



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Heurísticas Construtivas: A Otimização de Roteirização de um Microempreendedor Individual

**Thamires Maria Campos Zinato**

Centro Universitário de Belo Horizonte UNIBH

**Leila Santos Fernandes**

Centro Universitário de Belo Horizonte UNIBH

**Lucimar Venancio Amaral**

Centro Universitário de Belo Horizonte UNIBH

**Flávio Henrique Batista de Souza**

Centro Universitário de Belo Horizonte UNIBH

**Vladimir Alexei Rodrigues Rocha**

ECI – Universidade Federal de Minas Gerais

**Resumo:** A utilização de técnicas de otimização da literatura nem sempre é considerado pelo pequeno e micro empreendedor individual, acarretando desperdícios de recursos. Assim, esta pesquisa demonstra um processo de experimentação de heurísticas construtivas para um empreendedor individual, que atende a 302 pontos comerciais, atualmente divididos em 12 regiões de atuação. Foram aplicadas as heurísticas CW e NN\* para otimização das rotas percorridas em todo o Estado de Minas Gerais. Os ganhos de eficiência da roteirização chegam a 26% dependendo da rota analisada, figurando como um estudo de microempreendedor sobrevivendo em um período de pandemia pelo COVID-19 com o uso de ferramentas de gestão sofisticadas.

**Palavras-chave:** Roteirização, Microempreendedor Individual, Heurísticas.

## Constructive Heuristics: The Routing Optimization of an Individual Microentrepreneur

**Abstract:** The use of optimization techniques in the literature is not always considered by the small and micro individual entrepreneur, causing waste of resources. Thus, this research demonstrates a process of experimenting with constructive heuristics for an individual entrepreneur, who serves 302 commercial points, currently divided into 12 regions of operation. The CW and NN \* heuristics were applied to optimize the routes traveled throughout the state of Minas Gerais. Efficiency gains in routing reach 26% depending on the route analyzed, figuring as a study of microentrepreneur surviving in a pandemic period by COVID-19 using sophisticated management tools.

**Keywords:** Routing, Individual Microentrepreneur, Heuristics.

### 1. Introdução

Para que uma empresa obtenha sucesso em suas atividades, ela precisa desenvolver ações que tenham como produto final a satisfação do cliente, ou seja, o cliente deve ser

conquistado através da excelência de um conjunto de medidas que tangem a qualidade, confiabilidade, custo-benefício, entre outras atividades primordiais para a alta performance do produto/serviço.

Segundo Braga (2007), o sucesso de uma empresa que presta serviço aos seus clientes transcorre obrigatoriamente da satisfação dos mesmos, se tornando uma variável fundamental neste mercado, e que envolve a disponibilidade do produto, agilidade e eficiência na entrega. Todos estes fatores são alcançados através de um custo aceitável. No geral, as despesas com logística absorvem a maior parte do custo total do produto, sendo capaz de chegar a dois terços do desse valor (DA SILVA et al., 2020).

A definição de rotas logísticas é um grande desafio, principalmente em locais que possuem territórios extensos, como a região metropolitana de Belo Horizonte.

O estudo foi desenvolvido a partir da problemática de um empresário, que prefere não ter seu nome identificado. O representante precisa realizar a manutenção e entrega de máquinas de “bolinha pula-pula” na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Um dos maiores clientes deste empreendedor são as redes de farmácia espalhadas por toda cidade, porém, o leque de clientes se estende, sem nenhuma restrição de estabelecimento. Diariamente, o empresário precisa visitar seus atuais clientes para manutenção mensal, que consiste em corrigir alguma falha, seja mecânica ou falta de produto no recipiente, ou para reposição de mercadorias. Estas assistências podem acontecer em intervalos menores ou maiores, de acordo com a necessidade de cada estabelecimento. Também são realizadas visitas em novos clientes, para instalação de novas máquinas.

Assim esta pesquisa, objetiva estudar o processo de trabalho do empresário em questão, a fim de verificar qual a melhor rota que o empresário pode efetuar, considerando os parâmetros: distância, volume, responsabilidade e trânsito, que, juntos, resultam em custo para a operação. Estes parâmetros serão analisados e estudados ao longo deste artigo, como método de análise da eficiência do serviço prestado. Serão analisados pontos de atendimento, considerando sua localização, distância entre as paradas, necessidade de atendimento e manutenções.

Um fator importante é que esta análise foi realizada durante a pandemia pelo COVID-19, figurando como um estudo de caso onde um conjunto ferramental da literatura pôde contribuir com a sobrevivência de uma empresa durante tal crise mundial.

