

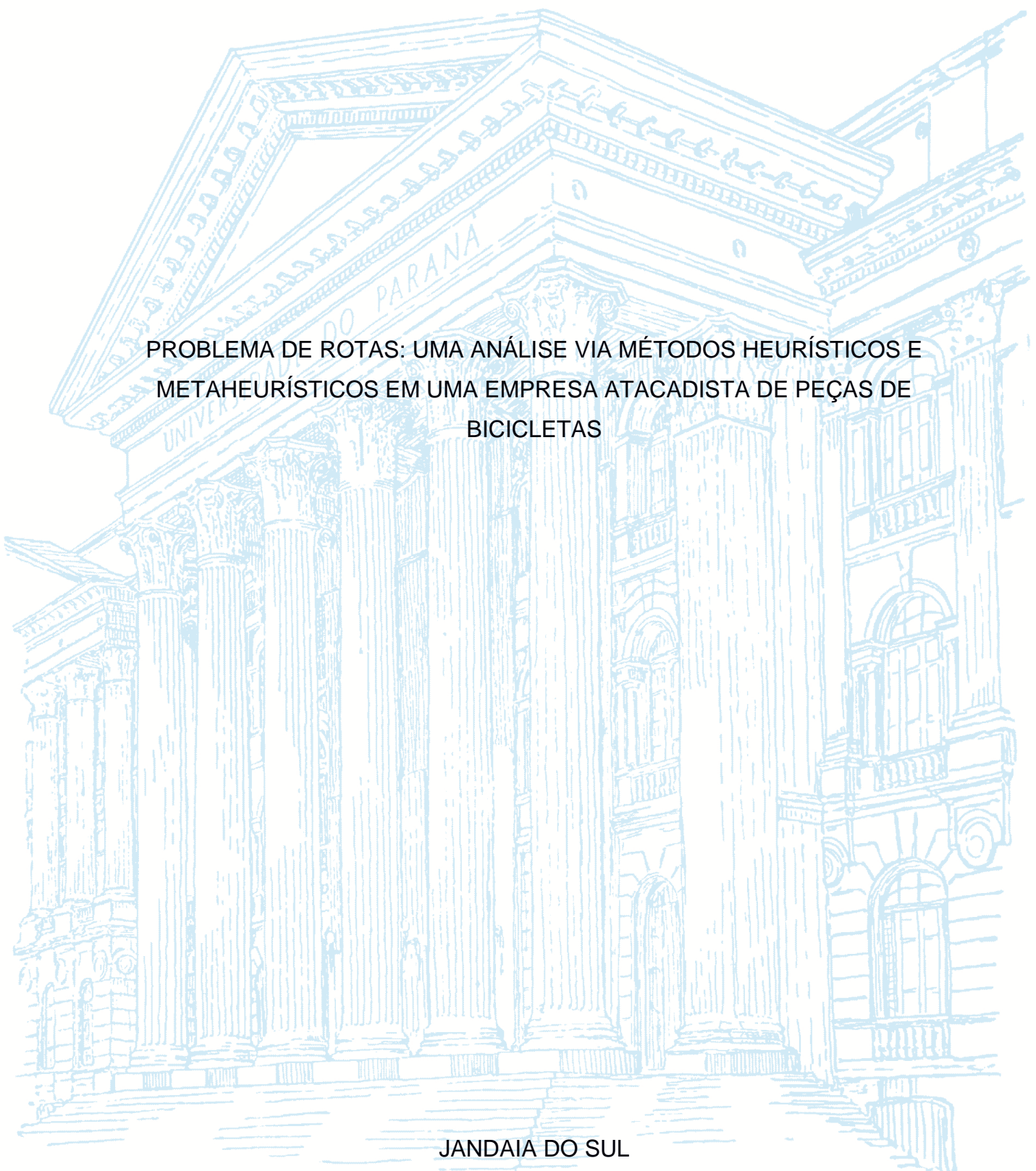
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINE BARON VOLPE

PROBLEMA DE ROTAS: UMA ANÁLISE VIA MÉTODOS HEURÍSTICOS E
METAHEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA ATACADISTA DE PEÇAS DE
BICICLETAS

JANDAIA DO SUL

2018



CAROLINE BARON VOLPE

**PROBLEMA DE ROTAS: UMA ANÁLISE VIA MÉTODOS HEURÍSTICOS E
METAHEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA ATACADISTA DE PEÇAS DE
BICICLETA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia, no Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Verga Shirabayashi

JANDAIA DO SUL

2018

V931p Volpe, Caroline Baron
Problema de Rotas: uma análise via métodos heurísticos e
metaheurísticos em uma empresa atacadista de peças de bicicletas. /
Caroline Baron Volpe. – Jandaia do Sul, 2018.
41 f.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Verga Shirabayashi.
Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação) – Universidade Federal
do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Curso de Graduação em Engenharia de
Produção.

1. Problema de Rotas. 2. Métodos heurísticos. 3. Linguagem Julia. II.
Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 002/2019/2019/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.002081/2019-22
INTERESSADO: @INTERESSADOS_VIRGULA_ESPACO@

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: PROBLEMA DE ROTAS: UMA ANÁLISE VIA MÉTODOS HEURÍSTICOS E METAHEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA ATACADISTA DE PEÇAS DE BICICLETAS

Autor(a): CAROLINE BARON VOLPE

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.

- Juliana Verga Shirabayashi
- David Iubel de Oliveira Pereira
- Jair da Silva

Jandaia do Sul, 11 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/01/2019, às 14:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/01/2019, às 15:11, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **David Iubel de Oliveira Pereira, Usuário Externo**, em 23/01/2019, às 10:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **1511492** e o código CRC **5077C9C8**.

Dedico este trabalho a todos aqueles que me acompanharam durante essa trajetória, principalmente aos meus pais e professores, que ajudaram e me fizeram chegar aonde cheguei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me dar forças durante toda essa trajetória, por me permitir batalhar e conquistar diversos desafios encontrados no meio do caminho e que nunca me deixou desistir da busca por um futuro promissor.

Gostaria de agradecer também aos meus pais, Luiz e Solange, que sempre estiveram me aconselhando e orientando, dando apoio, suporte e me fazendo refletir sobre todos os desafios e decisões que apareciam durante o curso.

Aos meus professores, por poder contar com a ajuda deles para sanar dúvidas, pelo compartilhamento de conhecimento, por colocar desafios em meu caminho, que me tirou da zona de conforto e fizeram refletir sobre seus impactos, e, principalmente, pelo empenho em tornar todos ótimos profissionais.

Agradeço também a minha orientadora, Juliana, que teve a paciência de me orientar e me ajudar em todos os momentos, durante a semana, à noite e finais de semanas de dedicação.

Ao meu namorado, Murilo, por sempre me incentivar e permanecer ao meu lado nos momentos que eu mais precisava.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”

(Henry Ford)

RESUMO

Atualmente muitas empresas utilizam o transporte rodoviário para distribuição de mercadorias, tal meio representa cerca de 80% de transporte de cargas e representa aproximadamente 20% dos custos do produto. Uma das formas de redução do custo de transporte se dá pelo estudo do Problema de Rotas, utilizado para diminuir a distância ou custo de uma listagem de locais em que o veículo deve passar uma única vez e voltar ao seu local de origem. Esse tipo de problema, com origem da Pesquisa Operacional, pode ser solucionado através de métodos heurísticos e metaheurísticos para a busca de uma solução ótima, mas sem garantia de encontrar o ótimo global. A linguagem de programação, para a modelagem matemática, utilizada neste trabalho é a linguagem *Julia*, uma alternativa livre, *open source* e de alto desempenho em comparação com o *Matlab*. A abordagem deste problema é pouco disseminada na maioria das empresas, principalmente se tratando de empresas de pequeno e médio porte. Dessa forma, o intuito desse trabalho é mostrar o impacto da análise de rotas numa empresa atacadista de peças de bicicletas de pequeno porte do interior de São Paulo.

Palavras-chave: Problema de Rotas. Métodos heurísticos. Linguagem Julia.

ABSTRACT

Currently many companies use road transport for freight distribution, which means about 80% freight transport and represents approximately 20% of the product costs. One of the ways of reducing transport costs is by studying the Routes Problem, which is used to reduce the distance or cost of a listing of places where the vehicle must pass once and return to its place of origin. This type of problem, originating from the Operational Research, can be solved through heuristic and metaheuristic methods to search for an optimal solution, but without guarantee to find the global optimum. The programming language, for mathematical modeling, used in this work is the Julia language, a free, open source and high performance alternative to Matlab. The approach to this problem is poorly disseminated in most companies, especially small and medium-sized enterprises. Thus, the purpose of this work is to show the impact of the analysis of routes in a wholesale company of small bicycle parts in the interior of São Paulo.

