

**FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE  
INSTITUTO ENSINAR BRASIL – REDE DOCTUM DE ENSINO**

**APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE EM UM  
SUPERMERCADO DO MÉDIO PIRACICABA**

**Maria Adélia Quintão Fonseca\***

**Bráulio Frances Barcelos\*\***

**RESUMO**

O cenário atual tem tornado o mercado bastante competitivo e os clientes estão cada vez mais exigentes, para permanecerem no mercado as organizações tem buscado a otimização dos processos. Com o intuito de atingir tal propósito as empresas têm investido em logística a fim de satisfazer os clientes e maximizar os lucros. Alguns dos princípios fundamentais na estratégia logística nas organizações é a redução de custos, tempo e distâncias, sendo estes os principais fatores para que a melhor rota possa ser definida. Desse modo o presente artigo tem por objetivo minimizar as distâncias percorridas por um entregador de um supermercado no Médio Piracicaba. A fim de atingir o objetivo, ou seja, encontrar a rota ótima foi realizado um estudo de caso de natureza aplicada com uma abordagem quantitativa, através do uso da metodologia do Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Para solucionar o problema optou-se por utilizar o software CPLEX. A rota ótima encontrada foi analisada e considerada um bom resultado em relação à solução inicial.

Palavras-chave: Problema do Caixeiro Viajante. Modelagem matemática. Otimização. Roteirização.

---

\* Bacharelanda em Engenharia de Produção da Faculdade Doctum de João Monlevade; e-mail: dedelia.f@gmail.com

\*\*Engenheiro de Produção; Professor orientador; e-mail: braulio.barcelos@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças no cenário econômico, tem tornado o mercado bastante competitivo e os clientes mais exigentes, com isso as empresas se veem forçadas a buscar a otimização dos processos.

Diante de tal cenário, para que a empresa possa se tornar competitiva é necessário criar planejamentos, melhorar as rotinas e principalmente investir em logística como forma de oferecer ao cliente os produtos no tempo adequado, na quantidade certa e com custos e qualidade apropriados.

Percebe-se que as principais atividades da logística estão relacionadas com a distribuição, movimentação e armazenamento de produtos, assim como recebimento, processamento dos pedidos e gerenciamento de estoques.

O processo de armazenamento está relacionado com a alocação dos produtos em depósitos, para posteriormente realizar a sua distribuição para os respectivos clientes. Já a distribuição se refere à disponibilização dos produtos aos clientes, bem como sua movimentação e transporte. Os custos relacionados à movimentação de materiais são relativamente altos e para obter um melhor desempenho, as empresas devem buscar métodos de otimização, possibilitando uma redução dos custos.

Nesse contexto, para o aperfeiçoamento do processo logístico, muitas empresas têm utilizado a Pesquisa Operacional (PO) para auxiliar na tomada de decisão, uma vez que ela oferece métodos exatos que são capazes de encontrar a solução ótima do problema analisado. Conseqüentemente, as empresas têm investido em PO para maximizar o lucro, reduzir custos e melhorar o nível de satisfação dos clientes.

Diante disso, o custo relacionado ao transporte é um tema muito estudado na logística e boa parte dele, se deve ao fato dos clientes estarem dispersos geograficamente. Sendo assim, para solucionar este tipo de problema, as empresas tem utilizado modelos matemáticos exatos para encontrar a rota que minimiza o custo total de transporte. Um dos métodos clássicos de otimização é conhecido como Problema do Caixeiro Viajante (PCV), ou em inglês conhecido como *Travelling Salesman Problem* (TSP). O problema consiste em encontrar o melhor trajeto a ser realizado, partindo de um vértice inicial (depósito), visitando todos os clientes uma única vez e retornando o vértice inicial.

Este artigo tem como justificativa o embasamento das empresas, visto que elas precisam de ferramentas que as auxiliem na tomada de decisões, diante disso o trabalho irá utilizar o modelo Matemático do Problema do Caixeiro Viajante, o qual será solucionado com a utilização do Software AMPL.

O presente trabalho visa analisar e simular as rotas de entregas de compras de um supermercado, através de métodos matemáticos, a fim de otimizar os trajetos, reduzir o tempo e os custos relacionados ao transporte.