O processo de otimização proposto considera a aplicação de heurísticas construtivas, como Clarke e Wright (CW), NN\* sendo comparado com as rotas reais que já foram aplicadas ao processo de logístico do empreendedor. Tais algoritmos já proporcionaram economias a grandes e pequenos empreendedores (SOUZA et al., 2017; LOSQUI & SOUZA, 2019; SOUZA et al, 2019)

## 2. Referencial

### 2.1. Conceitos de Referência

Durante a realização desta pesquisa três conceitos foram os alicerces:

**Logística:** cuja importância é crucial ao negócio, pois o desfecho da relação entre empresa e consumidor depende da chegada do produto ao seu destino. A ocorrência de problemas na entrega de mercadorias gera diversos contratempos, como por exemplo a espera de uma mercadoria pela empresa, ou a expectativa do cliente para recebimento do produto, o que reflete na imagem do estabelecimento. Para que situações desagradáveis sejam evitadas, a tomada de decisões deve ser orientada a partir de problemas básicos de roteirização, fazendo uso da pesquisa operacional. (SOUZA et al., 2019).

**Pesquisa Operacional:** uma ciência multidisciplinar que conta com a utilização de diversos softwares que contribuem na evolução de técnicas, em busca da obtenção de resultados cada vez mais precisos (ARAÚJO et al., 2018).

**Problema do Caixeiro Viajante (PCV):** originado em 1857, através de um jogo proposto por William Rowan Hamilton. O objetivo deste jogo era encontrar uma rota aleatória que tivesse início e fim num mesmo local, passando por vários outros, sem que estes se repetissem, desencadeando então em uma rota ótima, de menor custo (CHAVES e MILOCA, 2018).

Estes três conceitos foram o embasamento desta pesquisa para a aplicação de ferramentas heurísticas para obtenção da otimização da logística da empresa em questão.

## 2.2. Algoritmos e Estruturas Matemáticas de Referência

### 2.2.1. Heurísticas

Durante o processo de experimentação, foram utilizadas duas heurísticas construtivas, no caso NN\* e CW. De acordo com Souza et al. (2017), o NN (Nearest Neighbor) é um algoritmo, onde tomando um  $V^*$  representando o conjunto de vértices não visitados, o nó inicial é preenchido por nó 0 e arranjado através dos nós,  $\{0, i_1, \dots, i_j\}$ , onde:

$$i_j = \arg(\min \{c_{i_{j-1}k} : k \in V^*\}) \quad (1)$$

No qual  $u \geq di_1 + di_2 + \dots + di_j$ , e qualquer outro nó  $s \in V^*$  é tal que  $u < di_1 + di_2 + \dots + di_2 + di_j + di_s$ . Esse processo será repetido até que ocorra a visitação de todos os nós, buscando melhorias nos valores obtidos do caminho ótimo (SOUZA et al., 2017; LOSQUI & SOUZA, 2019).

No presente estudo foi utilizada uma heurística construtiva chamada NN\*, desenvolvida por Souza et al. (2017), que implementa uma alteração sobre o NN: em sua estrutura o NN escolhe um ponto aleatoriamente e conecta o outro ponto de acordo com o menor custo entre eles. O NN\* mantém a aleatoriedade da escolha até o segundo ponto, ou seja, o primeiro e o segundo pontos são escolhidos aleatoriamente.

Já o algoritmo Clarke e Wright (CW), é um processo de troca, pois a medida em que cada etapa do algoritmo acontece, um conjunto de rotas é substituído por outro melhor. Tem por objetivo alocar os pontos, de forma que todos eles sejam visitados e a distância total percorrida seja a mínima (SOUZA et al. 2017). Seu funcionamento se dá da seguinte forma: um grafo ponderado representando os clientes (nós), os possíveis caminhos (vértices), e a sede da empresa é lido a partir de uma matriz de adjacências. Posteriormente são desenvolvidas  $n - 1$  rotas iniciais, cada uma delas conectando o cliente a sede da empresa, onde  $n$  é o número de nós do grafo. Em seguida, são calculadas as economias para todas as possíveis combinações 2 por 2 nós, através da fórmula:

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij} \quad (2)$$

Onde  $s_{ij}$  representa a economia obtida ao se unir as rotas que possuem os nós  $i$  e  $j$ , e  $c_{ij}$  representa o custo de se deslocar do nó  $i$  para o nó  $j$ . As economias são colocadas em uma tabela que é ordenada de forma decrescente. Para cada linha da tabela, iniciando pela maior economia, é analisado se é possível unir as rotas que contém os nós  $i$  e  $j$ . As rotas podem ser unidas se ambos os nós estiverem em extremos opostos de rotas diferentes, e se esta combinação não violar nenhuma das restrições do modelo. O processo continua até chegar ao último item da tabela ou até que não existam mais rotas a serem combinadas. (HEINEN; OSÓRIO, 2006).

### 2.2.2 Distância de Haversine

A distância de Haversine é uma equação utilizada em navegação, em que se determina a distância entre 2 pontos de uma esfera, a partir de suas latitudes e longitudes (SOUZA et al., 2017). Como disposto na equação 1, onde dois pontos de uma esfera de raio  $R$  (que foi utilizado o raio da Terra, em metros) com latitudes  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$ , que geram uma separação de latitudes  $\Delta\varphi$ , onde  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ , e com longitudes  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  com a separação  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ , que apresentam os seus ângulos em radianos.

$$d = 2R \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) + \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (3)$$

Tal distância, apesar de um erro associado de aproximadamente 1,6, é uma relevante estrutura matemática para cálculos de distância que implica na avaliação de latitudes e longitudes. Além da viabilidade de cálculos aproximados que possam ser conferidos via ferramentas de mercado como o Google Earth® e Google Maps®.

