

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

**APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV) EM UMA  
EMPRESA DO SETOR ESPECIALIZADO EM FIBRA**

**Patrícia Priscila de Souza Lima\***

**Bráulio Francês Barcelos\*\***

**RESUMO**

A demanda por uma logística eficiente tem crescido ainda mais nos últimos tempos, tem-se buscado melhores rotas para minimizar os gastos com transporte e aumentar os lucros da empresa. Por isso, esse artigo se propôs a investigar seguinte pergunta-problema, como otimizar as rotas de entrega de uma empresa especializada em fibras utilizando o problema do caixeiro viajante? O presente trabalho teve como objetivo implementar o modelo matemático do caixeiro viajante. Estipulou-se três objetivos específicos, o primeiro deles foi descrever a logística das rotas de distribuição da empresa, o segundo foi utilizar o modelo matemático do problema do caixeiro viajante para encontrar a rota ótima e o terceiro foi utilizar o *solver* AMPL para resolver o PCV. Isso se justifica, pois, os gastos com transportes são elevados, dessa forma, as empresas precisam buscar formas de otimizar as rotas de transporte para aumentar seus lucros e a competitividade. Para realizar essa investigação realizou-se um estudo de caso a fim de otimizar os transportes na empresa de fibras do Vale do Aço. Foi possível determinar a rota ótima saindo da fábrica em Coronel Fabriciano, percorrendo todos os clientes, retornando novamente à fábrica. Após a implementação dessa rota será possível definir uma metodologia mais clara acerca da logística na empresa, permitindo minimizar os gastos com transportes.

Palavras-chave: Logística. PCV. Transporte.

---

\* Bacharelanda em Engenharia de Produção da Faculdade Doctum de João Monlevade;  
patrycia\_2007@yahoo.com.br

\*\* Bacharel em Engenharia de Produção e Especialista em Engenharia de Suprimentos;  
braulio.barcelos@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento industrial ocorreu a partir da segunda guerra mundial, e fez com que as empresas e prestadoras de serviços necessitassem de uma logística mais eficiente. Tudo isso, devido a longas distâncias a serem percorridas em vários destinos onde o objetivo principal era encontrar melhores rotas. A logística pode corresponder a um terço ou mais das despesas dos empreendimentos. Esses custos podem ser de atendimento de chamada dos clientes, solicitação de alguma prestação de serviço, dentre outros.

A logística pode ser caracterizada como o procedimento de organizar, executar e controlar eficientemente o transporte, manutenção de estoques e a distribuição dos produtos dentro e fora das organizações. Sendo assim, um ciclo baseado no transporte de produtos está diretamente relacionado ao fator tempo. Porém, o grande problema não está somente no meio de transporte, mas também no custo e no tempo para deslocamento de cargas para entrega. Considerando esses elementos, é inevitável que o planejamento da distribuição seja cada vez mais complexo. Por isso, esse artigo propôs a seguinte pergunta, como otimizar as rotas de entrega de uma empresa especializada em fibras utilizando o problema do caixeiro viajante?

O presente trabalho teve como objetivo implementar o modelo matemático do caixeiro viajante, utilizando o software *Mathematical Programming Language* (AMPL) para otimizar as rotas de entrega em uma empresa especializada em fibra de vidro de modo minimizar a distância percorrida, proporcionando a redução dos custos logísticos. Para isso, estipulou-se três objetivos específicos, o primeiro deles foi descrever a logística das rotas de distribuição da empresa, o segundo foi utilizar o modelo matemático do problema do caixeiro viajante para encontrar a rota ótima e o terceiro foi utilizar o *solver* AMPL para resolver o PCV.

Isso se justifica, pois, o transporte é uma das principais funções logísticas e representa a maior parte dos gastos logísticos na maioria das organizações, tem papel fundamental no desempenho de diversas situações do serviço ao seu cliente. As principais funções do transporte na Logística estão ligadas basicamente às dimensões de tempo e utilidade de lugar. Dentre os principais problemas enfrentados no cenário brasileiro pode-se citar a: terceirização dos serviços

logísticos, defasagem do frete, segurança do transporte de cargas, eficiência, e agilidade na entrega. A eficiência nesse tipo de processo significa não só uma redução relevante dos gastos operacionais, como também a diminuição do tempo gasto dentro do processo de transporte, o que proporciona um aumento da produtividade, tornando a logística eficiente e interferindo de forma direta nos resultados da empresa.

