejam de custo mais acessível do que as opções conhecidas no mercado.

Por se tratar de um programa desenvolvido em Excel, apresenta alta aplicabilidade para os usuários, pois o mesmo é um programa usual do cotidiano e do ambiente empresarial, o que facilita sua utilização. Ressalta-se também que, o alto custo dos aplicativos existentes no mercado torna o uso em empresas menores economicamente inviável, e o desenvolvimento de ferramentas simples, de baixo custo e com boa aplicabilidade vêm a trazer lucratividade e competitividade as empresas menores.

Para dar continuidade no trabalho, além de desenvolver métodos mais precisos por meio da obtenção da distância exata entre as cidades, pretende-se adicionar restrições de períodos temporais e capacidade de carga. Também pode ser considerada a possibilidade de integrações com os sistemas utilizados para geração da ordem de serviço de transporte, e integrações com sistemas de GPS, permitindo uma maior gestão empresarial da frota, que aparenta ser um ótimo campo para estudos futuros.

Os resultados apresentados serão apresentados a empresa, que realizará os testes para a validação final do aplicativo, e ajustes serão realizados, caso necessário.

Conclui-se que, pelos métodos utilizados, foi possível desenvolver uma solução que possibilita a otimização de rotas de entrega de uma empresa do ramo alimentício de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

ABELFIORE,P.; FÁVERO,L.P. **Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia**. 1.ed. -. CAMPUS-RJ, 2013.

AGUIAR , Marcelo Otone ; MAURI , Geraldo Regis; SILVA, Rodrigo Freitas. **Introdução aos Métodos Heurísticos de otimização com Python**. CAUFES, Alegre, ES, 2018.

ARAÚJO, Fernando de; LIMA, Aline andrade; LIMA, Mateus de assis chacon. **Otimização de rota e redução dos custos logísticos: estudo de caso em uma empresa de contabilidade**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, março 2018.

ARENALES, M.; ARMENTANO V.; MORABITO, R.; YANASSE, H.; **Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

Ballou, Ronald. H, (2007). *The evolution and future of logistics and supply chain management*. European Business Review, Vol. 19 p. 332 – 348.

BARCELOS, Bartholomeo Oliveira Barcelos; EVANGELISTA, Mário Luiz Santos; SEGATTO, Sara Schafer. **A importância e a aplicação da pesquisa operacional nos cursos de graduação em administração**. RACE, [S. l.], 2012.

BEZANSON, J. et al. **Julia Language Documentation**. Disponível em:<<http://www.julialang.org>>. Acesso em: 03 de Maio. 2019.

CARVALHO, C. B. **Aplicações de Meta-heurística genética e Fuzzy no sistema de Colônia de Formigas para o Problema Do Caixeiro Viajante**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, julho de 2007. 78p.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indicadores de competitividade na indústria brasileira: micro e pequenas empresas**. Brasília: CNI, 2018.

COLIN, Emerson Carlos. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007

COSTA, R. F. **Tecnologia da Informação aplicada a logística na estratégia empresarial**. São Caetano do Sul, v.1, n.3, 2010. Disponível em:

<<http://www.fatecsaocaetano.edu.br/fascitech/index.php/fascitech/article/view/332/31>>.
Acesso em: 12 maio 2019.

DAVIS, Mark Morris; AQUILANO, Nicholas Joseph; CHASE, Richard Brent. **Fundamentos de administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

FUCHIGAMI, Hélio Yochihiro. **Métodos heurísticos construtivos para programação da produção em sistemas flow shop híbridos com tempos de preparação das máquinas assimétricos e dependentes da sequência**, 2005. DISSERTAÇÃO (DOUTORADO) - Universidade de São Paulo, São carlos, 2005. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0132.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2019.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009.

Gil, A. C. (2009). **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas.

ISMAIL I, HALIM AH. **“Comparative study of meta-heuristics optimization algorithm using benchmark function”**, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Engineering. 2017.

IZIDORO, Cleyton. **Logística reversa**. 1. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

KASPI M; ZOFI M; TELLER R. **Maximizing the profit per unit of time for the travelling salesman problem**. In: ICPR 22nd International Conference on Challenges for Sustainable Operations, Iguassu Falls, Brazil, 2013.

LEITE, Caio Cesar Lemes LEITE *et al.* **A logística e a gestão da cadeia de suprimentos: um estudo de caso em uma empresa da região do sul de Minas Gerais**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três corações, 1.sem. 2017.

LOURENÇO, Gilmar mendes. **Economia paranaense: competitividade e desafios**. IPARDES, Paraná. Dez. 2014.

LUBIN, Miles; DUNNING, Iam. **Computing in operations research using Julia**. INFORMS Journal on Computing, [S. l.], p. 193-430, 16 mar. 2015.

MAÇANEIRO, Marlete Beatriz ; CHEROBIM, Ana Paula Mussi Szabo. **Fontes de financiamento à inovação: incentivos e óbices às micro e pequenas empresas – estudo de casos múltiplos no estado do paraná**. O&s , Salvador, 2011.

MOURA, B. **Logística: conceitos e tendências**. 1.ed. Lisboa-PT: Inova, 2006.

PARDINI, Dhiego. **O Problema do Caixeiro Viajante**. [S. l.], 9 nov. 2015. <https://otimizacaonapratICA.com/2015/11/09/o-problema-do-caixeiro-viajante/>.

PEREIRA, João Marcello Pereira; SIQUEIRA, Mario Benjamim Baptista de Siqueira. **Linguagem de programação JULIA: uma alternativa open source e de alto desempenho ao MATLAB**. Principia, Brasília, 2016.

PEREIRA, João Marcello. **Introdução à linguagem de programação Julia: A ambiciosa linguagem de programação que quer substituir Python, R e Matlab**. Piauí: [s. n.], 2017.

REINELT, Gerald. **The Traveling Salesman computational solutions for TSP applications**. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2001.

REIS, P. R. R. **Logística empresarial como estratégia competitiva: caso do centro de distribuição da AMBEV**. Florianópolis-SC, 2004. Disponível em: <<http://tcc.bu.ufsc.br/Contabeis295557.pdf>> Acesso em: 15 de Maio. 2019.

SOUZA, Adriano Mendonça *et al.* **Pesquisa Operacional no contexto das organizações**. Brasil: Nattheus, 2018.

SPERANDIO, D.; MENDES, J. T.; SILVA, L. H. M. **Cálculo numérico: características matemáticas e computacionais dos métodos numéricos**. São Paulo: Pearson, 2003.

SUCUPIRA, I. R. **Métodos Heurísticos Genéricos: meta-heurísticas e hiperheurísticas**, Monografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 41p.

TAUFER, Fernando Soares Gomes; PEREIRA, Elaine Correa. **Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante na otimização de roteiros**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte/MG, 2011.

TIWARI, Nirmal Kumar; SANDILYA, Shishir Kumar. **Operations Research**. New Delhi: Prentice-Hall, 2006.

TOTH, P.; VIGO, D. **The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on discrete mathematics and applications**, Philadelphia, U.S.A, 2002.