### 2.3. Outros trabalhos

Para exemplificar a aplicação a heurística NN no PCV, Palhares et al. (2018) utilizaram a teoria para dimensionar as rotas de entrega de uma distribuidora de laticínios. Segundo os autores, as rotas eram efetuadas de acordo com o conhecimento empírico do entregador, isto significa que as rotas eram pré-determinadas em referência ao conhecimento dos locais que deveriam ser contemplados pelo empreendimento, sendo assim, nenhuma logística era aplicada, o que poderia resultar em aumento de parâmetros de desempenho da empresa, como custo e tempo de entrega. Foram analisadas as cidades que a empresa precisava efetuar a entrega semanal, resultando em um total de 22 pontos de visita. O estudo foi efetuado através do método do Vizinheiro Mais Próximo, que “consiste na escolha da cidade mais próxima a cada deslocamento, desde que todas as cidades sejam unicamente visitadas e o caixeiro retorne ao ponto de origem”. A implantação de novas rotas trouxe resultados significativos a empresa, uma delas foi a redução de 6 para 4 dias em que o veículo sai para entrega, além de uma diminuição de 34,46% nos custos de transporte (PALHARES et al., 2018).

Em Souza et al (2019), os experimentos foram realizados a partir dos algoritmos Clarke-Wright (CW), Nearest Neighbour (NN), Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP) e NN\* (Variação do algoritmo NN). Segundo os autores houve uma economia de aproximadamente de 20 a 24% de distância percorrida pelos caminhões da empresa, em relação ao mês estudado, através da aplicação do algoritmo CW.

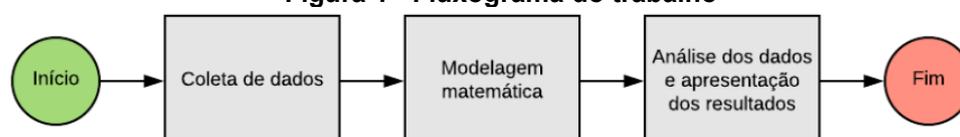
### 3. Metodologia

Para desenvolvimento deste trabalho, foram estudadas as rotas de entrega do empresário, que eram efetuadas sem qualquer planejamento, apenas atendendo seus clientes sob demanda.

Entretanto, sabe-se que é necessário visitar uma vez por mês cada cliente, a fim de repor mercadorias e realizar manutenção. Ele trabalha visitando os pontos aleatoriamente durante o dia, e ao final, retorna para seu ponto de origem que é o escritório da empresa.

Foram aplicadas as heurísticas mencionadas e realizados experimentos computacionais para análise e efetivo entendimento sobre quais ações podem ser implementadas para aperfeiçoar o desempenho profissional do empresário, como mostra o fluxo na figura 1.

**Figura 1 - Fluxograma do trabalho**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

### 3.1. Coleta de dados

Durante a coleta de dados verificou-se que o empresário possui fichas de preenchimento manuscritas, que contém apenas dados cadastrais do ponto de visitação e as datas das visitas realizadas. Não há um agendamento prévio nem um planejamento de rota traçado para estes locais. Na análise destas rotas, concentrou-se esforços para verificar quais são os pontos de atenção nas tarefas do cotidiano.

### 3.2. Processo de Experimenta o e Análise

Os pontos de visitação foram dimensionados conforme o modelo matemático descrito na equa o 1, e foram aplicadas as heurísticas NN\* e CW. A execu o das heurísticas NN\* e CW, foram realizadas através das etapas:

1. Organiza o e seleção das rotas a serem modeladas;
2. Levantamento de todos os endereços dos pontos a serem visitados;
3. Transforma o dos endereços em latitude e longitude;
4. Implementa o baseada em Scilab<sup>®</sup>, e cada rota executada 200 vezes pelas heurísticas.

Após a execu o de todas as etapas foi realizada uma análise de otimiza o, com o objetivo de encontrar o melhor caminho em cada uma das rotas modeladas.

## 4. Resultados e Discussões

Após avaliar os dados coletados, compreendeu-se o cenário atual da empresa, onde   visível a necessidade de organiza o dos pontos comerciais visitados. Percebe-se que a desorganiza o e forma de trabalho manual, geram insatisfa o ao empreendedor, sendo que ele já possui uma inclina o favorável a ordenar seus pontos de trabalho e entende que isto irá facilitar sua rotina. Atualmente   realizada uma organiza o previa e manual dos pontos, considerando as regiões/bairros da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), sendo assim, será mantido este tipo de organiza o pois a mesma   familiar ao empresário, o que   positivo pois não altera radicalmente sua forma de trabalho, entretanto, ao longo do trabalho poderão ser sugeridas altera es em tais regiões. Além disto, este tipo de organiza o se mostra viável, tendo em vista que, o objetivo da otimiza o   definir o caminho mais curto que deve ser percorrido ao longo do dia, e tratando-se de pontos comuns a uma mesma região/bairro da cidade   mais tangível chegar a um resultado ótimo que agregue valor a rotina da empresa. A cartela de clientes da empresa possui 302 pontos comerciais, atualmente divididos em 12 regiões de atua o, sendo elas:

**Tabela 1. Regiões de trabalho da empresa.**

<b>Região/bairro</b>	<b>Quantidade de pontos (unid.)</b>
Aeroporto	23
Betim	14
BR 040	18
Central	35
Contagem/Barreiro	39
Cristiano Machado	22
Oeste	34
Pampulha	33
São Gabriel	10
Sete Lagoas	17
Sul de Minas	25
Sul/Serra	32

**Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)**

Para o estudo de caso, foram analisadas 5 rotas, considerando todos os seus pontos: Rota Central (35 pontos); Rota Sul de Minas (25 pontos); Rota Betim (14 pontos); Rota Cristiano Machado (22 pontos); e Rota Oeste (34 pontos).

Com a metodologia proposta, pretende-se avaliar o melhor caminho a ser seguido, de modo a otimizar o seu tempo de deslocamento. A rota empírica foi desenvolvida pelo empresário, a partir do seu conhecimento sobre os caminhos já percorridos e a subjetividade em relação ao melhor percurso, desta forma, pode-se realizar uma análise comparativa para definir se esta era a mais eficiente, em relação ao “Algoritmo NN\*” e “Algoritmo CW”.

As plataformas utilizadas para solução do problema foram o Google Maps® (tem como restrição o limite de 10 pontos a serem inseridos, ocasionando maior tempo para definição do caminho a ser percorrido), e Scilab® para implementação das heurísticas.

#### 4.1. Processo de Avaliação das rotas

As análises comparativas foram realizadas de acordo com os resultados obtidos e serão apresentados separadamente. Vale ressaltar que, em todas as rotas foi realizada comparação do percentual de melhoria do caminho proposto pelos algoritmos em relação ao caminho empírico definido pelo empresário, apresentando qual possui menor distância percorrida entre eles.

**Rota Sul de Minas:** foram detectados 25 pontos, distribuídos na região metropolitana de Belo Horizonte e também em algumas cidades distribuídas ao sul de Minas (análise na Tabela 2).

Tabela 2 - Análise da Rota Sul de Minas.

ROTA EMPÍRICA SUL		ROTA SUL (Algoritmos)			
Google Maps		Algoritmo NN*		Algoritmo CW	
Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)
1.2	89	1.25	57	1.24	57,2
2.3	37,5	25.23	21,5	24.25	0,076
3.4	0,45	23.24	21,2	25.20	29,6
4.5	26,3	24.22	26,2	20.21	3,3
5.6	29,8	22.21	2,4	21.22	5,4
6.7	14,4	21.20	3,4	22.19	44,1
7.8	0,072	20.19	48	19.18	45,5
8.9	0,6	19.18	46,6	18.17	1,3
9.10	115	18.17	1,3	17.23	40,5
10.11	0,23	17.3	97,7	23.9	113
11.12	130	3.4	0,45	9.7	0,95
12.13	75,7	4.5	26,3	7.8	0,072
13.14	102	5.6	28,8	8.12	243
14.15	0,95	6.9	14,5	12.13	75,7
15.16	1,3	9.8	0,85	13.11	54,2
16.17	164	8.7	0,072	11.10	0,23
17.18	1,2	7.16	94,4	10.15	51
18.19	45,7	16.15	1,1	15.14	0,95
19.20	49,4	15.14	1,3	14.16	1,2
20.21	3,3	14.10	53	16.6	86,8
21.22	2,4	10.11	0,23	6.5	35,3
22.23	26,3	11.13	63,2	5.4	25,6
23.24	21,2	13.12	78,7	4.3	0,45
24.25	0,076	12.2	324	3.2	37
25.1	55,7	2.1	87,8	2.1	87,8
Total	992,578	Total	1100,002	Total	1040,228

Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

Tendo em vista os resultados expostos, nota-se que, os caminhos apresentados por ambos os algoritmos apresentam aumento da distância percorrida, em relação a rota empírica. O

Algoritmo NN\* apresenta aumento de 11% e o Algoritmo CW apresenta aumento de 5%, conforme apresentado na Tabela 3. Apesar do Google Maps® ser uma ferramenta muito utilizada por usuários virtuais, a limitação de pontos pode ocasionar falhas na construção do trajeto a ser percorrido, sendo assim, recomenda-se que, neste caso, seja utilizada a rota dada pelo algoritmo CW, visto que seu desempenho foi melhor em relação ao algoritmo NN\*.

**Rota Central:** composta por 35 pontos, distribuídos na cidade de Belo Horizonte. A partir dos dados apresentados na Tabela 3, nota-se que, em relação a rota empírica, a proposta pelo Algoritmo CW apresentou uma redução de 5% na distância percorrida, e a proposta pelo Algoritmo NN\* apresentou aumento de 2% na distância percorrida. Desta forma, para a rota Central é recomendado que seja utilizado o caminho proposto pelo Algoritmo CW, pois é a rota que apresenta a menor distância a ser percorrida.