Com o modelo de rota a ser percorrido, é possível reduzir perdas inerentes ao processo, mesmo locando veículos para realizar a entrega dos produtos, agilizando assim a entrega sem que seus clientes fiquem esperando. Podendo estar à frente no mercado competitivo que vem crescendo cada vez mais. A Pesquisa Operacional (PO) é um método de trabalho que se baseia em modelos matemáticos, algoritmos e estatística para auxiliar na tomada de decisões nas organizações. Com isso, é possível planejar e operar sistemas complexos que exigem uma análise eficiente, permitindo melhorar ou otimizar o sistema com base em matemática aplicada.

Esta pesquisa foi de natureza aplicada, com a perspectiva da abordagem quantitativa, pois serão utilizados dados sobre a localização dos clientes e a demanda da empresa. No que trata dos objetivos deste trabalho, esta pesquisa foi do tipo exploratória e descritiva. O procedimento técnico para a coleta de dados adotado neste trabalho foi o estudo de caso, com base em dados obtidos de uma empresa especializada em fibras. Os instrumentos para coleta de dados se deram com base em informações obtidas no sistema e em documentos da empresa acerca da roteirização. Foi aplicado um questionário não estruturado a fim de entender o problema em análise e minimizar possíveis falhas. Foram coletadas informações com o setor de logística da empresa sobre os dados de transporte que permitiram a elaboração do modelo matemático.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A seguir são apresentados os principais conceitos essenciais e que serviram para fundamentar teoricamente esta pesquisa.

## 2.1 Pesquisa operacional

Garcia (2014) afirma que a pesquisa operacional (PO) tem como finalidade resolver problemas reais com base na tomada de decisões, dessa forma é possível analisar as ações alternativas e propor novas soluções que direcionem ao atingimento do objetivo. Dessa forma, a PO auxilia na busca por soluções ótimas em situações desafiadoras, para isso utiliza os modelos matemáticos que auxiliam na tomada de decisão de forma consciente.

De acordo com Arenales e outros. (2007, p. 19), o conceito de PO é amplo por se tratar de uma disciplina da Engenharia de Produção que abrange diversos campos de estudo, porém, tem por objetivo caracterizar a tomada de decisão que ajuda na liderança básica. O termo "Pesquisa Operacional" foi utilizado na Segunda Guerra Mundial quando especialistas procuraram criar técnicas para lidar com questões de operações militares. Nesse sentido, começou a utilização deliberada da análise lógica de recursos militares.

Conforme Arenales e outros. (2007, p. 2), a pesquisa operacional entre as décadas de 1950 e 1960 passou a ser aplicada nos setores públicos e privados em diversos problemas. Foi realizado um levantamento nas empresas e, dentre algumas delas havia um departamento de pesquisa operacional que era aplicada em diversas áreas incluindo setores da produção e logística.

De acordo com Longaray (2013, p.7), após esse período, o uso da pesquisa operacional nas indústrias foi favorecido pelos avanços tecnológicos, nesses avanços surgiu um estudo para otimizar um algoritmo (SIMPLEX) para solucionar problemas de programação linear.

[...]Um modelo pode ser entendido como a representação matemática, simbólica ou descritiva, de um conjunto de eventos físicos, ou aspectos subjetivos, considerados importantes para determinado decisor em um contexto específico (LONGARAY, 2013, p.12).

Segundo Arenales e outros. (2007, p. 3), as análises feitas podem ser representadas por relação matemática, que oferecem ascensão a modelos

matemáticos, que devem representar simplificada o problema real para a solução deste e ser coerente com o contexto original do problema.

Com os avanços tecnológicos e com o aumento do volume de dados a pesquisa operacional vem ganhando espaço no mercado. A utilização dos computadores facilitou ainda mais esse processo, dessa forma a PO tem adquirido um caráter multidisciplinar, atendendo a todas as atividades executadas pelo homem (TEIXEIRA, 2011).

## 2.2 Logística e transporte

Bowersox (2001, p. 19) cita que:

A logística é singular: nunca para! Está ocorrendo em todo o mundo, 24 horas por dia sete dias por semana durante 52 semanas por ano. Poucas áreas de operações envolvem a complexidade ou abrangem o escopo geográfico característicos da logística.

Conforme Christopher (2002), o termo da logística é realizado como um método de gerenciamento, com natureza estratégica a aquisição, movimentação e estocagem de materiais, peças e produtos finalizados. Seja por meio da organização e do marketing, de maneira capaz a aumentar a rentabilidade e o lucro da empresa através do atendimento das solicitações ao menor custo.