Key-words: Route Problem. Heuristic Methods. Language Julia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE TRANSPORTES COM NÓS E ARCOS	19
FIGURA 2 – VIZINHO MAIS PRÓXIMO	23
FIGURA 3 – VIZINHO MAIS DISTANTE	24
FIGURA 4 – <i>SIMULATED ANNEALING</i>	26
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA PESQUISA	31
FIGURA 6 – INTERFACE WING IDE PERSONAL 6.1 INK.....	32
FIGURA 7 – CLIENTES DA REGIÃO 1	33
FIGURA 8 – CLIENTES DA REGIÃO 2	34
FIGURA 9 – CLIENTES DA REGIÃO 3	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT – Confederação Nacional de Transportes

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PCV ou TSP – Problema do Caixeiro Viajante

PO – Pesquisa Operacional

PRV – Problema de Roteamento de Veículos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.2. JUSTIFICATIVA	15
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. PESQUISA OPERACIONAL (PO).....	17
2.2. LOGÍSTICA	18
2.3. PROBLEMAS DE TRANSPORTE	19
2.3.1. PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV).....	20
2.4. MÉTODOS HEURÍSTICOS.....	22
2.4.1. VIZINHO MAIS PRÓXIMO	22
2.4.2. VIZINHO MAIS DISTANTE	23
2.5. METAHEURÍSTICAS.....	24
2.5.1 SIMULATED ANNEALING (SA).....	25
2.6. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON.....	26
2.7. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JULIA.....	27
2.7.1. PACOTE TRAVELINGSALESMANHEURISTICS	27
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	28
3.1. ENQUADRAMENTO.....	28
3.2. VARIÁVEIS	29
3.3. FERRAMENTAS DE COLETA	29
3.4. ANÁLISE.....	29
3.5. PROTOCOLO DE PESQUISA	31
4. RESULTADOS	32
4.1. REGIÃO 1.....	33

4.2. REGIÃO 2.....	34
4.3. REGIÃO 3.....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do boletim estatístico publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010), 90% da poluição atmosférica é causada pelos transportes rodoviários. Desta forma, quanto menor o consumo de combustível, melhor, reduz-se a emissão de poluentes e gastos. Ao analisar o panorama nacional de transporte rodoviário pelo boletim estatístico da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2018) é perceptível sua dominância com relação à extensão quando comparados com outros meios, além de dominar o transporte de cargas ocupando cerca de 80% dos transportes (EXAME, 2018). Torna-se possível verificar com base na última greve dos caminhoneiros que afetou drasticamente, durante 11 dias, o abastecimento do país. Todos os setores da economia foram afetados, inclusive outros meios de transporte como a importação e exportação pelo modal aquaviário, com a queda em 6,65% da movimentação no Porto de Rio Grande (G1, 2018). A dependência das rodovias é algo reversível, porém a longo prazo e exige alto investimento.

A distribuição de produtos representa 75% de toda logística empresarial, além de representar 20% dos custos do produto (ÁLVAREZ; MUNARI, 2016). Tal custo só perde para o custo da mercadoria vendida, que por sua vez representa de 50% a 60% (BALLOU, 2006). Logo, é necessária a consideração de estudos dentro da empresa para a redução destes custos.

Assim, para conseguir diminuir os custos com transporte a alternativa proposta é a utilização do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), onde o caixeiro tem como ponto inicial e final de sua rota a cidade base (origem) e visita todas as demais cidades somente uma vez (ARENALES et al., 2015). O modelo, em sua base, tem como função objetivo minimizar custo ou minimizar distância, que interfere diretamente no tempo, ou seja, o modelo busca por uma solução ótima que atinja o menor custo ou menor distância.

O modelo, PCV citado acima, na prática é pouco utilizado nas empresas, principalmente de pequeno e médio porte. É comum que o responsável pelas entregas faça sua própria rota (roteiro de entrega). O método utilizado não garante uma rota viável, uma vez que não há um estudo de todas as opções de rotas possíveis. Desta forma, a proposta da pesquisa é encontrar melhores rotas de distribuição através do Problema do Caixeiro Viajante com objetivo de minimizar

distância, conseqüentemente, os custos e comparar os resultados praticados pela empresa com o resultado encontrado pela programação do problema e a partir da aplicação de métodos de otimização espera-se obter resultados benéficos para a empresa no que tange à redução de custos e, conseqüentemente, de tempo.

Esta abordagem do problema é um assunto pouco disseminado em microempresas, empresas de porte pequeno e médio. As empresas são caracterizadas como pequenas aquelas cujo faturamento bruto anual atinja valores entre R\$360.000,00 e R\$4.500.000,00. As microempresas e pequenas empresas são responsáveis por contribuírem com cerca de 27% do PIB brasileiro, além de contribuir com 54% dos empregos formais fornecidos por estas empresas. Aproximadamente metade dos donos das empresas pequenas possui ensino fundamental, médio incompleto ou completo e ensino superior incompleto (SEBRAE, 2018). Tornando-se difícil o conhecimento sobre técnicas de Pesquisa Operacional.

Deste modo observa-se o surgimento da problemática desta pesquisa consolidada por: qual a melhor rota, que minimiza distância e/ou custo, de entrega de mercadorias de uma determinada empresa? Dessa forma, a pesquisa busca responder esse problema utilizando a modelagem matemática, da Pesquisa Operacional, através da linguagem computacional Julia utilizando método heurístico e metaheurístico, com a finalidade de melhorar e buscar a otimização do sistema logístico empresarial de distribuição.

1.1 OBJETIVOS

Neste capítulo é apresentada a meta a ser alcançada com o trabalho, mostrado na Seção 1.1.1, e o processo para chegar no objetivo, descrito na Seção 1.1.2.

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa objetiva-se a estudar e propor uma melhor alternativa de rotas de entrega numa empresa atacadista utilizando métodos de Pesquisa Operacional, com base no Problema do Caixeiro Viajante via métodos heurísticos e metaheurísticos, com o intuito de minimizar a distância percorrida e conseqüentemente os custos das rotas.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Estudar métodos heurísticos e a linguagem de programação Julia;
- b) Identificar empresa, coletar dados, identificar o problema e modelar o problema como uma variante do PCV;
- c) Utilizar pacotes de otimização da linguagem de programação Julia para resolver o problema;
- d) Realizar testes computacionais e comparar com rotas realizadas pela empresa.
- e) Tecer considerações finais sobre o problema estudado e as soluções encontradas.

1.2. JUSTIFICATIVA

As diversas técnicas da Pesquisa Operacional (PO) para solucionar problemas logísticos ainda são pouco utilizadas em aplicações reais, apesar de serem técnicas muito antigas, principalmente ferramentas de otimização e métodos de solução para problemas de transporte são desconhecidos na maioria das empresas de pequeno porte. O conhecimento sobre o assunto nessas empresas é limitado e pouco empregado.

A logística é um setor que abrange atividades como sistemas de distribuição, armazenamento, entre outros. Entre esses setores, os sistemas de distribuição sofrem maiores pressões quanto ao cumprimento de prazo, redução de custo. Uma das formas de melhorar esse sistema é através da abordagem do Problema do Caixeiro Viajante, que pode ser resolvido por diferentes técnicas de definição de rotas da PO.

Dentre os diversos problemas resolvidos por técnicas de PO, tem-se o Problema de Rotas, que está presente no dia-a-dia de algumas empresas, principalmente de grande porte, e consome parte considerável de recursos. Tal problema é essencial, pois através do mesmo, os produtos chegam até os consumidores. Apesar de ser extensamente estudado por pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, o problema de rotas é considerado atual e relevante de ser estudado, sobretudo quando considerado em aplicações reais.

As pesquisas realizadas até então com foco em técnicas de PO utilizou como instrumento de estudo empresas de grande porte, por isso esta monografia focou no

uso dessas técnicas em uma empresa de pequeno porte com a finalidade de mostrar que os impactos destas técnicas também têm efeitos consideráveis em outros portes de empresas. Uma parte considerável das empresas de pequeno porte tem características de empresa familiar e pouca mão de obra qualificada, o que dificulta o desenvolvimento e acesso à informação técnica. Características estas que incentivou a escolha de uma pequena empresa para estudo.

Diante do exposto e considerando a importância da logística e do Problema de Rotas, este trabalho aborda o problema de distribuição de mercadorias em uma pequena empresa atacadista de peças de bicicletas do interior do estado de São Paulo a fim de demonstrar o impacto desse problema quando estudado. Além disso, mostra a importância do estudo da Pesquisa Operacional para solução de problemas empresariais dos mais diversos ramos e tamanhos e os possíveis impactos desse estudo.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta monografia está estruturada em 5 (cinco) capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1: apresenta a contextualização seguida da problemática de pesquisa, justificativa, objetivos e mostra a organização do trabalho em cada capítulo.

Capítulo 2: expõe o referencial teórico, trazendo conceitos referentes à definição de Pesquisa Operacional, Problemas de Transporte, Problema do Caixeiro Viajante, linguagens de programação e pacotes, heurísticas, metaheurísticas.

Capítulo 3: apresentam os procedimentos metodológicos, iniciando com o enquadramento metodológico da pesquisa, seguido pelas definições de análise dos dados, especificação dos métodos de coleta e análise dos dados e, por fim, os passos a serem percorridos para alcançar os objetivos propostos.

Capítulo 4: apresenta os resultados computacionais a partir de algoritmos que utiliza métodos heurísticos e metaheurísticos e suas análises.

Capítulo 5: traz um resumo dos principais resultados encontrados seguido pelas limitações desta pesquisa e as considerações finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentado um breve histórico da Pesquisa Operacional, uma breve apresentação da Logística e um pouco das responsabilidades desse segmento, os principais problemas de transporte abordados pela Pesquisa Operacional, alguns métodos de soluções, como as heurísticas e metaheurísticas, a linguagem computacional e pacotes utilizados nessa pesquisa.