**Tabela 3 - Análise da Rota Central.**

ROTA EMPÍRICA CENTRAL		Rota CENTRAL (Algoritmo)			
Google Maps		Algoritmo NN*		Algoritmo CW	
Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)
1.2	4,3	1.35	5,4	1.3	4,2
2.3	0,5	35.3	2,2	3.2	1
3.4	1,4	3.2	1	2.5	0,8
4.5	0,35	2.5	0,8	5.9	1,8
5.6	1,5	5.4	0,8	9.11	0,25
6.7	1,6	4.10	0,4	11.10	0,75
7.8	1	10.11	0,6	10.10	1,4
8.9	0,4	11.9	0,6	4.35	2,2
9.10	1	9.8	0,9	35.34	2,5
10.11	0,6	8.6	1	34.32	1,4
11.12	1,6	6.12	1,3	32.33	1,4
12.13	1,9	12.14	0,8	33.16	1,8
13.14	1,4	14.19	0,85	16.20	1,5
14.15	2,1	19.7	0,75	20.31	1,8
15.16	2	7.18	1,4	31.26	2,3
16.17	1	18.13	0,85	26.27	1,2
17.18	2,3	13.16	1,3	27.29	3,5
18.19	1,5	16.20	1,6	29.30	3,2
19.20	2	20.31	1,8	30.28	2,8
20.21	0,55	31.21	2	28.22	1,9
21.22	2	21.17	1,2	22.23	1,1
22.23	1,1	17.25	2	23.24	0,65
23.24	0,65	25.24	1,5	24.25	1
24.25	1	24.23	0,25	25.21	1,7
25.26	1,4	23.27	2,8	21.17	1,2
26.27	1,2	27.28	0,26	17.15	1,8
27.28	0,26	28.22	1,9	15.13	1
28.29	3,3	22.30	1,7	13.14	1,4
29.30	3,2	30.29	2,5	14.18	1,3
30.31	4,6	29.26	5,6	18.19	1,5
31.32	3	26.32	2,2	19.7	0,75
32.33	1,4	32.34	0,4	7.12	0,55
33.34	1,2	34.33	2,4	12.8	0,65
34.35	2,8	33.15	3,1	8.6	1
35.1	4,7	15.1	7,9	6.1	4,6
Total	60,81	Total	62,1	Total	57,9

**Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)**

**Rota Betim:** é a que apresenta a menor quantidade de pontos, possuindo 14 no total, abrangendo 2 cidades ao redor da capital mineira. A partir da análise dos dados reportada na Tabela 4, tem-se como menor distância a dada pelo algoritmo CW, que representa uma redução de 13% em relação a rota empírica. Já o algoritmo NN\* apresenta um aumento de 15% na distância percorrida, também em relação a rota empírica. De acordo com os

resultados apresentados, recomenda-se o uso da rota obtida a partir do algoritmo CW, como melhor alternativa de deslocamento.

**Tabela 4 - Análise da Rota Betim.**

ROTA EMPÍRICA BETIM		Rota BETIM (Algoritmos)			
Google Maps		Algoritmo NN*		Algoritmo CW	
Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)
1.2	2,6	1.5	21,2	1.13	15,8
2.3	3	5.11	5,1	13.14	0,092
3.4	1	11.8	1,8	14.12	1,4
4.5	10,9	8.2	4,5	12.8	19,4
5.6	11	2.10	2,4	8.2	4,5
6.7	2	10.7	2	2.3	3
7.8	6,1	7.4	2,9	3.6	0,9
8.9	8	4.3	1	6.9	0,6
9.10	2,5	3.9	13,7	9.4	0,7
10.11	4,7	9.6	13,9	4.7	1
11.12	21,9	6.12	20,7	7.10	1,5
12.13	1,1	12.14	1	10.11	4,4
13.14	0,92	14.13	0,1	11.5	5,3
14.1	17,2	13.1	16,2	5.1	21,9
Total	92,92	Total	106,5	Total	80,5

Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

**Rota Cristiano Machado:** possui o segundo menor número de clientes a serem visitados, num total de 22 paradas. Em relação ao caminho proposto pela rota empírica, o algoritmo NN\* apresenta uma redução de 9% na distância total percorrida, enquanto o algoritmo CW apresenta redução de 26% na distância total percorrida. Quando examina-se o produto dos experimentos, notamos que novamente a rota obtida pelo CW é a mais adequada, conforme registros na Tabela 5.