De acordo com Novaes (2001), logística é o procedimento que necessita de organização, planejamento, implementação, prática e controle. Dessa forma, se tornando mais eficiente pra suprir as exigências dos próprios clientes.

Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com objetivo de atender aos requisitos do consumidor (NOVAES, 2001, p. 36).

A finalidade da logística é tornar produtos disponíveis, bem como os serviços no local certo e no momento certo, atendendo as necessidades dos clientes. Além de ser um desafio enfrentado, a logística busca encontrar a melhor maneira de reduzir a distância entre a produção e a demanda.

O transporte é o principal segmento do sistema logístico, que começa com o transporte do material bruto para produção e encerra seu ciclo no transporte dos itens acabados até o consumidor final (NOGUEIRA, 2012).

De acordo com Ballou (1993) uma das atividades fundamentais da logística é o transporte, tal atividade compromete cerca de dois terços do custo total logístico de uma organização. Um dos problemas encarados pelas organizações está relacionado a como reduzir os custos oriundos dessa atividade. Para isso, é necessário um gerenciamento eficiente das rotas.

Ballou, 1993, p. 24 ainda afirma que:

A maior parte da movimentação de carga é manipulada por cinco modos básicos de transporte interurbano (ferrovia, rodovia, hidrovía, dutos e aerovias) e pelas diversas agências de transporte, que facilitam e coordenam esses movimentos (agentes de transportes, transportadoras, associações de exportadores) (BALLOU, 1993, p. 24).

### **2.3 Roteirização**

Matos Junior e outros (2013) afirmam que a roteirização é um método que permite estabelecer os roteiros dos veículos de uma empresa. Na roteirização traçam-se os roteiros ou a sequência de roteiros que devem ser percorridos pelos veículos da empresa, com isso, é possível percorrer locais pré-estabelecidos e que precisam ser atendidos.

Já Cunha (2000) define roteirização como o estabelecimento de rotas que permitem minimizar os custos de distribuição dos produtos. Essa metodologia traça rotas e estabelece os pontos de origem e destino, de modo que todos os pontos determinados são visitados.

Segundo Ballou (1993) a rota traçada, desde seu plano de viagem, é um dos problemas encontrados para direcionar os veículos, o movimento pode ser feito por uma combinação da mínima distância e o mínimo tempo.

Ballou (1993) afirma ainda que essa solução exige uma análise criteriosa da rota de entrega utilizada pela empresa, um dos principais dados que deve ser levado em consideração é a distância entre a empresa e os seus clientes. Um dos

problemas clássicos e comuns que pode ser utilizado para a otimização das rotas é a roteirização.

Segundo Arenales e outros (2007) para chegar onde deseja é preciso selecionar uma dentre as diversas rotas que possa envolver lugares diferentes ao longo do percurso e paradas. Este problema pode ser resolvido pelo modo de rotas mínimas, sendo selecionada aquela que implica menor tempo, menor custo e menor distância.

De acordo com Ballou (1993) quando uma empresa possui sua própria frota, ela encontra diversos problemas relacionados à distribuição e ao despacho do veículo, que saem do ponto de origem para uma série de paradas intermediárias e, depois dessas viagens o veículo retorna então ao ponto de origem central (de onde saiu inicialmente).

Ballou (1993) comenta que, quando a roteirização envolve muitas paradas e veículos, as possibilidades totais de rotas são gigantescas, para isso, é necessário utilizar dos princípios operacionais para otimizar os custos e ter bons resultados.

Portanto, Ballou (1993) explica que para ter bons roteiros é preciso seguir algumas regras.

Para atingir esse roteiro ótimo Ballou (1993, p.146) afirma que é preciso adotar esses passos:

- 1) Ao início do grupo pelo ponto (parada) mais distante do depósito.
- 2) Encontre o próximo ponto, tomando o ponto disponível que esteja mais perto do centro (centroide) dos pontos no grupo. Agregue esse ponto ao grupo (veículo), caso a capacidade não tenha sido excedida.
- 3) Repita o passo dois até que o volume do veículo tenha sido atingida.
- 4) Sequencie as paradas de forma a ter modelo de uma gota d'água.
- 5) Encontre o próximo ponto, que é a parada mais distante do depósito ainda disponível, e repita as dicas dois e quatro;
- 6) Continue até que todos os pontos tenham sido designados.