2.1. PESQUISA OPERACIONAL (PO)

O termo Pesquisa Operacional, que também é conhecida como Tecnologia da Decisão, surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, por cientistas britânicos, com a invenção do radar que interceptava aviões inimigos, que através de análises científicas de auxílio e apoio as tomadas de decisões a respeito da utilização de material de guerra e organização de ataques (TAHA, 2008; ARENALES et al., 2015). A PO evoluiu a ponto que em 1957 ocorria a primeira conferência internacional da PO em Oxford, na Inglaterra. (ARENALES et al., 2015).

As pesquisas a respeito foram evoluindo e surgindo diversas técnicas de modelagem matemática como a Programação Linear, Programação Inteira, Programação Dinâmica, Otimização em Redes e Programação Não Linear, entre outros, todos com o mesmo objetivo de “otimizar” algo específico sujeito a restrições, ou seja, na busca por soluções viáveis, seja de minimização ou maximização, satisfazendo restrições específicas. Nem sempre os algoritmos são capazes de encontrar a melhor solução e então procura por soluções suficientemente boas usando heurísticas (TAHA, 2008).

A PO e suas técnicas tem vasta aplicação em pesquisas científicas, estudos de casos, problemas de substituição de equipamentos, fluxo em redes, programação de máquinas, teoria de estoques, de filas e de jogos. Os problemas abordados não são restritos a setores, ou seja, podem ser aplicados em setores privados e públicos e independentes do ramo de atuação. Na década de 60, a Pesquisa Operacional era estudada somente nas pós graduações, a partir da década de 70 passou a ser abordada em cursos de graduação. No Brasil, a PO iniciou-se na década de 60 e o primeiro simpósio ocorreu em 1968 no ITA, em São José dos Campos, SP. A Pesquisa Operacional é reconhecida pela tomada de decisão com enfoque

científico, que determina como melhor operar um sistema e determinado projeto com recursos escassos. A busca por essas soluções eficazes se dá através da modelagem matemática, que faz uma representação da realidade através de relações matemáticas, com uso de variáveis estabelecidas para descrever o comportamento do sistema estudado (ARENALES et al., 2015).

Existem diferentes linguagens de programação, softwares computacionais que são utilizados para a resolução de um problema utilizando técnicas de otimização, dentre eles, a linguagem de programação Julia, que é abordada na Seção 2.7.

2.2. LOGÍSTICA

Na antiguidade, o movimento de mercadorias e consumo eram restritos, em alguns casos o consumo devia ser imediato, devido à ausência de desenvolvimento dos sistemas logísticos. Atualmente, há áreas no mundo onde isso ainda ocorre, como aldeias na Ásia e África. Entretanto, houve uma grande evolução dos sistemas logísticos, o que possibilitou a descentralização da produção, passando a ficar em locais mais afastados dos centros consumidores. Um dos motivos se dá pelo fato da produção em larga escala, que tornou o transporte mais eficiente (mesmos custos para transportar mais produtos). Com o passar do tempo, a logística tornou-se responsável pelo gerenciamento coordenado da movimentação e armazenagem (BALLOU, 2006).

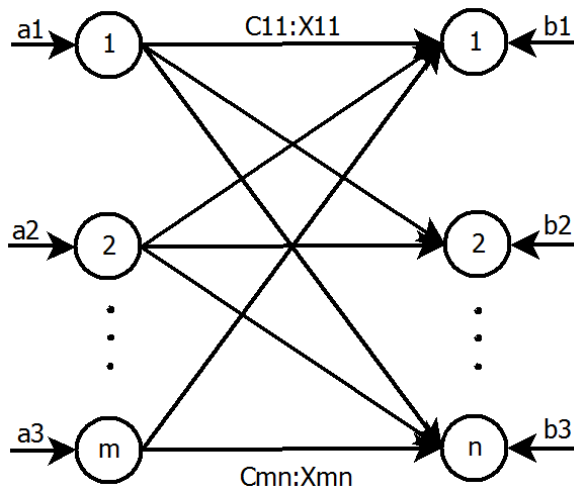
A logística empresarial, também conhecida como gerenciamento da cadeia de suprimentos, é responsável pelo abastecimento, distribuição e suprimento de insumos e produtos, manuseio de materiais, gestão de fluxo de materiais. Além disso, a logística tornou-se um dos fatores com maior potencial competitivo existente no âmbito interno a empresa (ROHM et al., 2010), tendo por objetivo atender aos pedidos, no tempo combinado, na quantidade correta, em boas condições, no lugar certo, com o menor custo possível. Dentro das funções da logística cabe a determinação do projeto de rotas de entrega/coleta e localização de facilidades, que definem localização de centros de distribuição (CD), pontos de transbordo, centros de saúde, escolas, corpo de bombeiros, ou seja, são problemas que ocorrem tanto em setores privados quanto públicos de forma a facilitar o acesso do público alvo (ARENALES et al., 2015).

2.3. PROBLEMAS DE TRANSPORTE

O elemento transporte é o mais importante do sistema logístico empresarial e representa entre 33% a 66% dos custos logísticos. Desta forma, o transporte se torna um diferencial competitivo quando utilizado de maneira eficiente e barata, pois o usuário compra o desempenho deste sistema (BALLOU, 2006).

Os problemas de transporte têm importância dada pela distribuição de produtos com o menor custo possível que atenda os limites de fornecimento e demanda, desde o centro de produção (origem) até o cliente (destino). Neste caso leva-se em consideração o custo unitário transportado de determinada origem até certo destino, ou seja, leva em consideração a quantidade transportada. Aqui também podem ser considerados pontos de transbordo, localidade intermediária, denominado como problemas de transbordo. Esses problemas também são vistos como problemas de otimização em redes (ARENALES et al., 2015; TAHA, 2008). A Figura 1 exemplifica um problema de transporte genérico.

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE TRANSPORTES COM NÓS E ARCOS



FONTE: A AUTORA (2018)

O problema de transporte se baseia no transporte de mercadorias desde suas origens até seus destinos, considerando fatores de custos, distância, demanda e capacidades de cada fator utilizado durante a distribuição.

Dentro do sistema de transporte há cinco modais básicos, aquaviário, ferroviário, dutoviário, aeroviário, rodoviário. Eles podem ser utilizados combinados ou da forma que a empresa achar que garanta qualidade com baixo custo. Como já

abordado no Capítulo 1, o rodoviário é o meio mais utilizado no Brasil, este meio tem como uma das vantagens o serviço porta a porta (BALLOU, 2006). No caso deste trabalho, a empresa é controladora do transporte, pois a distribuição dos produtos é realizada por caminhões de propriedade da empresa.

Os custos de transporte são incorridos de fatores fixos e variáveis, dentre eles mão de obra, combustível, pedágio, manutenção, administrativos e muitos outros. Os fatores variáveis são aqueles que dependem diretamente do volume de operação, enquanto os fixos não dependem diretamente, esta classificação não é totalmente precisa, afinal, todos os custos são em partes fixos e variáveis (BALLOU, 2006).

É possível definir uma relação entre o custo e quantidade transportada, de forma proporcional ao aumento da quantidade transportada menor o custo do transporte por unidade. Isso demonstra a realidade, uma vez que transportar um produto decorrem dos mesmos custos que transportar o caminhão carregado de produtos (BALLOU, 2006).

2.3.1. PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV)

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV ou *Traveling Salesman Problem - TSP*) é classificado como problema de otimização combinatória, onde o objetivo é realizar um trajeto para o vendedor/entregador de forma que o mesmo percorra uma única vez o caminho até cada cliente e retorne a sua origem com a menor distância possível atendendo a todos os clientes. Os clientes são localizados em determinados endereços, que no problema é tratado como nó e recebe pesos para o cálculo de distância. O problema pode ser abordado de forma simétrica ou assimétrica. A simétrica considera que a distância entre dois pontos, A e B é a mesma de B e A. O que não acontece na forma assimétrica. Este trabalho adotou como abordagem a simétrica, dado que o vendedor percorreria o mesmo caminho e mesma distância de A para B e de B para A (ARENALES et al., 2015). O TSP é comumente utilizado para buscar soluções em problemas de otimização, sobretudo, envolvendo rotas e também em alguns problemas mais específicos nas engenharias. Dessa forma, o uso desse tipo em problemas de transporte de distribuição/atendimento pode ser uma forma válida de tratamento (GRECO, 2008).

Como já abordado no Capítulo 1, essa técnica trata de problema de definição de rotas utilizando métodos de grafos orientados ou não. Problema clássico e importante fonte de muitos trabalhos de minimização de distância. As variáveis do problema são tratadas como binárias, onde o veículo percorre ou não determinado percurso, respeitando as restrições de passar por cada cidade uma única vez e retornar a origem. É possível criar variantes do problema mudando a quantidade de caixeiros existentes e encontrar uma solução mínima para a distância total percorrida para cada caixeiro. Também é possível minimizar custo subtraindo da função objetivo custos de viagem e aquisição. Ou mesmo maximizando lucro, levando em consideração a receita (ARENALES et al., 2015).