**Tabela 5 - Análise da Rota Cristiano Machado.**

ROTA EMPÍRICA C. MACHADO		Rota C. MACHADO (Algoritmo)			
Google Maps		Algoritmo NN*		Algoritmo CW	
Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)
1.2	10,7	1.14	12,2	1.22	7,9
2.3	1,8	14.18	3,3	22.2	1,1
3.4	0,45	18.13	3,7	2.4	1,2
4.5	1,3	13.19	1,2	4.3	0,45
5.6	1,9	19.7	1,8	3.20	1
6.7	1,6	7.16	1,5	20.12	2,1
7.8	4,2	16.6	3,2	12.5	1,6
8.9	1,2	6.10	0,85	5.9	1,4
9.10	0,5	10.9	0,45	9.10	0,5
10.11	0,9	9.12	1,3	10.6	0,6
11.12	1,4	12.17	1,6	6.11	0,75
12.13	2,9	17.20	1,5	11.8	0,35
13.14	1,2	20.3	1,3	8.21	2,9
14.15	0,28	3.4	0,45	21.16	3,2
15.16	2,9	4.22	1,5	16.7	2,8
16.17	3,3	22.2	1,1	7.19	2,7
17.18	4,5	2.5	2,5	19.18	2,8
18.19	4,1	5.11	1,4	18.13	3,7
19.20	3,8	11.8	0,35	13.14	1,2
20.21	4,3	8.21	2,9	14.15	0,28
21.22	6	21.15	5,7	15.17	2
22.1	9,1	15.1	12,1	17.1	9,9
Total	68,33	Total	61,9	Total	50,4

Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

Assim, como proposto na Rota Betim, recomenda-se que seja utilizado resultado proposto pelo Algoritmo CW, por ter apresentando a menor distância a ser percorrida entre os pontos.

**Rota Oeste:** possui um aglomerado de 34 pontos distribuídos ao longo da zona oeste da capital mineira. Quando os resultados são verificados, percebe-se que em relação a distância total percorrida proposta pela rota empírica, a rota estabelecida pelo algoritmo NN\* apresenta redução de 14% e a rota estabelecida pelo algoritmo CW apresenta redução de 17%. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 6 - Análise da Oeste.**

ROTA EMPÍRICA OESTE		Rota OESTE (Algoritmos)			
Google Maps		Algoritmo NN*		Algoritmo CW	
Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)	Pontos	Distância (km)
1.2	3,3	1.21	4,2	1.2	3,3
2.3	1,3	21.12	2,8	2.6	0,24
3.4	0,7	12.11	1,8	6.5	1,7
4.5	2,1	11.22	2	5.3	1,4
5.6	1,3	22.23	2,6	3.4	0,7
6.7	4	23.24	0,75	4.10	1,4
7.8	3,2	24.25	1,2	10.8	2,2
8.9	1	25.26	1,6	8.9	1
9.10	1,8	26.27	0,5	9.7	3
10.11	6,6	27.28	1	7.11	3,9
11.12	1,4	28.29	2,4	11.12	1,4
12.13	5,2	29.14	5	12.21	2,5
13.14	1,7	14.16	1,3	21.23	2,2
14.15	1,8	16.15	0,8	23.22	1,9
15.16	0,55	15.13	0,5	22.24	2
16.17	0,8	13.31	0,95	24.25	1,2
17.18	3	31.32	0,55	25.28	1,9
18.19	1,3	32.33	0,35	28.29	2,4
19.20	2,9	33.18	2	29.26	3,6
20.21	1,7	18.34	0,18	26.27	1,6
21.22	1,1	34.19	1,2	27.14	2,4
22.23	2,6	19.30	2,6	14.16	1,3
23.24	0,75	30.20	3,1	16.17	0,8
24.25	1,2	20.17	4,3	17.20	1,4
25.26	1,6	17.7	2,7	20.30	3,6
26.27	0,5	7.9	2,6	30.19	2,5
27.28	1	9.8	0,55	19.13	2,2
28.29	2,4	8.10	2,1	13.15	0,5
29.30	6,7	10.4	1,3	15.31	1
30.31	3,7	4.3	1,6	31.32	0,55
31.32	0,55	3.5	2,6	32.33	0,35
32.33	0,35	5.6	1,3	33.18	2
33.34	2,2	6.2	0,45	18.34	0,18
34.1	1,9	2.1	3,5	34.1	1,9
Total	72,2	Total	62,4	Total	60,2

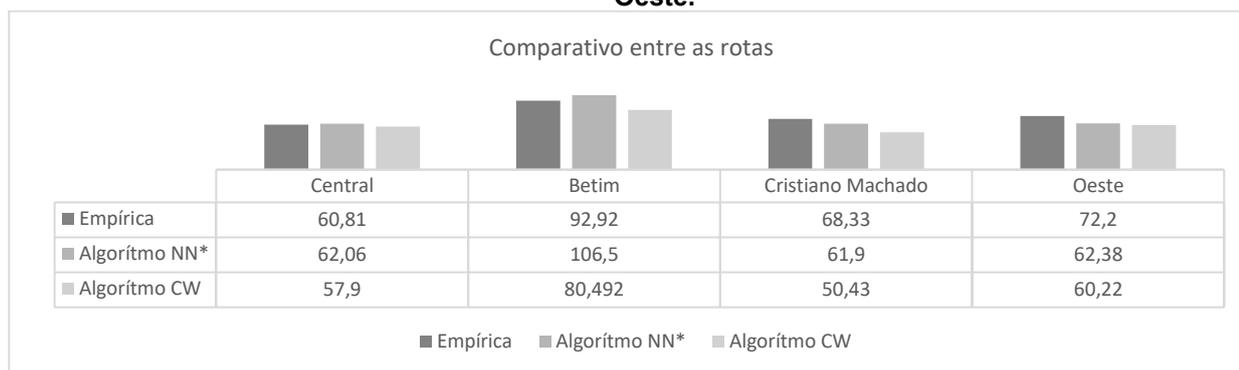
**Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)**

Após análise dos resultados, recomenda-se neste caso, a utilização da rota obtida pelo Algoritmo CW, pois é o caminho que apresenta melhor desempenho em relação a distância total percorrida.