## **2.4 Problema de Caixeiro Viajante (PCV)**

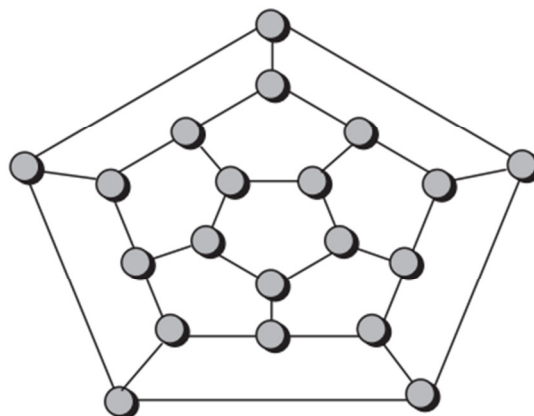
Segundo Arenales e outros (2007, p. 186) o Problema do Caixeiro Viajante atinge numerosas cidades, onde o caixeiro sai de sua cidade de origem e visita todas as cidades apenas uma vez, após isso ele volta para a cidade de origem aprimorando um ou mais objetivos, como, custos, distância, entre outros. Eles são

pertencentes às classes de problemas de roteamento de “nós” e são definidos em grafos, sendo esses orientados ou não.

Goldbarg e Luna (2000) afirmam que o PCV é um problema de programação matemática amplamente estudado. Ele é utilizado para solucionar problemas envolvendo o roteamento em logística, que são pontos como, clientes, depósitos, dentre outros locais que precisam ser percorridos para a execução de um trabalho. A otimização das rotas é uma importante ferramenta para melhorar a qualidade dos serviços de logística, permitindo que os clientes tenham seu produto de forma rápida e segura (LISBOA, 2007).

Segundo Arenales e outros (2007, p. 186), considerando um grafo não orientado  $G = (N, E)$  em que o conjunto  $N$  consiste de  $n$  cidades e representa o conjunto de arestas (ruas) entre cidades, julgue que o  $G$  é um grafo completo. Em outras palavras, sendo que para cada par de cidades  $i, j \in N, i \neq j$ , existe uma aresta  $(i, j)$ , a distância entre as cidades  $i$  e  $j$  é  $c_{ij} = c_{ji}$  e, considerado que o problema simétrico, caso contrário este é assimétrico. O autor fala que, o problema é denominado como ciclo hamiltoniano do grafo  $G$  e tem como objetivo definir o ciclo hamiltoniano, ou rota, de distância mínima. O ciclo hamiltoniano tem como objetivo permitir a visitação dos clientes apenas uma vez e voltando para o ponto de origem, percorrendo o menor caminho possível e analisando todas as rotas disponíveis, a rota escolhida será a menor, desde que atenda os critérios citados anteriormente. A figura 1 ilustra o grafo de um problema hamiltoniano.

Figura 1: Grafo de um problema hamiltoniano



Fonte: Goldbarg e Luna (2005)



As equações descritas abaixo descrevem o PCV para um conjunto de  $n$  cidades, o objetivo destas equações é determinar um circuito fechado que seja mais curto a ser percorrido em  $n$  cidades, a fim que se visite cada cidade apenas uma vez, nesse modelo os subcircuitos são excluídos para otimizar o processo (TAHA, 2008, p.171).

A forma geral da formulação de Taha (2008, p.171) é dado que  $d_{ij}$  é a distância da cidade  $i$  à cidade  $j$ , o problema do TSP é dado por:

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

Minimizar  $z =$

$$\left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}, d_{ij} = \infty \text{ para todo } i = j \right.$$

Sujeito a

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

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

$$x_{ij} \in (0, 1) \quad (3)$$

$$\text{O problema forma um circuito de } n \text{ cidades} \quad (4)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1 \quad (5)$$

O PCV é amplamente estudado devido a sua fácil compreensão, porém, apresenta elevada complexidade computacional, necessitando de muitos recursos como memória do computador e tempo (SILVA, 2013). Para a resolução desses problemas são utilizados modelos matemáticos, que são primordiais para a otimização das rotas (TAHA, 2008).

Os modelos matemáticos tradicionais, normalmente, apresentam dois níveis de resolução. No primeiro nível ocorre à programação/elaboração dos roteiros, nessa fase não é possível determinar com precisão os roteiros. Para os cálculos são adotadas estimativas com base no conhecimento dos operadores e com base no modelo, permitindo analisar o contexto de forma geral. O segundo nível é denominado fase de operações, nessa etapa o programador já tem informações precisas sobre a rota (VALENTE e outros, 2016). Porém, a solução desses modelos pode ser difícil devido ao grande número de resultados que se pode obter.