Supondo um grafo não orientado, $G = (N, E)$, sendo E o conjunto de arestas entre cidades e N o conjunto nós, representando cidades e qualquer caminho entre uma cidade i e uma cidade j exista uma aresta (i, j) e tenha uma distância dada por $c_{ij} = c_{ji}$ (problema simétrico). O caixeiro deve realizar um ciclo hamiltoniano do grafo G , ou seja, passar pelas N cidades uma única vez e retornar a sua cidade de origem e consiste no objetivo a rota de distância mínima (ARENALES et al., 2015). O modelo matemático está descrito a seguir:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} c_{ij} x_{ij}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o caixeiro vai diretamente da cidade } i \text{ para a cidade } j, i \neq j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, n, j \neq i$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ji} = 1, i = 1, \dots, n, i \neq j$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \notin S, j > i} x_{ij} + \sum_{i \notin S} \sum_{j \in S, j > i} x_{ij} \geq 2, S \subset N, 3 \leq |S| \leq \lfloor n/2 \rfloor$$

A última restrição, com o S de sub-rotas, elimina possíveis sub-rotas do problema (ARENALES et al., 2015). Entretanto, esta restrição tem impacto negativo na resolução do problema, tornando o problema bastante complexo.

O PCV pode ser tratado através de diferentes estratégias como busca tabu, *branch-and-bound*, algoritmos genéticos, otimização por colônia de formigas, vizinho mais próximo, metaheurística *simulated annealing*, entre outros (CAZETTA, 2015).

2.4. MÉTODOS HEURÍSTICOS

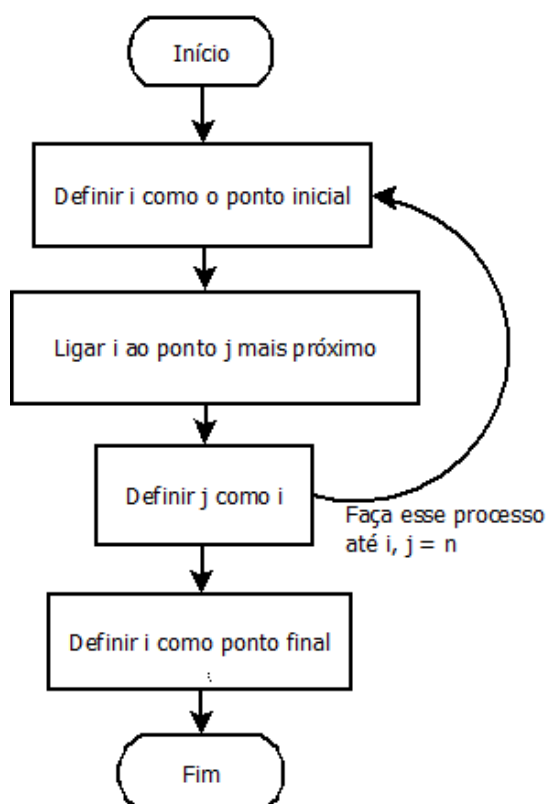
Os métodos heurísticos abordam problemas complexos na busca por uma solução suficientemente boa, por um custo computacional aceitável, entretanto não garantem a otimalidade da solução do problema (JEFFERSON; ARAÚJO; SCHIMIT, 2018). Os métodos heurísticos têm como característica o desenvolvimento de algoritmo específico para um problema particular. Utilizados em problemas específicos e particulares com entradas de grandes dimensões (CAZETTA, 2015). A seguir, são apresentados alguns métodos heurísticos.

2.4.1. VIZINHO MAIS PRÓXIMO

Essa heurística opera com matriz distância entre nós/clientes. É determinado um ponto inicial e a partir dele selecionado o nó mais próximo, ou seja, leva em consideração a menor distância entre nós. Os demais pontos são acrescentados conforme necessidade da rota, levando em consideração a distância do ponto anterior a ele. Esse processo ocorre até que seja concluída a quantidade de nós solicitada (REIS et al., 2016).

A heurística do vizinho mais próximo também é conhecida como heurística construtiva ou heurística gulosa (ARENALES et al., 2015). O algoritmo inicializa na cidade i ($i = 1, 2, \dots, n$), a partir dela é ligada a uma cidade j ($j = 1, 2, \dots, n$) mais próxima da cidade i . Esse procedimento continua até que não restem mais cidades para ligar (REIS et al., 2016). Em casos de empate, a escolha do nó se dá arbitrariamente. A qualidade da solução encontrada é diretamente dependente do ponto inicial (TAHA, 2008). Este algoritmo segue o fluxograma apresentado na Figura 2.

FIGURA 2 – VIZINHO MAIS PRÓXIMO



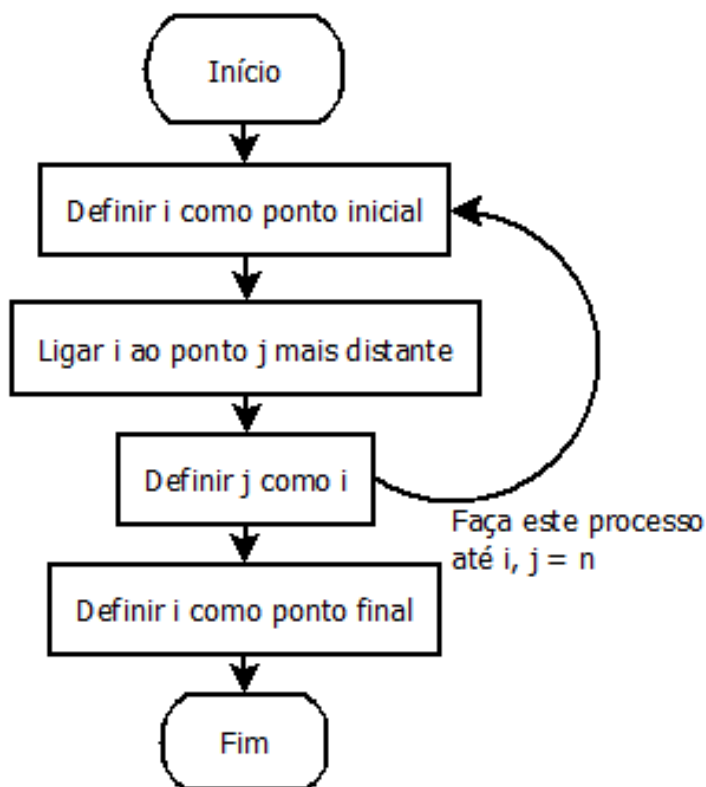
FONTE: A AUTORA (2018)

A heurística se encerra quando todos os clientes estejam incluídos na rota.

2.4.2. VIZINHO MAIS DISTANTE

Conhecida também como *Farthest Insertion*, uma estratégia de inserção de longas distâncias. Esta heurística inicia a construção da rota ligando ao ponto de origem ao ponto mais distante, de forma que cause o menor impacto negativo no objetivo, respeitando as restrições do problema (MOREIRA, 2018). Ou seja, ao contrário da heurística abordada no capítulo anterior, seção 2.4.1, a heurística do vizinho mais distante aborda o algoritmo levando em consideração o critério de seleção do nó j aquele que possui a maior distância do nó i . Esse método segue o fluxograma apresentado na Figura 3.

FIGURA 3 – VIZINHO MAIS DISTANTE



FONTE: A AUTORA (2018)

Desta forma, o processo se encerra quando todos os pontos tenham sido inseridos na rota.

2.5. METAHEURÍSTICAS

As metaheurísticas são conjuntos de heurísticas, o que o torna um método útil para soluções de otimização complexas, podendo utilizar de várias funções objetivos e restrições complicadas e realistas. Tanto esse método quanto o heurístico são métodos viáveis para resolução de problemas com quantidades altas de nós (JEFFERSON; ARAÚJO; SCHIMIT, 2018). Ao contrário dos métodos heurísticos abordados no capítulo anterior, seção 2.4., as metaheurísticas são de uso geral, utilizando-se de estratégias para contornar mínimos locais encontrados nos espaços de soluções e são utilizados em quaisquer problemas de otimização (CAZETTA, 2015). As metaheurísticas têm como característica o uso de técnicas que guiam as soluções daquelas geradas pelas heurísticas. As metaheurísticas mais utilizadas são as conhecidas como colônia de formigas, algoritmo genético, *simulated annealing*,

busca tabu, entre outros. Todos utilizam de técnicas estratégicas para explorar o espaço de busca por solução (ARENALES et al., 2015).