Acredita-se que os resultados dessa pesquisa possam contribuir para uma melhoria na forma de planejamento de entrega, permitindo determinar a melhor rota a ser seguida, podendo assim reduzir os custos e o tempo de deslocamento.

A metodologia utilizada na pesquisa foi um estudo exploratório, de natureza aplicada com uma abordagem quantitativa. Será realizado um estudo de caso em um supermercado do Médio Piracicaba.

Este trabalho encontra-se dividido em cinco seções: a introdução, o referencial teórico, metodologia, resultados e discussão e conclusão.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção serão abordados temas pertinentes à área da pesquisa, especificamente logística, transporte e pesquisa operacional.

### **2.1 Logística**

A logística dentro das empresas tem o intuito de estruturar os recursos, controlar o transporte, a movimentação e o armazenamento de materiais dentro das mesmas.

Segundo Ballou (2001), a Logística é todo o processo ao longo da cadeia de suprimentos onde a matéria prima é transformada em produto acabado, e o sistema de entrega do produto entre fornecedor até o cliente final.

Complementando a ideia anterior Ballou (2009, p. 50), cita que a logística é a união de quatro atividades sendo elas: “Aquisição, movimentação, armazenagem e entrega de produtos. Para que estas atividades funcionem é necessário um planejamento logístico, bem como a interação de processos”.

Isto quer dizer que, a logística nada mais é que o conjunto de tarefas fundamentais para que o produto seja entregue ao cliente com qualidade e rapidez, contudo é necessário que seja realizado um bom planejamento para que tudo aconteça no tempo certo.

Para Alvarenga (2000), a logística é separada em três partes, sendo elas: suprimentos, distribuição e produção. Integra todos os processos desde a retirada da matéria prima, o processo produtivo, até obter o produto final e a chegada do mesmo aos clientes.

Pode-se concluir que a finalidade da logística no mercado é reduzir os custos, maximizar os lucros e assegurar uma melhor relação entre empresas e clientes.

## **2.2 Cadeia de Suprimentos**

A cadeia de suprimentos é um método criado para organizar todas as atividades referentes à produção, armazenamento e transporte, buscando a redução de custos, diminuição de ciclos e agregar valor ao produto, gerando grandes resultados (BALLOU, 2001). Ela abrange todas as etapas desde a produção até a entrega de um produto final, abrangendo desde fornecedores até os clientes.

Simchi-Levi e outros (2003) complementa a ideia anterior dizendo que a cadeia de suprimentos pode ser definida com a maneira como fornecedores, fabricantes e empresas produzem e distribuem seus produtos na quantidade certa e no tempo certo de maneira que o custo seja reduzido e as necessidades dos clientes sejam atendidas.

Conforme Ballou (2007), a cadeia de suprimentos está relacionada ao aperfeiçoamento e desenvolvimento das atividades que estão correlacionadas ao curso e a transformação dos produtos de forma que todo o processo gere valor aos membros da cadeia.

Segundo Bertaglia (2009), a gestão da cadeia de suprimentos é um método estratégico, ou seja, lida com vários processos, que vai desde a previsão de demanda,

seleção dos fornecedores, distribuição até o relacionamento com clientes, e aborda também de questões ligadas a economia e ao meio ambiente.

### **2.3 Transporte**

O transporte é considerado a atividade mais importante dentro logística, devido ser responsável por dois terços dos gastos logísticos, logo é primordial, visto que nenhuma empresa consegue crescer sem movimentar as matérias primas ou fazer a entrega os produtos aos consumidores. Os tipos de modais de transportes utilizados para realizar o processo de distribuição de produtos são: rodoviários, ferroviários, hidroviários, dutoviários e aeroviários (BALLOU, 2007; POZO, 2007; BOWERSOX; CLOSS, 2011; CHOPRA; MEINDL, 2011).

Conforme Bowersox e Closs (2011) o transporte tem como finalidade o deslocamento de materiais de um ponto a outro, com a finalidade de reduzir custos sejam eles financeiros, temporais e ambientais. Assim sendo as despesas relativas a danos e perdas, sucedidas durante o transporte devem diminuir, tal como é fundamental que os serviços de transporte atendam as necessidades dos consumidores em relação à qualidade das entregas.