#### **4.2. Discussões**

Um comparativo entre os métodos utilizados é apresentado na Figura 2, apontando as soluções obtidas através de cada um deles, para as rotas apresentadas. A rota Sul de Minas foi analisada separadamente para que os resultados fossem apresentados de forma mais visível, tendo em vista que os valores entre elas foram significativos em relação as demais (Figura 3).

**Figura 2 - Análise Comparativa entre os resultados das rotas Central, Betim, Cristiano Machado e Oeste.**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

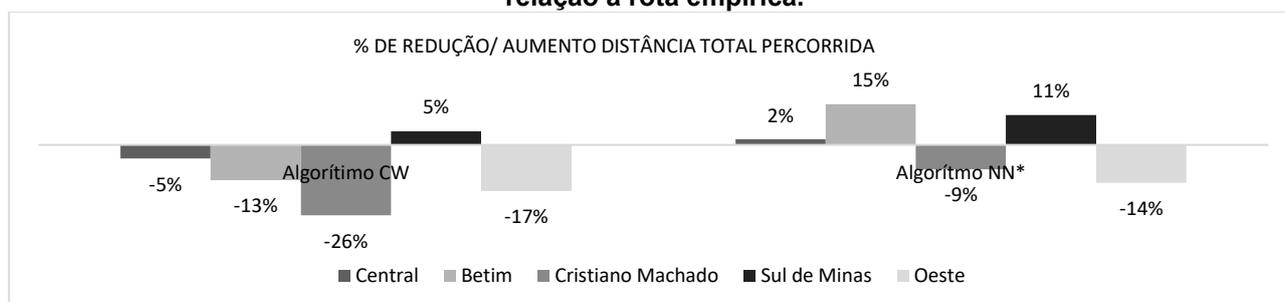
**Figura 3 - Análise Comparativa entre os resultados da rota Sul de Minas.**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

Como pode ser visto nas figuras apresentadas acima, para as rotas Central, Betim, Cristiano Machado e Oeste a solução que apresenta melhor desempenho em relação a distância total percorrida é o algoritmo CW, já para a rota Sul de Minas a solução que apresenta melhor desempenho, também em relação a distância total percorrida é a empírica. Através da análise da figura 4, torna-se explícito que, a melhor solução apresentada para a empresa é a utilização do algoritmo CW, pois seu desempenho é mais eficiente em todas as rotas.

**Figura 4 - Análise Comparativa entre os % de redução/aumento da distância total percorrida em relação a rota empírica.**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

Com a análise dos dados, pode-se observar várias vantagens da utilização do algoritmo CW. A primeira é que ele satisfaz o objetivo principal deste estudo, que é a otimização das rotas empíricas realizadas pelo empreendedor, propondo uma organização dos caminhos percorridos e redução de 45,2 km percorridos por mês, pois como já mencionado anteriormente, é executado cada uma destas rotas uma vez ao mês.

Vale ressaltar que, esta redução está apresentada em 80% das rotas, pois para a rota Sul de Minas o melhor desempenho é apresentado na solução empírica, porém sua utilização não é recomendada, pois a definição do caminho é realizada de acordo com conhecimentos qualitativos, sendo que o caminho percorrido pode não ser o mesmo todos os meses, visto que esta forma apresenta limitação em relação a padronização e a ferramenta utilizada Google Maps®, possui limitação de pontos a serem inseridos, podendo ocasionar falhas na construção do trajeto a ser percorrido.

### 4.3. Custo financeiro

Segundo dados disponibilizados pela empresa, o veículo utilizado para executar as rotas é do modelo SUV, e apresenta média de consumo de 6 Km/L utilizando gasolina como combustível. Atualmente em Belo Horizonte, o preço médio do litro de gasolina é R\$ 3,80.

Considerando a visitação destas rotas uma vez por mês, em uma análise anual haverá uma redução de 542,4 km percorridos, o que gera uma economia de aproximadamente R\$ 343,52 em combustível, lembrando que o preço médio da gasolina pode sofrer variações. Além disto, é importante considerar a economia presente no desgaste, manutenção e depreciação do veículo utilizado, e por fim, redução do tempo gasto em cada rota.

Cabe ressaltar que, atualmente a empresa possui atuação em 12 rotas diferentes, e no presente trabalho foram estudadas 5 destas. Desta forma, para calcular o retorno sobre o investimento da implantação do algoritmo CW, é necessário realizar uma projeção de economia gerada por sua utilização em todas as rotas.

O cálculo da projeção foi realizado utilizando a média ponderada, definindo os pesos de acordo com a quantidade de pontos existentes em cada uma das rotas em que houve redução na distância total percorrida pelo empresário. Na tabela 10 estão descritos os pesos considerados para cada rota.