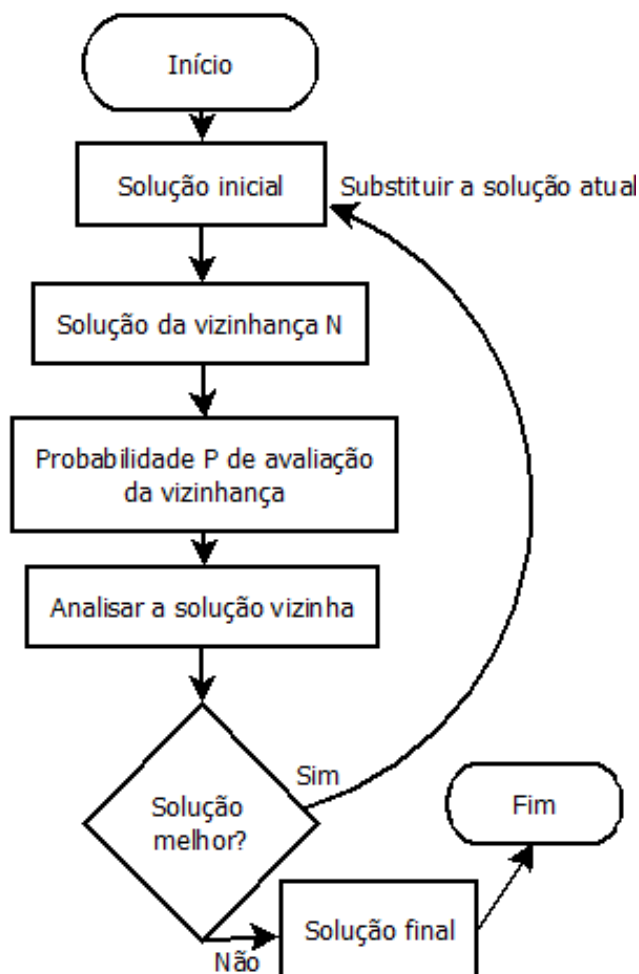
2.5.1. *SIMULATED ANNEALING* (SA)

A metaheurística *simulated annealing*, que significa arrefecimento simulado ou Recozimento Simulado, busca soluções aleatoriamente pelo espaço de soluções e é aplicado em problemas com múltiplos objetivos de otimização. O SA tem sua base em princípios de mecânica estatística, principalmente no arrefecimento de metais que exigem um resfriamento lento para obter um ajuste molecular que torna o material mais resistente (MORAIS et al., 2017).

Utiliza probabilidades que auxiliam na busca de soluções piores com intuito de evitar mínimos/máximos locais, onde a probabilidade de aceitação de tais soluções decresce durante as buscas (LOPES, 2013).

Generalizando, com base numa solução inicial e uma tendência da vizinhança, denominada como N , e cada solução dessa vizinhança tem probabilidade P para ser avaliada. As soluções vizinhas também são conhecidas como busca local e refinamento. Se essa nova solução acarretar em uma melhora de custo ou distância, ela substitui a solução atual (AMARAL; ROSA, 2015). Este processo segue o fluxograma apresentado na Figura 4.

FIGURA 4 – SIMULATED ANNEALING.



FONTE: A AUTORA (2018).

Desta forma, o algoritmo procura melhores soluções através da vizinhança da solução inicial.

2.6. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON

A linguagem de programação Python é livre e de alto desempenho, instituída pela *Python Software Foundation* em 2001 (SILVA, 2018). O Python é uma linguagem de programação sucinta, ou seja, que permite a programação completa em poucas linhas de código, devido às várias caixas de ferramentas, onde são encontradas funções de alto nível e expressivas. Esta linguagem possui linhas de comando interativas e apresenta boa produtividade (CASTELLUCCI, 2017). Esta linguagem de programação foi utilizada para converter os endereços em coordenadas de latitude, longitude e para ser construída a matriz distância.

2.7. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JULIA

A linguagem de programação Julia tem código aberto e busca melhorar desempenho das linguagens *Python* e C, em relação à produtividade e eficiência, respectivamente. Essa linguagem tem sido frequentemente utilizada em disciplinas, pesquisas e já possui diversos artigos e publicações científicas em diversas áreas, além de permitir a personalização pelo usuário do procedimento do resolvidor, que facilita explorar as características específicas de determinados problemas (CASTELLUCCI, 2017).

A linguagem de programação *Julia* é uma alternativa recente, livre e *open source* para o *Matlab*, este conhecido por ser um dos softwares mais clássicos da modelagem matemática. O Julia possui sintaxe semelhante e tempo de execução relativamente menor que o *Matlab* (PEREIRA E SIQUEIRA, 2017). Por isso, o Julia foi a linguagem de programação utilizada nesse estudo. O Julia utilizado foi o disponível pelo link <https://juliabox.com/> e também através da versão 0.6 na plataforma Atom.

2.7.1. PACOTE TRAVELINGSALESMANHEURISTICS

Este pacote foi utilizado na linguagem *Julia* para a solução do PCV. O pacote inclui 3 (três) principais modelos, de heurísticas e metaheurísticas, e apresenta a solução da que obteve melhor resultado da função objetivo. Ou seja, o pacote utiliza algumas heurísticas para solução do PCV. As heurísticas utilizadas nesse pacote foram vizinho mais próximo, vizinho mais longe e a metaheurística *simulated annealing*. Essas heurísticas e a metaheurística foram apresentadas nas seções 2.4 e 2.5.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção se encontra o enquadramento da pesquisa levando em consideração a sua natureza e abordagem, variáveis do problema estudado, ferramentas de coleta e de análise dos dados e o protocolo de pesquisa.

3.1. ENQUADRAMENTO

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, pois é necessário conhecer como ocorre o processo de definição de rotas para as entregas das peças de bicicletas e propor melhorias para a redução das distâncias percorridas nas rotas. Influenciando diretamente na redução dos custos da empresa referentes ao sistema de distribuição de mercadorias, utilizando métodos heurísticos e metaheurísticos.

Quanto a forma de abordagem, as pesquisas podem ser quantitativas ou qualitativas. A pesquisa qualitativa considera que há um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números (GIL, 2009). Já a pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, isto é, pode ser traduzido em números e informações a fim de classificá-las e analisá-las sob algum aspecto (SILVA, MENEZES, 2005).

Este estudo é classificado como pesquisa quantitativa, pois tem por objetivo a redução das distâncias das rotas, dados que são quantificados através da modelagem matemática e programação, em diferentes rotas realizadas para a entrega de peças de bicicletas.

O trabalho tem abordagem quantitativa e natureza aplicada, uma vez que coletado os dados, que descrevem o processo de entrega das mercadorias, os dados são transformados em valores numéricos (coordenadas de latitude e longitude ou distância de um ponto referência). A pesquisa quantitativa utiliza métodos de modelagem e simulação para redução dos custos e distâncias (MIGUEL et al., 2012).

3.2. VARIÁVEIS

O modelo foi aplicado numa empresa atacadista de peças de bicicletas do interior de São Paulo, que não possui centros de distribuição. A empresa conta com uma equipe de sete vendedores cada um com três regiões distintas e quatro condutores que entregam as mercadorias e quatro caminhões.

Este trabalho teve intuito de identificar as melhores rotas dados as variedades de clientes da entrega de diversas regiões, sem levar em consideração outras variáveis possíveis. Dessa forma, os dados coletados foram os endereços dos clientes de determinadas entregas para a identificação dos pontos de entrega, dados estes considerados constantes do problema. Enquanto as variáveis foram definidas como sendo as que determinassem o caminho a ser seguido.

3.3. FERRAMENTAS DE COLETA

As ferramentas de coleta e preparação dos dados foram através do software computacional da empresa, para coleta dos dados do banco de dados da própria plataforma, e a utilização da linguagem *Python* para transformação dos endereços em coordenadas e construção da matriz distância. A linguagem Julia foi utilizada para análise e determinação da rota. A coleta de informações relevantes ao problema de distribuição foi direcionado principalmente aos responsáveis das regiões.

3.4. ANÁLISE

A modelagem abstrata segue o modelo de programação determinística no método de otimização utilizando de heurísticas e metaheurística com o objetivo de minimizar distância sujeita a um conjunto de restrições (MIGUEL et al., 2012). Neste trabalho foi utilizado o modelo do Problema Caixeiro Viajante através do pacote *travelsallemheuristics*, classificado como método heurístico (ARENALES et al., 2015) e também a metaheurística *simulated annealing* para busca de melhores soluções através de testes de vizinhança.

Ao estudar o problema tornou-se possível a identificação, modelagem do problema e desenvolvimento do algoritmo de otimização, para então realizar a

programação e implementar, onde foi utilizada a linguagem *Python* como ferramenta para transformar os endereços em coordenadas através *geocoder*, código que sincroniza com o Google Maps para identificação dos endereços, onde ocorre a transformação dos endereços em coordenadas e construção da matriz distância entre esses clientes.

Após a coleta de dados e padronizados na formatação do Google, o código em linguagem Python foi usado para transformar a listagem dos endereços em matrizes de latitude e longitude.