O PCV é considerado de difícil solução, pois pode haver diversas soluções para o problema, principalmente quando se considera grandes distâncias (BELFIORE; FAVERO, 2013). Hillier e Lieberman (2013) afirmam que, geralmente, esses problemas são resolvidos por Heurísticas, que são métodos utilizados para encontrar uma possível solução para resolver o problema em análise.

Colares e outros (2005) afirmam que as Heurísticas foram formuladas para resolver problemas complexos, principalmente para os computadores. Com isso, as heurísticas surgiram para analisar todas as possíveis soluções de um problema e determinar com certeza qual é a melhor solução.

Os modelos matemáticos utilizados para otimizar os processos operacionais logísticos, permitem agregar valor aos clientes e aumentar o lucro da empresa. Esse tipo de análise tem crescido consideravelmente, principalmente em empresas que necessitam realizar a distribuição de produtos, coletas de materiais, dentre outros serviços. Isso se dá, devido aos benefícios que esses modelos podem gerar para a empresa, como redução de custos e aumento da qualidade dos serviços prestados (LACHTERMACHER, 2002).

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO**

A empresa objeto de estudo foi fundada em 1998 e está situada na cidade de Coronel Fabriciano, no Vale do Aço, em Minas Gerais. É especializada na fabricação de produtos em resina e fibras. A empresa se destaca no mercado, pois atende as expectativas dos seus clientes, sempre melhorando os produtos e serviços ofertados com mão de obra qualificada. A busca pela melhoria contínua é

um elemento imprescindível na organização, tudo isso para atender os clientes e fornecedores, permitindo o crescimento conjunto.

Há investimento sistemático na implementação dos sistemas avançados de gestão, buscando a excelência no desempenho operacional e organizacional. A implantação do Sistema Integrado de Gestão (SIG) permitiu a certificação da empresa pela norma ISO 9001 (Gestão da Qualidade Total) e OHSAS 18001 (Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional). A busca pela excelência fez com que a empresa se tornasse uma das primeiras a conseguir as certificações na região, se destacando no mercado não somente como empresa de prestação de serviços em fibra, mas sim como uma empresa que oferece segurança e qualidade para seus clientes, empregados e parceiros comerciais.

#### **4 METODOLOGIA**

A metodologia é o conjunto de procedimentos e técnicas utilizadas de forma sistêmica e racional que permitem alcançar os objetivos estabelecidos, eliminando os erros e expondo as decisões dos pesquisadores (MARCONI; LAKATOS, 2017).

Esta pesquisa foi de natureza aplicada, ou seja, teve como objetivo gerar conhecimento para ser utilizado na resolução de um problema prático. Isso ocorre, pois este trabalho utilizou uma metodologia para resolver o problema de roteirização em uma empresa de fibras.

A perspectiva da abordagem foi quantitativa, pois utilizou-se dados sobre a localização dos clientes e a demanda da empresa. Além disso, dados da empresa foram explorados para obter variáveis que permitiram o desenvolvimento de um método experimental com base em modelos matemáticos para resolver o problema das rotas. Marconi e Lakatos (2017) afirmam que o objetivo da pesquisa quantitativa é validar hipóteses com base em dados estatísticos, auxiliando a atingir o objetivo final, por meio da quantificação dos dados e da generalização dos resultados da amostragem.

No que trata dos objetivos deste trabalho, esta pesquisa foi do tipo exploratória e descritiva. Prodonov e Freitas (2013) afirmam que esse tipo de pesquisa visa descrever as características de uma população ou de um fenômeno,

permitindo estudar os fatos e compará-los com dados disponíveis em literatura ou em entrevistas com indivíduos que estão a par do problema.

O procedimento técnico para a coleta de dados adotado neste trabalho foi o estudo de caso, com base em dados obtidos de uma empresa especializada em fibras. Gil (2002) afirma que o estudo de caso é um procedimento de coleta de dados que visa estudar de forma aprofundada e exaustiva poucos objetos para conhecê-los melhor. Marconi e Lakatos (2017) afirmam que o estudo de caso auxilia os pesquisadores a coletar dados, permitindo que estes tenham a capacidade de analisar os resultados e opinar sobre o assunto.

Os instrumentos para coleta de dados se deram com base em informações obtidas no sistema e em documentos da empresa acerca da roteirização. Foi aplicado um questionário não estruturado a fim de entender o problema em análise e minimizar possíveis falhas. Marconi e Lakatos (2017) afirmam que na coleta de dados começa a aplicação dos instrumentos criados e de técnicas selecionadas pelos pesquisadores, com o objetivo de coletar os dados para permitir a análise dos resultados.