**Tabela 10. Representação dos pesos utilizados para cada rota no cálculo da média ponderada.**

Rota	Pontos	Km diferença	Peso
Betim	14	12,43	1
C. Machado	22	17,9	2
Sul de Minas	25	47,65	2
Oeste	34	11,98	3
Central	35	2,91	3

**Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)**

Vale ressaltar que, os valores em quilômetros estão considerados em modulo, independente se foram redução ou aumento da quilometragem total percorrida. Após realização dos cálculos a redução média de distância percorrida encontrada por rota é de 17,11 km, sendo assim, para as 12 rotas será obtida uma redução de 205,31 km por mês. Em uma análise anual haverá uma redução de 2463,71 km percorridos, o que gera uma economia anual de aproximadamente R\$ 1.560,35 em combustível.

### 4.4. Implantação do algoritmo

Segundo Souza et al (2019), o custo para executar a implantação de uma tecnologia deste porte está relacionado a utilização do software matemático Scilab® e a contratação de um profissional habilitado (engenheiro de produção ou cientista da computação), com todos os conhecimentos necessários, para implementação, ajuste e manutenção das heurísticas. Considerando que a empresa é de pequeno porte, possuindo apenas dois funcionários, estima-se 1 (um) mês para implementação e realização de treinamento, com salário médio CLT para este profissional, de R\$ 4.000,00 (quatro mil reais), o que ocasiona custo total aproximado de R\$ 4.000,00 (quatro mil reais).

Considerando que a empresa utilizará recursos já disponíveis em sua sede, como espaço físico e computadores, tendo apenas que agregar no seu dia a dia a obtenção da latitude e longitude dos clientes e o tempo curto para executar a simulação, em aproximadamente dois anos e seis meses terá o retorno sobre o investimento, e além disto, desde o momento da implementação a empresa irá usufruir de vantagens competitivas.

Vale ressaltar que após o estudo detalhado de todas as rotas, a economia gerada e o tempo para obtenção do retorno sobre o investimento poderão sofrer alterações.

## 5. Conclusão

A pesquisa efetuada possibilitou concluir que existem diversas ferramentas para aplicação em problemas associados a otimização de rotas. E que utilizando heurísticas é possível obter resultados positivos na otimização de rotas.

A aplicação do algoritmo CW ocasionou economia financeira significativa para a empresa, sendo possível alcançar o objetivo principal deste estudo, a redução da distância percorrida. Analisando as 5 rotas estudadas obtêm-se anualmente uma redução de 542,4 km percorridos e economia financeira de R\$ 343,52 no ano, além de otimizar as entregas e apresentar vantagens competitivas, redução de gastos com manutenção e depreciação do veículo.

Analisando 40% das rotas do empresário, nota-se um ganho significativo para o empreendimento. Sendo assim, as análises de 100% dos trajetos podem trazer benefícios ainda maiores.

Desta forma, recomenda-se que o profissional entrevistado utilize o algoritmo para análise de 100% das rotas de trabalho, a fim de verificar os trajetos mais adequados para serem percorridos, no intuito de obter melhores resultados financeiros e logísticos para o empreendimento, conforme demonstrado nos resultados apresentados.

## Referências

ARAÚJO, A. M.; ARAÚJO, D. O.; PASSOS, F. G. Análise das vantagens do uso da pesquisa operacional em problemas de corte: uma revisão sistemática da literatura. **Produção em foco, Joinville**, v.08, n.02, p 326-245, 2018.

BRAGA, E. A. S. **Modelagem e otimização do problema do caixeiro viajante com restrições de tempo, distância e confiabilidade via algoritmos genéticos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

CHAVES, C.; MILOCA, S. A. Algoritmo Branch-and-Bound e aplicação ao problema do caixeiro viajante. In: **XXXVII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC)**, São José dos Campos - SP, 2017

HEIN, N.; LOESCH, C. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009.

DA SILVA, D. L.; DA CRUZ, J. T.; PEREIRA, L. **Custos logísticos: Gestão e aplicação prática**. Editora Senac São Paulo, 2020.

LOSQUI, H. V. F.; SOUZA, F. H. B. Análise de pontos de aleatoriedade como estratégia para melhoria de ótimos locais em uma heurística construtiva. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p 923-951, 2019.

SOUZA, F. H. B.; LISBOA, A. C.; MAIA, C. A.; SALDANHA, R. R. Randomization Control in Heuristics and Metaheuristics Applied to the Optimal Path Search in Open Pit Mines. **Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Santa Catarina, 2017.

SOUZA, F. H. B.; MARCOS, N.C.F.; SOUZA, P.H.G.; MELLIM, R.D.; ROCHA, V.A.R. Análise e Aplicação de Heurísticas para Definição de Rotas com Solução Otimizada Aplicado em uma Indústria do Ramo Alimentício. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. Ponta Grossa, 2019.

VENTURA, C.; FRECCIA, E. Custos no Transporte Rodoviário de Cargas. **Maiêutica**, Indaial, v. 3, n. 1, p.81-86, ago. 2015.