A partir da matriz de latitude e longitude, deu-se início a transformação das latitudes e longitudes, através das fórmulas mostradas abaixo e programada também na linguagem *Python*, para construção da matriz distância, mensuradas em metros, utilizada na programação em Julia.

$$i = (LAT_i, LONG_i)$$

$$c_{ij} = 6731 \cdot \arccos(z_{ij})$$

$$z_{ij} = \frac{\cos((90 - LAT_i) \cdot \pi)}{180} \cdot \frac{\cos((90 - LAT_j) \cdot \pi)}{180} + \frac{\sin((90 - LAT_i) \cdot \pi)}{180} \cdot \frac{\sin((90 - LAT_j) \cdot \pi)}{180} \cdot \frac{\sin((LAT_i - LAT_j) \cdot \pi)}{180}$$

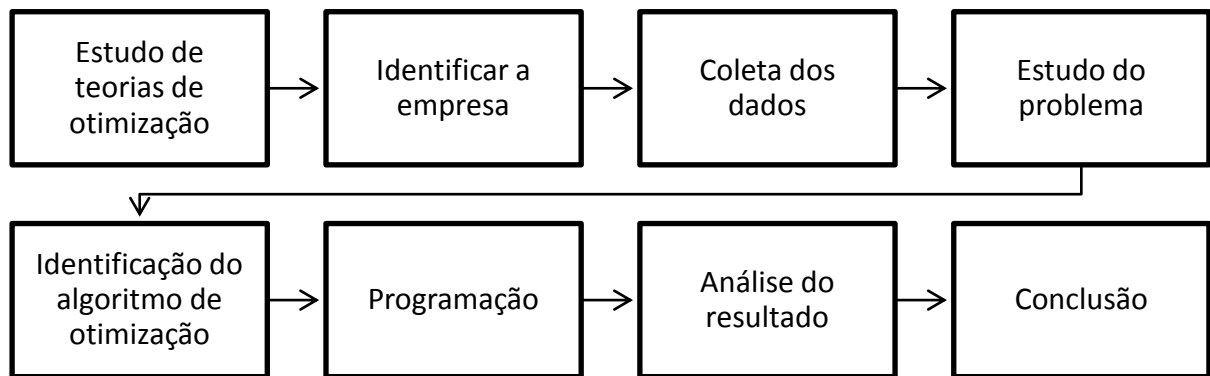
Através dessas fórmulas, os dados de latitudes e longitudes foram convertidos em distância dada em metros e construída a matriz distância pela linguagem de programação *Python*. A matriz foi posteriormente usada na programação em Julia para resolver o PCV. A linguagem de programação Julia foi utilizada para resolução do problema, para quantificar as variáveis do problema, que no caso deste trabalho a variável é binária por fornecer informação favorável ou não a escolha de determinado caminho entre dois endereços.

Com a matriz e o pacote *travelsallesmanheuristics*, no Julia, a programação, através da utilização de heurísticas e metaheurística, busca encontrar o menor caminho que inicie por sua origem e passe por todos os pontos uma única vez e retorne a sua origem. Após a realização dos testes computacionais foram realizadas análises dos resultados e comparações com os métodos empíricos, e, por fim, concluído o trabalho.

3.5. PROTOCOLO DE PESQUISA

A pesquisa respeita o fluxograma apresentado na Figura 5.

FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA PESQUISA



FONTE: A AUTORA (2018)

A primeira etapa representada pelo estudo de teorias de otimização se dá através da revisão de literatura, com pesquisa de modelos implementados para a solução do problema de distribuição. Em seguida, o objetivo foi encontrar uma empresa para a coleta dos dados e coletar informações suficientes para realizar o estudo do problema, entre as informações obtidas se encontram o endereçamento dos clientes de 3 (três) regiões distintas.

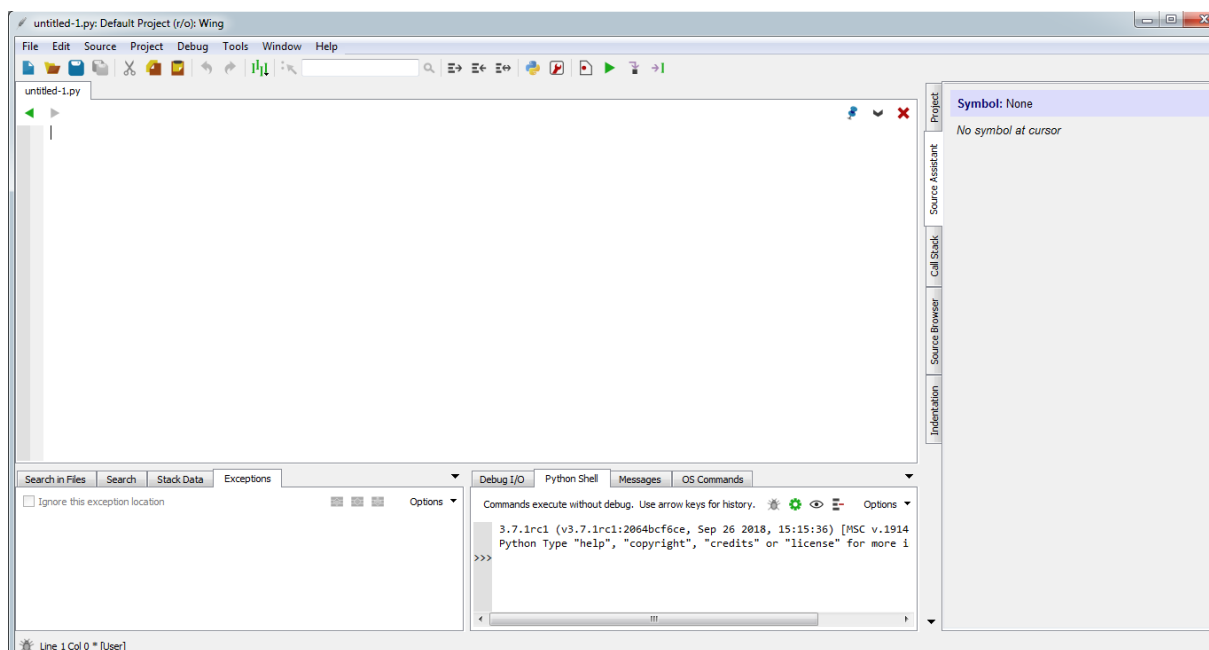
A seguir foi identificado o algoritmo e realizada a programação para encontrar resultado/solução do PCV. Com a solução, os dados foram comparados com relatórios apresentados pela empresa a respeito das distâncias percorridas em cada região analisada. Por fim, as conclusões obtidas dos resultados.

4. RESULTADOS

Este trabalho buscou apresentar comparações entre a solução computacional e resultados praticados de três regiões diferentes para mostrar as possíveis melhorias quando o problema é tratado pela empresa na busca por redução de gastos, entretanto, foram encontrados empecilhos durante a execução do trabalho que acabou favorecendo uma única região para pesquisa.

Para a programação e resultados foi utilizado notebook com sistema operacional *Windows* de 64 bits, processador Intel® Core™ i3, por meio do programa *Wing IDE Personal 6.1.Ink* para a programação da linguagem *Python*, site <https://juliabox.com/>, para a região 1, e a versão *Julia 0.6* executada na plataforma *Atom*, para as regiões 2 e 3, no sistema operacional *Linux*.

FIGURA 6 – INTERFACE *WING IDE PERSONAL 6.1 INK*



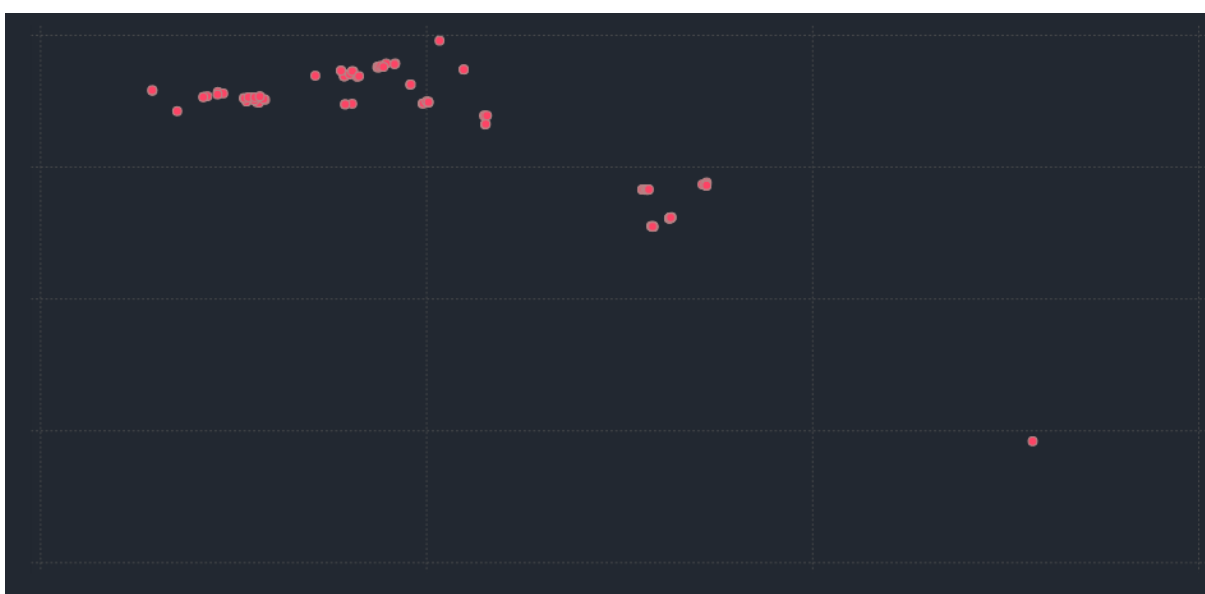
FONTE: PRINT SCREEN DO *WING IDE PERSONAL 6.1 INK*

Todas as soluções apresentaram tempos semelhantes de processamento na linguagem de programação *Julia* de aproximadamente 3 segundos, utilizando como principal heurística a do vizinho mais longe como solução inicial e aprimorando com a metaheurística *simulated annealing*. Tempo este pequeno, principalmente comparado com o tempo de tomada de decisão a respeito do trajeto de entrega que demora alguns minutos.