O transporte possui uma ligação forte com o crescimento econômico, já que se mal administrado a tendência de aumentar as despesas das organizações são grandes. Uma administração mal feita pode ocasionar estragos e perdas, podendo assim concluir que a distribuição dentro da logística tem um grande valor (POZO, 2007; BALLOU, 2007).

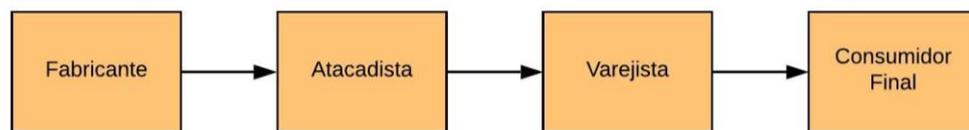
### **2.4 Distribuição física**

Entende-se por distribuição física todo o processo de armazenamento de produtos feitos por uma organização. É a fase final do deslocamento de produtos, ou seja, é a sua distribuição partindo da empresa até o cliente final, esta etapa é

considerada a parte mais cara da cadeia de distribuição, desta forma deve ser realizado um planejamento eficaz (FARKUH NETO; LIMA, 2006).

Segundo Novaes (2007) a distribuição física é todo processo de transferência de produtos, desde a sua fabricação até o momento em que o produto é entregue ao cliente final. O autor complementa a ideia anterior afirmando que a distribuição física é estabelecida em função da tática competitiva da organização. A figura 1 demonstra o processo de distribuição física, desde o fabricante até o consumidor final.

Figura 1 – Distribuição Física desde o fabricante até o consumidor final.



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)

Observa-se que a distribuição física engloba todo o meio de transporte, desde o produtor até o cliente final. Quando o transporte é bem planejado é possível criar um vínculo entre clientes e fornecedores, aumentando a satisfação de ambos. Conseqüentemente, a qualidade dos serviços de transporte é primordial, e que os produtos sejam disponibilizados para os consumidores no tempo certo. Nesse contexto é essencial realizar o planejamento de distribuições de maneira que se atinja a eficiência e melhore a confiança sobre os serviços prestados pelas empresas (ENOMOTO; LIMA, 2007).

É necessária a elaboração de um roteiro para que a distribuição física ocorra de forma eficiente, e a partir disso é possível escolher o melhor trajeto trazendo assim vários benefícios para a organização.

## 2.5 Roteirização

Segundo Cunha (2000) a roteirização de veículos é definida como a determinação de rotas para reduzir os custos de distribuição. Os trajetos são traçados a partir do fornecedor até o cliente final, assegurando que todos os pontos que foram estabelecidos sejam percorridos.

O problema de roteirização não se delimita apenas em ir do ponto de origem ao consumidor final e retornar ao ponto de origem novamente, a finalidade é obter uma sequência que reduza os lugares percorridos, à distância e o tempo de locomoção total, percebe-se então que é complexo definir as rotas a serem traçadas (BALLOU, 2007).

De acordo com Cunha (2000), roteirização é um termo usado para caracterizar a definição de rotas a serem realizadas por um veículo, tendo como objetivo visitar diversos clientes que na maioria das vezes estão dispersos geograficamente.

Para Laporte e outros (2000) a roteirização significa a definição dos percursos que os veículos irão fazer, de modo que o custo da rota seja minimizado, certificando que o veículo irá visitar cada cidade uma única vez.

Conforme Ballou (2007, p. 191) existem três modelos fundamentais para os problemas de roteirização, sendo eles: “problemas de rota com um ponto de origem e destino diferentes; pontos de origem e destino múltiplos; e pontos de origem e destinos coincidentes, também conhecidos como problema de caixeiro viajante (PCV)”, esse método é considerado o mais complexo dentre os tipos existentes.

Neste caso é primordial a utilização da pesquisa operacional, para auxiliar as empresas a encontrarem o ponto ótimo do problema por meio da solução de cálculos matemáticos.