O questionário não estruturado foi aplicado pela pesquisadora em outubro de 2019 na empresa de fibras, a fim de identificar as variáveis do problema. Coletou-se informações com o setor de logística da empresa sobre os dados de transporte que permitiram a elaboração do modelo matemático. O solver AMPL foi utilizado para tratar os dados obtidos, assim foi possível realizar as análises dos dados coletados e executar o modelo matemático para melhorar os problemas de roteirização na empresa de fibras.

## **5 PESQUISA E ANÁLISE DE DADOS**

A seguir são apresentados os principais dados obtidos após o levantamento dos dados.

## 5.1 Resposta do questionário

Inicialmente realizou-se uma entrevista com um consultor técnico e um supervisor da empresa a fim de avaliar o problema de logística na empresa. Os entrevistados afirmaram que não há um planejamento da rota, sendo que tal evento é realizado de acordo com a demanda ou com a conveniência, que em regra quando há necessidade de se visitar o andamento das obras e/ou visita técnica para orçamentos de serviços. Estrategicamente clientes que estão na rota da visita principal também podem ser visitados (RESPOSTA DO SUPERVISOR, 2019).

Dessa forma visitam-se as obras e os clientes em potencial, sendo que se define a visitação do cliente em meio a uma rota já pré-determinada a fim de tentar otimizar as rotas, considerando o consumo de combustível, as rotas mais rápidas e o estado de conservação das estradas. Nesse sentido o consultor técnico afirmou que: Rota ideal levando em consideração economia de combustível e cliente preferencial (RESPOSTA DO CONSULTOR TÉCNICO, 2019).

Houve uma divergência acerca do acompanhamento do andamento da entrega, o consultor afirma que isso pode ser feito via celular, porém, o supervisor afirma que isso só pode ser feito através de uma consulta direta ao cliente. Isso demonstra certa inexatidão acerca do controle das entregas, indicando que não existe uma metodologia bem definida para avaliar esse processo. Porém, ambos entrevistados reconhecem que as entregas são essenciais para a empresa, sendo um meio importante para atender aos clientes e continuar com as atividades da empresa no mercado.

A rota percorrida pela empresa era com base nas distâncias mais próximas, como demonstradas na tabela 1:

Tabela 1: Rota percorrida atualmente pela empresa

<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Distância (km)</b>
1	2	6,4
2	8	6,5
8	9	4,9
9	12	189
12	13	9,2
13	5	42,7
5	3	7,4
3	7	24
7	11	9
11	4	282
4	6	88,1
6	10	239
10	1	98,6
<b>Total de km</b>		<b>1006,8</b>

Fonte: Elaborado pela Autora (2019)

Dessa forma, a empresa percorre atualmente cerca de 1006.8 quilômetros sem uma programação de rota ótima.

## 5.2 A escolha da rota ótima

A empresa de fibras está localizada no Vale do Aço em Minas Gerais, sendo que ela atende empresas nas cidades da região. Como mencionado anteriormente, o transporte é realizado pela própria empresa considerando os clientes a serem visitados e utilizando veículos próprios para transportar colaboradores e produtos pequenos. Nos casos em que é preciso transportar produtos de maiores dimensões realiza-se a terceirização do transporte. Do cliente 1 ao cliente 13, percorridos um total de 917.5 km, sendo este a rota ótima do AMPL, como mostra a figura 2 abaixo.

Figura 2: Rota ótima definida pelo AMPL

```

ampl: model 'C:\Users\Usuario\TSP 1.run';
CPLEX 12.7.1.0: optimal integer solution; objective 917.5
76 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
No basis.
u [*] :=
 2  1
 3 11
 4  5
 5  2
 6  4
 7  8
 8  0
 9 12
10  7
11 10
12  9
13  3
;

Optimal tour length= 917.50
Optimal tour: 1- 8- 2- 5- 13- 6- 4- 10- 7- 12- 11- 3- 9-1

ampl:

```

Fonte: Elaborado pela Autora (2019)

Todas as distâncias percorridas pela empresa podem ser observadas no Anexo B ao final deste artigo, sendo que as distâncias entre a empresa e os clientes foram coletados no *Google Maps*.