4.1. REGIÃO 1

A primeira região coletada, denominada como região 1, integra 101 endereços de clientes, que acarreta numa matriz quadrada de dimensão 101x101. Essa região abrange as seguintes cidades: Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Itu, Monte Mor, Piedade, Porto Feliz, Rio das Pedras, Saltinho, Salto, Salto de Pirapora, Sorocaba, Votorantim, Mineiros do Tietê, Brotas, Dois Córregos e Torrinha. Os pontos de atendimento desta região podem ser observados da Figura 7.

FIGURA 7 – CLIENTES DA REGIÃO 1



FONTE: A AUTORA (2018)

Com a programação em *Julia* foi obtida como distância mínima a ser percorrida o valor de 940,43km nessa região e como roteiro a seguinte sequência de clientes:

1, 90, 88, 93, 86, 92, 91, 85, 84, 87, 89, 80, 78, 79, 83, 81, 82, 34, 33, 30, 31, 32, 7, 4, 6, 2, 5, 3, 9, 8, 24, 23, 21, 19, 16, 14, 11, 18, 10, 12, 17, 20, 13, 15, 40, 36, 43, 35, 41, 39, 45, 46, 44, 42, 47, 37, 38, 22, 69, 70, 68, 67, 71, 66, 25, 26, 48, 62, 64, 59, 56, 53, 60, 61, 57, 50, 49, 54, 65, 55, 63, 58, 51, 52, 29, 27, 28, 101, 100, 99, 98, 97, 95, 94, 96, 75, 76, 72, 73, 74, 77, 1

Enquanto o trajeto originalmente realizado pela empresa percorre uma distância total de 1026km.

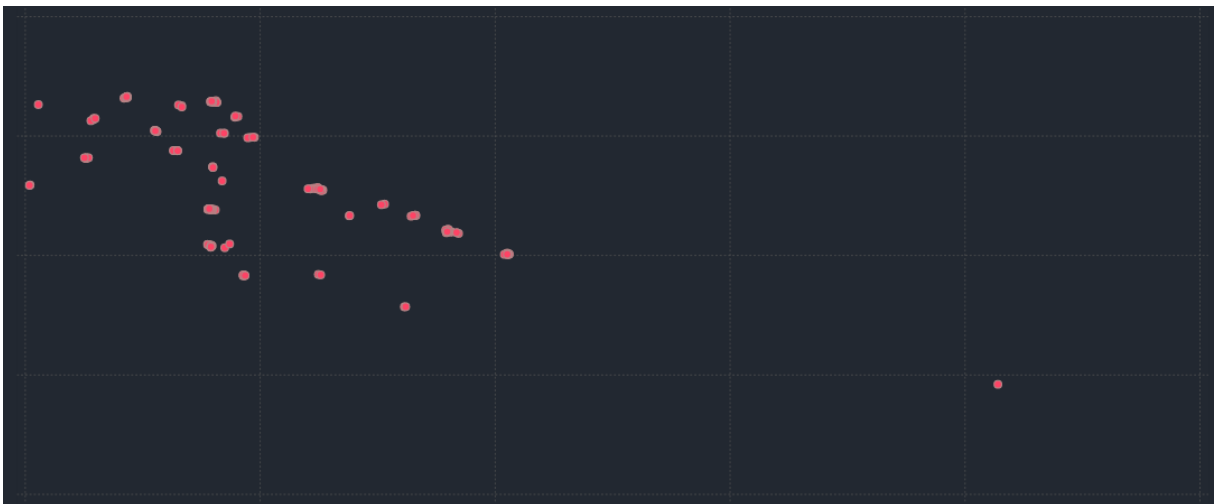
É de extrema importância salientar que o algoritmo foi executado levando em consideração o atendimento de todos os clientes ativos da região 1, enquanto o

trajeto da empresa na realidade não atende necessariamente todos naquele período, uma vez que não são todos os clientes que realizam o ato de comprar produtos em um mesmo período de atendimento. Ou seja, o algoritmo rodou no melhor cenário, onde todos receberiam suas encomendas. E mesmo levando isso em consideração o algoritmo foi capaz de reduzir o percurso total em 8,34%.

4.2. REGIÃO 2

Para a região 2 foram levantados 164 endereços, que atende as seguintes cidades: Agudos, Angatuba, Areiópolis, Avaré, Bofete, Boituva, Botucatu, Cerqueira César, Cesário Lange, Cerquilha, Conchas, Guareí, Itatinga, Lençóis Paulista, Tietê, Tatuí, Laranjal Paulista, São Manuel, Porangaba, Pratânia, Pereiras, Pardinho, Iaras e Espírito Santo do Turvo. Estes endereços estão representados na Figura 8.

FIGURA 8 – CLIENTES DA REGIÃO 2



FONTE: A AUTORA (2018)

Através desses endereços, foi realizado o mesmo processo da região anterior, que foi a programação em Python para transformação dos endereços em coordenadas de latitude e longitude, que podem ser observados no apêndice B, e, ainda em Python, a construção da matriz distância. Na programação em Julia, para cálculo da rota, foi encontrado o seguinte resultado:

1, 121, 55, 73, 156, 43, 42, 60, 44, 47, 49, 41, 48, 6, 95, 13, 9, 11, 122, 2, 3, 8, 10, 128, 118, 119, 130, 129, 127, 131, 133, 124, 132, 134, 135, 90, 123, 117, 126, 125, 17, 99, 18, 83, 151, 52, 39, 75, 56, 63, 102, 61, 50, 57, 51, 62, 138, 59, 5, 137, 40, 147, 37, 38, 144, 145, 146, 19, 141, 54, 25, 85, 82, 139, 14, 140, 72, 45, 159, 162,

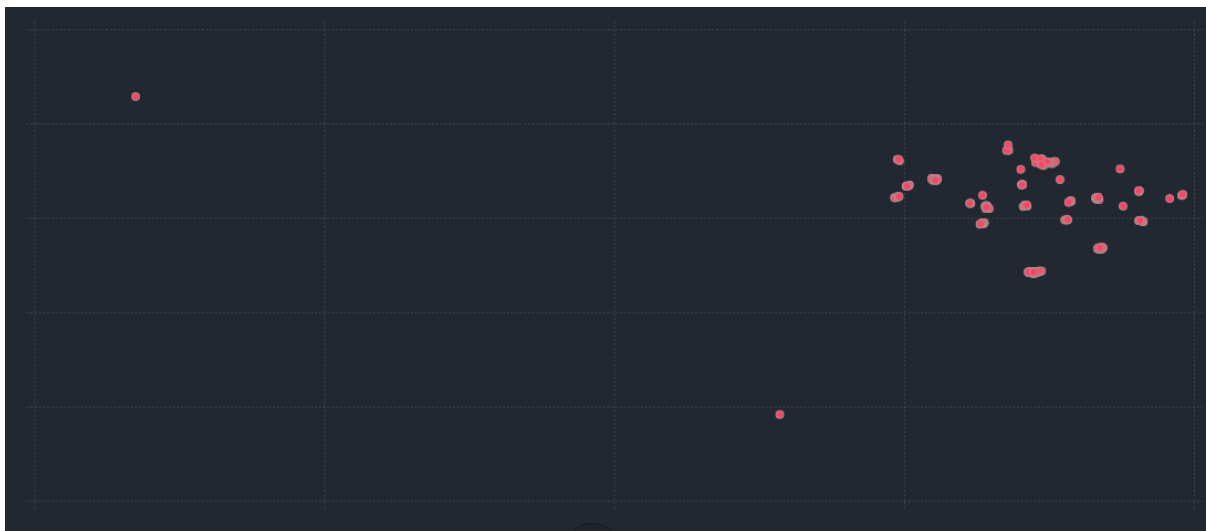
115, 58, 116, 142, 113, 160, 161, 157, 12, 164, 158, 163, 96, 74, 104, 46, 149, 64, 92, 120, 152, 154, 31, 153, 77, 76, 79, 80, 81, 78, 20, 94, 21, 91, 93, 89, 88, 30, 143, 53, 33, 4, 97, 84, 109, 100, 106, 107, 16, 111, 108, 68, 103, 110, 98, 105, 114, 112, 101, 27, 36, 29, 23, 32, 35, 26, 28, 22, 24, 7, 34, 70, 66, 71, 65, 148, 69, 67, 15, 86, 87, 136, 155, 150, 1.

Totalizando um caminho total de 1057 km, porém a região 2 não apresentou relatórios de seu percurso, não sendo possível comparar com os resultados obtidos computacionalmente.

4.3. REGIÃO 3

Por sua vez, a região 3 engloba 211 clientes, situados nas cidades de Altinópolis, Aramina, Barretos, Batatais, Brodowski, Buritzal, Franca, Guaira, Guará, Igarapava, Ipuã, Itirapuã, Ituverava, Jardinópolis, Miguelópolis, Morro Agudo, Nuporanga, Orlandia, Patrocínio Paulista, Pedregulho, Restinga, Ribeirão Corrente, Sales Oliveira, São Joaquim da Barra e São José da Bela Vista. Tais clientes podem ser observados na Figura 9.