## **2.6 Pesquisa Operacional**

A Pesquisa Operacional (PO), pode ser definida como aplicação de métodos matemáticos a fim de solucionar problemas e otimizar processos, desenvolvendo um planejamento de forma competitiva.

Existem diversas definições acerca do termo. Conforme Andrade (1998), a pesquisa operacional é a construção de um modelo matemático a partir de uma situação existente ou em construção a fim de examinar e entender o seu desempenho e a partir dos resultados encontrados possa tomar uma decisão.

Segundo Moreira (2007) a pesquisa operacional está relacionada com a gestão e a resolução de problemas enfrentados pelas empresas, ou seja, como elas

organizam e coordenam as operações. O campo da PO é bastante amplo, podendo ser utilizado em várias áreas desde o transporte até a saúde.

Arenales e outros (2007, p. 1) definem a pesquisa operacional como “a aplicação de métodos científicos a problemas, complexos para auxiliar no processo de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos”.

Taha (2007, p. 2), define que “em PO não temos uma única técnica para resolver todos os modelos matemáticos que podem surgir na prática. Em vez disso, o tipo e a complexidade do modelo matemático é que determinam a natureza do método de solução”.

A partir do problema são traçados as restrições a serem analisadas e os objetivos que devem ser alcançados, diante disso é feita a modelagem do problema com os dados que devem ser analisados e assim tem-se o resultado que servirá como base para a tomada de decisão.

Para a resolução dos modelos matemáticos são utilizados vários métodos e ferramentas, uma delas é o software IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio*, também conhecido simplesmente como CPLEX.

## **2.7 PCV – Problema do caixeiro Viajante**

De acordo com Arenales e outros (2007) o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), em inglês chamado de travelling salesman problem (TSP), abrange várias cidades, onde o caixeiro sai de um depósito, visita todos os bairros/cidades uma única vez e retorna para o depósito de origem, com o objetivo de otimizar a distância e os custos.

Golgbarg, Golgbarg e Luna (2015, p. 364), afirmam que:

Os problemas de roteamento lidam em sua maior parte com passeios ou “tours” sobre pontos de demanda ou oferta. [...] Dentre os tipos de passeios, um dos mais importantes é o denominado Hamiltoniano. Seu nome é devido a William Rowan Hamilton, que, em 1857 propôs um jogo que denominou Around the World. O jogo era realizado sobre um dodecaedro em que cada vértice estava associado a uma cidade importante na época. O desafio consistia em encontrar uma rota através dos vértices do dodecaedro que iniciasse e terminasse em uma mesma cidade sem nunca repetir uma visita.

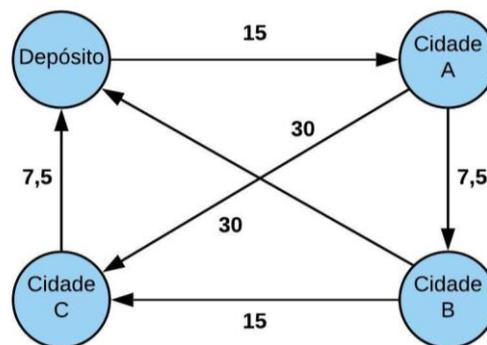
Ainda de acordo com Goldbarg, Goldbarg e Luna (2015), Hamilton não foi a primeira pessoa a apresentar esse problema, mas ajudou a propagá-lo. Os autores dizem que Hassler Whitney, foi a primeira pessoa a mencionar o problema em uma palestra na Universidade de Princeton. No problema proposto por Whitney, devia-se encontrar a rota mais curta percorrendo 48 estados nos Estados Unidos.

Taha (2007, p. 171) cita que “o problema do caixeiro viajante trata de achar o circuito (fechado) mais curto em uma situação de  $n$  cidades, na qual cada cidade é visitada exatamente uma vez”.

Para Hillier (2010), o problema do caixeiro viajante é um tradicional problema de otimização combinatória, leva esse nome devido ser um problema onde o vendedor percorre diversas cidades, e a partir da cidade inicial só pode visitar as demais somente uma vez, retornando assim ao ponto inicial.

O problema do caixeiro viajante parte do princípio onde será definida o menor trajeto, uma vez que a rota saia de um ponto, visite os demais e volte ao ponto inicial, passando por cada ponto uma única vez, como pode ser observado na figura 2.