A empresa não conta com um sistema para a roteirização, as visitas são realizadas quando necessário pelos profissionais, sendo que, a empresa busca quase sempre otimizar as rotas, sem a adoção de uma metodologia definida. Porém, é preciso criar um programa para roteirizar as rotas de modo que se passe por cada cliente uma vez e retornando à empresa ao final do dia de modo que todos sejam atendidos.

Para a construção do modelo parte-se da origem escolhendo a cidade mais perto de modo que o caixeiro percorra todas as cidades de interesse. O algoritmo deve começar de uma cidade  $i$  ( $i=1, 2, 3, 4, \dots, n$ ), após esse procedimento liga-se a cidade  $i$  a outra cidade  $j$  ( $j=1,2,3,4, \dots, n$ ), de modo que  $j$  seja a cidade mais perto de  $i$ . Esse procedimento precisa ser repetido até concluir as  $n$  cidades a serem visitadas

(REIS *et al.*, 2016).

Assim foi possível construir a rota ótima a ser percorrida pela empresa de fibras para atender todos os seus clientes com o menor custo possível.

Dessa forma, a rota ótima foi 1- 8- 2- 5- 13- 6- 4- 10- 7- 12- 11- 3- 9- 1 , ou seja, saiu da fábrica em Coronel Fabriciano, visitou-se o cliente 8, em seguida o cliente 2, cliente 5, cliente 13, cliente 6, cliente 4, cliente 10, cliente 7, cliente 12, cliente 11, cliente 3, cliente 9 e, por fim, retornando à fábrica em Coronel Fabriciano. Assim, foi possível determinar a rota ótima, que permitirá minimizar os gastos da empresa com transportes, assim que ela for implementada.

Após comparar a rota ótima com a rota percorrida pela empresa percebe-se que a rota ótima reduzirá 89,3 km no percurso da empresa. Isso representa uma redução de aproximadamente 9% em relação ao percurso realizado hoje. Como a empresa realiza esse percurso frequentemente, os ganhos com a otimização dos transportes serão a longo prazo.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O problema do caixeiro viajante foi determinado utilizando a heurística do vizinho mais próximo, por meio desse método foi possível determinar a rota ótima a ser percorrida pela empresa. Assim será possível percorrer as 12 empresas nas quais se presta serviço reduzindo os gastos com transporte, aproveitando de forma eficiente os recursos disponíveis.

A logística das rotas de distribuição da empresa foi levantada através de um questionário, no qual foi possível constatar que não existia um método definido para a logística da empresa. Tanto o consultor técnico e o supervisor se mostraram empenhados e preocupados com a logística, afirmando que ela é vital para o processo. Os profissionais que responderam a entrevista demonstraram ter uma visão distinta sobre o processo logístico, reforçando a necessidade de implementar um método padrão para solucionar os processos logísticos, que se deu pelo PCV.

A rota ótima determinada após utilizar o *solver* AMPL foi sair da empresa, em seguida o cliente 8, depois os clientes 2, 5, 13, 6, 4, 10, 7, 12, 11, 3, 9 e retornando para a empresa novamente (1). Após atender esses clientes a empresa terá se



deslocado 917,50 quilômetros, cerca de 89,3 km a menos do que ela percorre nos dias de hoje. É importante que a empresa adote essas práticas em seu setor de logística para minimizar os gastos com essa atividade altamente onerosa para as empresas.

*LOGISTICS: Application of the Traveling Salesman Problem (TSP) in a fiber industry company*

### **ABSTRACT**

*Demand for efficient logistics has grown even more recently, and better routes have been sought to minimize transportation costs and increase company profits. That is why this article set out to investigate the following problem question, how to optimize the delivery routes of a fiber company using the traveling salesman problem? The present work aimed to implement the mathematical model of the traveling salesman. Three specific objectives were set, the first was to describe the logistics of the company's distribution routes, the second was to use the traveling salesman problem mathematical model to find the optimal route and the third was to use the AMPL solver to solve the PCV. This is justified because transportation costs are high, so companies need to look for ways to optimize transportation routes to increase their profits and competitiveness. To carry out this investigation, a case study was carried out to optimize transport at the Vale do Aço fiber company. It was possible to determine the optimum route from the factory in Colonel Fabriciano, traversing all customers, returning to the factory again. After the implementation of this route it will be possible to define a clearer methodology about logistics in the company, allowing to minimize transport expenses.*

*Keywords: Logistics. PCV. Transport.*

### **REFERÊNCIAS**

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional:** para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial.** São Paulo: Atlas, 1993.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa operacional:** para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

COLARES, F. *et al.* Uma Heurística aplicada ao problema do caixeiro viajante. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37, 2005, Gramado. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2005.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Pioneira Thomson, 2002.

