

Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante para solução de um problema logístico de roteirização

Jandrei Sartori Spancerski (UTFPR) jandreisst@gmail.com
Silmar Antonio Lunkes (UTFPR) silmarlunkes@gmail.com
Tiago Luiz Strapasson (UTFPR) tiagostrapasson@hotmail.com
Micheli Ferreira (UTFPR) michelilunkes@gmail.com

Resumo:

Alguns dos fatores fundamentais na estratégia logística das organizações são distância, tempo e custos, sendo estes, os principais condicionantes para que se possa determinar a melhor rota possível. O presente trabalho caracteriza-se na minimização da distância percorrida por um entregador de produtos alimentícios, a fim de atender várias cidades situadas no oeste do Paraná. Para obter a solução otimizada da rota, utilizou-se da metodologia do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), desenvolvendo-se um algoritmo na ferramenta computacional LINGO®. No decorrer do trabalho, são apresentadas as etapas advindas da aplicação do método, que constitui-se do desenvolvimento de uma tabela de distâncias do tipo De-Para, obtida através do software Google Earth® e da construção de um algoritmo baseado no PCV para realizar os cálculos iterativos. O resultado se deu por um grafo direcionado que aponta a solução da pesquisa, sendo que esta foi enviada como sugestão para implantação pela empresa. Sendo assim, este trabalho proporciona a visualização da importância da modelagem matemática na construção de estratégias mais seguras para consecução de soluções logísticas.

Palavras chave: Custos, Engenharia de Produção, Modelagem Matemática, Otimização, Pesquisa Operacional.

Application of the Traveling Salesman Problem to solve a logistical routing problem

Abstract

Some of the fundamental factors in the logistics strategy of organizations are distance, time and costs, and these are the main constraints in order to determine the best possible route. This study characterizes the minimization of the distance traveled by a food deliveryman in order to serve several cities located in the west of Paraná. In order to obtain the optimized solution of the route, the methodology of the Traveling Salesman Problem (PCV) was made, developing an algorithm in the computational tool LINGO®. In the course of the study are presented the steps of the application of the method, which is the development of a table of distances of the type De-Para, gotten through the Google Earth software and the construction of a algorithm based on the PCV to get the iterative calculations. The result got if in a directed graph that points to the solution of the case study. Thus, this study provides the visualization of the importance of mathematical modeling in the construction of safer strategies for the achievement of logistics solutions.

Key-words: Costs, Production Engineering, Mathematical Modeling, Optimization, Operational Research.

1. Introdução

Grande parte das empresas tem atualmente repensado seus processos em busca de reduzir os custos e melhorar o seu desempenho operacional, sendo que dentro da atividade logística, a área de transportes representa a parcela mais significativa dos custos (BENEVIDES, 2012).

Segundo o Boletim de Conjuntura Econômica Regional do Oeste do Paraná (2016), em sua segunda edição, dentre os dezoito setores agregados analisados, o setor de alimentos e bebidas é o quarto maior empregador a nível nacional. O estado do Paraná concentra 10,7% dos empregados deste setor, sendo o segundo maior empregador, atrás apenas do estado de São Paulo, que conta com 25,9%.

A empresa analisada situa-se na cidade de São Miguel do Iguaçu, no estado do Paraná, Brasil. Está há quinze anos no ramo da produção de embutidos e defumados de origem suína, como linguiça defumada, linguiça toscana, torresmo, entre outros. A distribuição dos produtos não é terceirizada, sendo realizada por meio de um caminhão frigorificado próprio.

Ballou (1993, p. 145) ressalta que “Quando uma empresa possui frota própria, ela frequentemente encontra problemas ao despachar um veículo à partir de uma base central para uma série de paradas intermediárias, devendo o veículo retornar então à base central”.