Figura 2 – Sequenciamento de rotas



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)

Existem dois tipos de métodos utilizados para solucionar o PCV, estes podem classificados em exatos e heurísticos. Os métodos exatos, segundo Goldbarg e Luna (2000) são utilizados para encontrar a solução ótima do problema, de modo que atenda todas as restrições apresentadas.

Já os métodos heurísticos, de acordo com Hillier e Lieberman (2010) são utilizados para encontrar uma solução aproximada ao invés de uma solução ótima. São utilizadas quando o tempo e ou os custos são inviáveis para a otimização.

### 2.7.1 Formulação Matemática

Existem diversas formulações matemáticas acerca do Problema do Caixeiro Viajante. No presente artigo será utilizada a formulação de Miller, Tucker e Zemlin (1960). A formulação é apresentada a seguir:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o caixeiro viajante vai de } i \text{ para } j, \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

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

$$\text{s.a} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (1)$$

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

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad (i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, i \neq j) \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, i \neq j) \quad (4)$$

$$u_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (5)$$

Onde:

- a)  $i, j$  = cidades;
- b)  $C_{ij}$  = distância percorrida do vértice  $i$  até o vértice  $j$ ;
- c)  $u_i, u_j$  = variáveis auxiliares para eliminar subrotas.

As restrições apresentadas em (1), determina os fluxos de entrada, onde o caixeiro vai da cidade  $i$  para a cidade  $j$  se  $x_{ij} = 1$ . As restrições apresentadas em (2), determina os fluxos de saída, onde o caixeiro retorna da cidade  $j$  para a cidade  $i$  se  $x_{ij} = 1$ . As restrições apresentadas em (3) elimina subrotas. As restrições apresentadas em (4) e (5), são restrições de sinais.

## 4 METODOLOGIA

Segundo Almeida (2011), uma pesquisa só é considerada científica quando são utilizados métodos para realizá-la. Quanto à natureza, a pesquisa é caracterizada como aplicada, que conforme Gil (2010, p. 27) “é voltado à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica”, ou seja, os conhecimentos adquiridos por meio da pesquisa serão utilizados para solucionar problemas de uma organização.

Quanto aos procedimentos técnicos trata-se de uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso, pesquisa bibliográfica de acordo com Vergara (1998, p. 46) “é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas”. Gil (2002, p. 54) conceitua o estudo de caso como “estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos já considerados”.

Em relação à forma de abordagem, é considerada quantitativa, pois conforme Mattar (2001) é um método que objetiva utilizar dados numéricos (neste caso, refere-se à distância entre o supermercado e os bairros), avaliando assim os dados e passando os resultados para a parte interessada.

Referente ao objetivo é exploratória. De acordo com Gil (2002, p. 27) “as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos”. Abrange também, uso de métodos para análise de dados, neste caso se refere ao método do Problema do Caixeiro Viajante.

Os dados referentes às questões logísticas da empresa foram levantados por meio de um diálogo com o dono. O mesmo forneceu todos os dados necessários, bem como, área geográfica atendida, principais clientes, método de entrega e a quantidade de veículos, constatou-se que a empresa possuía apenas um veículo e não tinha controle das distâncias percorridas.

## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

As distâncias entre os bairros foram coletadas por meio do aplicativo Google Earth®, ciente da localização de cada um dos pontos, os mesmos foram cadastrados utilizando a ferramenta “marcador”.

A figura 4 apresenta a posição dos vértices (bairros) que foram utilizados como referência para a coleta de dados de distância. A vista aérea dos bairros apresentada no mapa (Figura 4), foi obtida por meio do software Google Earth®, onde os vértices estão indicados por letras de A à M.

Figura 4 - Disposição dos vértices na região de abrangência do supermercado.



Fonte: Google Earth® (2019)

Após o cadastramento dos vértices no software foram extraídas as coordenadas de latitude e longitude e logo após foi montada uma tabela de coordenadas com todos os pontos do problema.