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes**, São Paulo, v. 8, n. 2, 2000.

GARCIA, J. C. B. **Introdução à pesquisa operacional**. 2014. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Birigui, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDBARG, M.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução a pesquisa operacional**. 9. ed. São Paulo: Amgh, 2013.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

LISBOA, F. S. **GRASP para o problema de roteamento de veículos com multi-comportamentos e restrição de janela de tempo**. 2007. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

LONGARAY, A. A. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Saraiva, 2013.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MATOS JUNIOR, C. A. *et al.* O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. In: Congresso Brasileiro de Custos, 20., 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: CBC, 2013.

MOURA, R. A. *et al.* **Atualidade na logística**. São Paulo: IMAM, 2004.

NOGUEIRA, A. S. **Logística Empresarial**: uma visão local com pensamento globalizado. São Paulo: Atlas, 2012.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**: estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

PRODANOV, C; FREITAS, E. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, C. C. C. *et al.* Técnicas de pesquisa operacional aplicadas na otimização de rotas de uma rede de lojas de materiais de construção. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 36., 2016, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ENEP, 2016.

SILVA, B. **Otimização de rotas utilizando abordagens heurísticas em um ambiente georreferenciado**. 2013. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, 2013.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**: uma visão geral. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TEIXEIRA, V. G. **Aplicação de programação linear na alocação de vagões gôndola para o transporte de ferro gusa na MRS logística S.A.** 2011. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

VALENTE, A. *et al.* **Gerenciamento de transportes e frotas**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO**

<b>Pesquisa para identificar as variáveis a serem utilizadas para otimizar as rotas utilizando o Problema do Caixeiro Viajante.</b>
Data:
<b>1) Dados do entrevistado</b>
a) Função na empresa
<b>2) Dados sobre as rotas</b>
a) Qual é o critério utilizado para visitar os clientes?
b) Como é definida a rota atual?
c) Quais os clientes visitados?
d) Qual a rota utilizada para visitar esse cliente?
e) Qual o veículo utilizado para fazer a entrega?
f) É possível acompanhar o andamento da entrega?
g) Qual a relevância desta entrega para o serviço de logística?

**APÊNDICE B – MATRIZ DE DISTÂNCIA ENTRE OS CLIENTES E A EMPRESA**

<b>MATRIZ DE DISTÂNCIA ENTRE CLIENTES EM KM</b>													
	<b>Cliente 1</b>	<b>Cliente 2</b>	<b>Cliente 3</b>	<b>Cliente 4</b>	<b>Cliente 5</b>	<b>Cliente 6</b>	<b>Cliente 7</b>	<b>Cliente 8</b>	<b>Cliente 9</b>	<b>Cliente 10</b>	<b>Cliente 11</b>	<b>Cliente 12</b>	<b>Cliente 13</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	·	6.4	13.3	203	83.2	75.6	17.6	9.8	7.8	253	16.6	16.3	96.8
<b>2</b>	6.4	·	17.4	218	79.8	72.2	22.8	6.5	12.8	258	21.8	21.4	93.4
<b>3</b>	13.3	17.4	·	191	92.3	84.7	7.4	22	4.9	242	5.1	4.9	93.2
<b>4</b>	203	218	191	·	248	206	192	211	194	282	190	189	252
<b>5</b>	83.2	79.8	92.3	248	·	42.7	98.4	87.8	91.7	333	96.2	95.8	9.2
<b>6</b>	75.6	72.2	84.7	206	42.7	·	90.2	79.7	83.5	324	88.1	87.7	55.8
<b>7</b>	17.6	22.8	7.4	192	98.4	90.2	·	24	9	241	68	5	110
<b>8</b>	9.8	6.5	22	211	87.8	79.7	24	·	16.4	262	25.4	25	102
<b>9</b>	7.8	12.8	4.9	194	91.7	83.5	9	16.4	·	246	9	9.1	103
<b>10</b>	253	258	242	282	333	324	241	262	246	·	241	239	346
<b>11</b>	16.6	21.8	5.1	190	96.2	88.1	68	25.4	9	241	·	4.6	108
<b>12</b>	16.3	21.4	4.9	189	95.8	87.7	5	25	9.1	239	4.6	·	110
<b>13</b>	96.8	93.4	93.2	252	9.2	55.8	110	102	103	346	108	110	·