FIGURA 9 – CLIENTES DA REGIÃO 3



FONTE: A AUTORA (2018)

Os mesmos processos foram realizados nessa região. Primeiramente a padronização dos endereços no padrão Google, programação em Python para transformação em latitudes e longitudes e construção da matriz distância, que

podem ser observados no apêndice C, e, por fim, o cálculo da rota pela linguagem Julia. Nesta região a programação Julia obteve a seguinte rota:

1, 119, 8, 59, 72, 5, 90, 98, 71, 132, 186, 44, 35, 39, 43, 36, 48, 23, 15, 10, 148, 51, 127, 126, 204, 16, 100, 12, 14, 29, 75, 33, 140, 28, 21, 67, 9, 27, 22, 13, 19, 20, 92, 11, 150, 25, 30, 54, 79, 88, 102, 125, 199, 91, 108, 89, 113, 87, 81, 101, 82, 171, 56, 208, 96, 160, 169, 168, 191, 193, 179, 31, 176, 178, 167, 175, 173, 185, 192, 182, 183, 172, 180, 174, 201, 205, 203, 200, 184, 118, 57, 115, 121, 197, 194, 32, 66, 196, 195, 159, 161, 151, 147, 142, 158, 123, 156, 24, 153, 154, 152, 146, 112, 211, 138, 149, 155, 69, 111, 103, 77, 53, 52, 157, 188, 62, 86, 94, 129, 130, 135, 105, 134, 136, 109, 106, 107, 128, 99, 80, 55, 145, 133, 104, 206, 207, 198, 190, 210, 70, 18, 78, 7, 26, 189, 131, 64, 40, 97, 85, 137, 63, 209, 58, 61, 74, 177, 60, 65, 181, 73, 68, 76, 122, 17, 6, 2, 4, 41, 38, 45, 34, 49, 95, 47, 84, 144, 139, 141, 143, 164, 166, 162, 116, 170, 165, 120, 202, 110, 163, 46, 42, 37, 117, 3, 124, 50, 187, 114, 93, 83, 1.

Totalizando uma distância de 1141 km, porém a região 3 não apresentou relatórios de seu percurso, não sendo possível comparar com os resultados obtidos computacionalmente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Pesquisa Operacional, com a utilização de técnicas de Otimização em Redes, tem ampla grande aplicabilidade em problemas reais. O presente estudo aplicou métodos heurísticos em uma empresa atacadista de peças de bicicletas, tendo como objetivo encontrar o caminho mais curto entre um ponto de origem e um ponto de destino numa rede de nós conectados entre si, por meio de arcos orientados. Cabe salientar que o uso de uma rota com menor caminho pode proporcionar para a empresa maior rapidez na entrega, redução de custos, redução de consumo de combustível, conseqüentemente redução de emissão de gases poluentes, e aumento do nível de serviço ao consumidor.

Com base nos resultados obtidos, é possível verificar que há melhorias disponíveis com relação à rota de entrega. Se levar em consideração a proporcionalidade entre a distância e o consumo de combustível, torna-se evidente a possível economia na mesma razão. Se considerar essa possível melhora nas outras regiões e mantiver um percentual próximo ao resultado apresentado, a economia anual teria grandes impactos na saúde financeira da empresa. Economia esta de grande importância para possíveis crescimentos, investimentos e mudanças na empresa. Considerando os 20% dos custos do produto são do transporte e que houve 8,34% de economia de percurso, isso pode representar cerca de 1,6% de redução do custo total do produto.

Desta forma, o Problema do Caixeiro Viajante mostra que é eficaz e capaz de reduzir a distância da rota, na mesma medida que é capaz de reduzir custos, seja de entrega ou de atendimento, assim como mostra sua importância e impactos econômicos e ambientais, independente da empresa analisada, seu ramo de atuação e tamanho.

As linguagens de programação são uma alternativa de auxílio para tomadas de decisão. Elas se mostraram uma ferramenta eficaz e de resposta rápida para realização de um planejamento de rotas de entrega. Além de utilizar técnicas, que não são de conhecimento de muitas empresas, para diminuição das distâncias, custos, tempo, que podem causar o aumento do lucro.

Portanto, conclui-se que este trabalho cumpriu com seu objetivo de apresentar os possíveis impactos da Pesquisa Operacional, através do Problema do

Caixeiro Viajante, e simultaneamente melhorar os conhecimentos de técnicas de otimização.

O presente trabalho contribui para a área acadêmica como uma possível fonte bibliográfica sobre a aplicação prática do problema de rotas na realidade de uma empresa de pequeno porte. No âmbito empresarial, este trabalho contribui ao expor a possibilidade de uso da técnica para apoiar o processo decisório, proporcionando benefícios para as empresas.

As embalagens possuem diversos tamanhos, pequenas, médias e grandes, além de não existir uma padronização das dimensões das caixas, devido a grande variedade dos produtos e seus tamanhos. Isso pode ser um problema para ser estudado futuramente, neste trabalho o foco foi a rota de entrega.

Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação deste mesmo problema em outras empresas de outros setores e a abordagem do Problema de Roteamento de Veículos, a fim de levar em consideração outros fatores que podem influenciar na viagem e conseqüentemente no custo, como por exemplo, horários pré-definidos para entregas, capacidade dos veículos que realizam as entregas utilizando os tamanhos das embalagens dentre outros.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, A.; MUNARI, P. Abordagens metaheurísticas para o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo e múltiplos entregadores. **Gestão da Produção**, São Carlos, v.23, n.2, 2016
- ALVES, F. S. Problemas de roteamento de veículos aplicados no planejamento logístico do transporte escolar da cidade de Coxim - MS. Dissertação de mestrado: Matemática aplicada e computacional, Universidade Estadual de Campinas, 2015.
- AMARAL, A. R. S.; ROSA, R. S. Metaheurística Simulated Annealing aplicada AP problema do roteamento bidimensional. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, FORTALEZA, 2015.
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. . .
- CARVALHO, M. B. DE. Aplicações de Meta-heurística Genética e Fuzzy no Sistema de Colônia de Formigas para o Problema do Caixeiro Viajante. Dissertação de mestrado: Departamento de Telemática, Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- CASTELLUCCI, P. B. JULIA E JuMP: Novas Ferramentas para Programação Matemática. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 48–61, 2017.
- CAZETTA, P. P. **Abordagens heurísticas para tratar o problema do caixeiro viajante preto e branco**. Dissertação de mestrado: Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- Confederação Nacional de Transporte (CNT). Boletim Estatístico – CNT – Janeiro de 2018. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ESTAT%20C3%8DSTICO/BOLETIM%20ESTAT%20C3%8DSTICO%202018/Boletim%20Estat%20C3%ADstico%20-%2001%20-%202018.pdf>>. Publicado em: fevereiro de 2018. Acesso em: 26 de abril de 2018.
- CORRÊA, A. Setor de transporte é o que causa mais impactos na qualidade do ar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/6191-setor-de-transporte-e-o-que-causa-mais-impactos-na-qualidade-do-ar>>. Publicado em: 24 de março de 2010. Acesso em: 15 de abril de 2018.
- GIL, Antonio C. Como elaborar projetos de pesquisas. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GRECO, F. Travelling Salesman Problem. 1. ed. Croatia: In-Teh, 2008.

JEFFERSON, S. DE A. L.; ARAÚJO, S. A. DE; SCHIMIT, P. H. T. Uma abordagem híbrida baseada em algoritmo genético e heurística do vizinho mais próximo para solução do problema de roteamento de veículos capacitado. **Acta Scientiarum**, v. 40, Technology, 2018.

LAVADO, T. No Chile, greve de caminhões durou 26 dias – e derrubou o governo. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/mundo/no-chile-greve-de-caminhoes-durou-26-dias-e-derrubou-o-governo-2/>>. Publicado em 25 de maio de 2018. Acesso em: 25 de maio de 2018.

LOPES, H. S.; RODRIGUES, L. C. de A.; STEINER, M. T. A. Metaheurísticas em Pesquisa Operacional. 1ª Edição. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e gestão de operações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MORAIS, W. B. et al. O Problema do Caixeiro Viajante com Limite de Calado : uma Abordagem usando Simulated Annealing. **XLIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL**, BLUMENAU, 2017.

MOREIRA, L. E. M. Problema de roteamento de veículos com custos de fronteira. Dissertação de mestrado: Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2018, 88p.

REIS, C. C. C. et al. Técnicas de Pesquisa Operacional aplicadas na otimização de rotas de uma rede de lojas de materiais de construção. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, João Pessoa, 2016.

ROHM, D. G. et al. A utilização do Milk Run em um sistema de abastecimento: um estudo de caso. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, São Carlos, 2010.

RS, G1. Com greve dos caminhoneiros, movimento no Porto de Rio Grande cai 6,65% em maio. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/com-greve-dos-caminhoneiros-movimento-no-porto-de-rio-grande-cai-665-em-maio.ghtml>>. Publicado em: 18 de junho de 2018. Acesso em: 18 de junho de 2018.

SEBRAE. Perfil das Microempresas e Empresas de Pequeno porte. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RO/Anexos/Perfil%20das%20ME%20e%20EPP%20-%202004%202018.pdf>>. Publicado em: 07 de maio de 2018. Acesso em: 12 de dezembro de 2018.

SILVA, D. M. DA. PHYTON: HISTÓRIA E ASCENDÊNCIA. **Programar**, p. 96–99, fev. 2018.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8^a ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.