Para se calcular a distância entre dois pontos, tomam-se os valores de latitude e longitude como coordenadas euclidianas, na qual a distância se dá pela seguinte fórmula:  $d = \sqrt{DLA^2 + DLO^2}$ , onde DLA é a diferença entre latitudes e DLO a diferença entre longitudes de cada vértice.

Seguindo a ideia anterior, para a obter todas as distâncias possíveis, foi utilizada uma planilha do Excel para alocar todos os dados. As distâncias entre os vértices de entrega são apresentadas na Tabela 1. Essas distâncias foram utilizadas na resolução do problema. As células que apresentam o valor 0 (zero) significam que não existe um grafo direto entre os pontos de entrega, portanto para que o problema seja resolvido essas distâncias são consideradas infinitas.

Tabela 1 – Matriz de distâncias entre as cidades

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
0	800	2300	7700	13300	4000	3400	5200	4100	4200	4700	5600	6500
800	0	1400	6900	12500	4200	3100	4900	3800	3900	4400	5400	7300
2300	1500	0	6400	10200	5700	4600	6400	5300	5400	5900	5800	8800
7700	6400	6900	0	4400	10700	10000	11800	10700	10800	11300	12200	14200
13300	12500	10200	4400	0	14500	13700	15600	14400	14500	16100	16000	18600
4000	4200	5700	11000	16600	0	900	3100	600	1300	2100	3300	9900
3400	3100	4600	10000	15600	900	0	3000	900	1100	1500	3100	8900
5200	4900	6400	11800	17400	3100	3000	0	3000	3500	3900	5500	10700
4100	3800	5300	10700	16300	600	900	3000	0	1300	1700	3500	10400
4200	3900	5400	10800	16600	1300	1100	3500	1300	0	900	2300	9700
4700	4400	5900	11300	16900	2100	1500	3900	1700	900	0	2000	10200
5600	5400	6800	12200	16000	3300	3100	5500	3500	2300	2000	0	11100
6500	7300	8800	14200	19700	9900	8900	10700	10400	9700	10200	11100	0

Fonte: elaborado pelo pesquisador (2019)

Todas as distâncias indicadas acima são dadas em metros. Os pontos indicados de “B” até “M” representam todos os bairros atendidos e o ponto “A” é o supermercado.

Através da tabulação dos dados e a compilação do código no software CPLEX, após 18781 iterações, realizadas em um tempo de 7 segundos foi encontrada uma rota ótima representando as distâncias dos bairros que compõe a rota que a empresa utiliza. A figura 5, apresenta a resolução do problema com a melhor rota a ser seguida pelo entregador, onde o mesmo sairá do supermercado, percorrerá todos os bairros e retornará ao ponto de origem.

Figura 5 – Resolução do problema no CPLEX

cidades (tamanho 13)	cidades (tamanho 13)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: elaborado pelo pesquisador (2019)

Ao analisar os dados, apresentados na figura 5, percebe-se que a melhor rota a ser seguida é aquela que o valor da variável equivale a 1.

A ordem dos bairros a serem percorridos pelo entregador são os seguintes: A-B-C-D-E-L-I-G-F-K-M-H-J-A, totalizando uma distância de 53,8 Km, tendo uma redução de 8 Km em relação a rota realizada atualmente pelo entregador. Esse trajeto representa o percurso de menor distância para se passar pelos 13 bairros, de modo que cada um seja visitado apenas uma vez, o percurso inicia e termina no ponto A que se refere ao supermercado.

Como a pesquisa foi aplicada em um supermercado essa redução das rotas, gera grandes benefícios, uma vez que a rota otimizada acarreta a redução de custos de transporte. Devido a estes fatores é notada a importância da utilização do Problema do Caixeiro Viajante.

## 5. Considerações finais

Para resolver problemas do dia a dia as empresas tem utilizado a matemática, por meio de técnicas e ferramentas que ajudam a compreender o que está fora de controle e auxiliam na tomada de decisões.

Para tanto o objetivo geral do estudo de encontrar uma rota ótima de entrega para um supermercado por meio do problema do caixeiro viajante foi alcançado bem

como, os objetivos específicos, pois, após analisar a rota utilizada pela empresa atualmente, mapear todos os bairros visitados assim como todas as rotas possíveis e aplicar os dados no software CPLEX, o resultado obtido por meio da programação sugeriu uma diminuição de 8 Km na rota total. Um ponto observado ao longo do trabalho que vale ser ressaltado é que se a solução dos dados fosse realizada manualmente seria muito difícil e até mesmo demorado encontrar a rota ótima devido à complexidade de solução do Problema do Caixeiro Viajante.

Com os resultados obtidos, pode-se perceber a importância de se utilizar métodos de roteirização de transportes quando se refere a otimização de processos. Evidenciando o problema do Caixeiro Viajante, onde é possível após a análise dos dados encontrar a menor rota a ser realizada de forma que todos os bairros sejam visitados uma única vez.

Devido à falta de tempo suficiente, não foi possível colocar em prática a nova rota obtida pelo CPLEX. Mas considera-se que o estudo gerou uma grande contribuição para o proprietário do supermercado, uma vez que tendo conhecimento da melhor rota, o mesmo poderá utilizá-la a fim de otimizar o processo de entregas.

## **APPLICATION OF THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM IN A MIDDLE PIRACICABA SUPERMARKET**

### **ABSTRACT**

*The current scenario, has made the market very competitive and customers are increasingly demanding, to stay in the market organizations have been seeking process optimization. In order to achieve this purpose, companies have invested in logistics in order to satisfy customers and maximize profits. Some of the fundamental principles in logistics strategy in organizations is the reduction of costs, time and distances, these being the main factors for the best route can be defined. Thus this article aims to minimize the distances traveled by a deliveryman from a supermarket in the Middle Piracicaba. In order to reach the objective, that is, to find the optimal route, a case study of an applied nature with a quantitative approach was carried out,*

*using the methodology of the Traveling Salesman Problem (PCV), solved in the AMPL software.*

Keywords: Traveling Salesman Problem. Mathematical modeling. Optimization Scripting.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Mário de Souza. **Elaboração de Projeto, TCC, dissertação e tese: uma abordagem simples, prática e objetiva.** São Paulo: Atlas, 2011. 80 p.

ALVARENGA, Antonio Carlos; NOVAES, Antonio Galvão N.. **Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição Física.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2000. 210 p.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional.** 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1998. 278 p.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 542 p.

BALLOU, Ronald H.. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532 p.

BALLOU, Ronald H.. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 616 p.

BALLOU, Ronald H.. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 392 p.

BERTAGLIA, Paulo R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento.** São Paulo: Saraiva, 2009. 576 p.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 600 p.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento, e Operação**. 4. ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2011. 536 p.

CUNHA, Claudio Barbieri da. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. **Transportes**, São Paulo, v. 8, n. 2, p.51-74, 2000. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/188>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

ENOMOTO, Leandro Minoru; LIMA, Renato da Silva. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p.94-108, jan. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v17n1/06.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

FARKUH NETO, Alberto; LIMA, Renato da Silva. Roteirização de veículos de uma rede atacadista com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, Itajubá, v. 5, n. 1, p.18-39, jun. 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 192 p.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L.. **Otimização Combinatória e Programação Linear - Modelos e Algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 536 p.

GOLDBARG, Marco Cesar; GOLDBARG, Elizabeth Gouvêa; LUNA, Henrique Pacca Loureiro. **Otimização Combinatória e Meta-Heurísticas - Modelos e Algoritmos: Algoritmos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 416 p.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. São Paulo: Mcgraw Hill, 2010. 805 p.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: Um guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 89 p.

LAPORTE, Gilbert et al. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions In Operational Research**, v. 7, n. 4/5, p.285-300, set. 2000. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969601600000034>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Atlas, 2001. 336 p.

MILLER, C. E et al. Integer programming formulation of traveling salesman problems. **Journal of the Association for Computing Machinery**, v. 7, n. 4, p. 326–329, 1960.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 356 p.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 424 p.

POZO, Hamilton. **Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 224 p.

SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY, Philip; SIMCHI-LEVI, Edith. **Cadeia de Suprimentos, Projeto e Gestão**. Porto Alegre: Bookman, 2003. 328 p.

TAHA, Hamdy A.. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007. 359 p.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 104 p.