A otimização da distribuição de produtos tem sido objeto de estudo de diversas áreas, como da computação, da matemática e da pesquisa operacional (CUNHA; BONASSER; ABRAHÃO, 2002). Os autores citados afirmam que existem vários métodos para encontrar soluções viáveis para problemas de roteirização, mas que por vezes, não geram resultados significativos, visto que existe uma dificuldade de se resolver problemas de grande escala. Sendo assim, soluções por modelos que geram resultados aproximados do ótimo, podem ser uma boa alternativa em um tempo computacional aceitável.

Rosa (2007, p. 18-19) nos traz uma abordagem sobre a vantagem competitiva proporcionada pelo gerenciamento logístico:

A competitividade tem exigido que as empresas brasileiras desenvolvam vantagens em relação aos seus concorrentes que envolvem tempo, e principalmente custo e nível de serviços. O gerenciamento logístico focado nos custos operacionais surge então como uma ferramenta com o objetivo de oferecer aos gestores parâmetros de avaliação do desempenho compatível com os objetivos da empresa.

Problemas logísticos envolvendo roteamento de veículos, gerenciamento de armazéns, entre diversos outros, são, de acordo com Hashemi Doulabi e Seifi (2013), habitualmente solucionados tomando-se decisões a nível tanto estratégico quanto tático e operacional, sendo que os ganhos advindos destas decisões são de porte significativo para as empresas, seja de cunho financeiro ou até de conhecimento.

Os cinco principais tipos de modais de transporte, citados por Bowersox e Closs (2001), são o aéreo, o aquaviário, o ferroviário, o dutoviário e, por fim, o rodoviário. Cada um destes modais possuem especificidades que melhor se adequam a diferentes cenários, como volume de carga e tráfego, lucro, acessibilidade e agilidade.

Caixeta Filho e Martins (2001) apontam a indiscutibilidade da vantagem competitiva que o modal rodoviário propicia quanto à questão de oferecer um serviço porta-a-porta, pois os demais modais limitam-se a instalações fixas de aeroportos, de trilhos, portos e sistemas dutoviários.

O transporte rodoviário é um dos mais eficientes e simples quando comparado aos demais meios de transporte, sendo que uma das exigências mais críticas é a existência de rodovias. Em contrapartida, esta opção acarreta em um alto consumo de combustível. Devido à sua flexibilidade, indica-se este modal para a distribuição urbana, em que as distâncias de distribuição são menores, onde sua exigência é de um modal versátil, provendo um nível de acessibilidade específico (ROSA, 2007).

O autor supracitado afirma que o processo de roteirização constitui-se no planejamento precedente das entregas realizadas por operadores logísticos, que seguem um roteiro lógico, determinado pela distância do percurso, a capacidade do veículo transportador, bem como o tempo despendido para entrega.

Conforme conceituado por Arenales (2007, p. 21) a problemática que envolve transporte, transbordo e designação:

[...] consiste em transportar o produto dos centros de produção aos mercados consumidores de modo que o custo total de transporte seja o menor possível. Admite-se, geralmente, que as quantidades produzidas ou ofertadas em cada centro e as quantidades demandadas em cada mercado consumidor são conhecidas. O transporte deve ser efetuado respeitando-se as limitações de oferta e atendendo a demanda.

Segundo Laporte *et al.* (2000), o Problema do Caixeiro Viajante é um dos problemas mais estudados em otimização combinatória, que apesar de simples, apresenta desafios dentro do campo da Pesquisa Operacional. Cunha, Bonasser e Abrahão (2002), definem que o PCV é um problema que procura encontrar a rota de menor custo que interliga um conjunto de vértices de um grafo, partindo de um ponto inicial, perpassando pelos demais uma única vez e, retornando ao mesmo ponto de partida.

Para Golbarg e Luna (2000), a origem do Problema do Caixeiro Viajante é atribuída a William Rowan Hamilton, que desenvolveu um jogo em que o objetivo era o de traçar um roteiro através dos vértices de um dodecaedro, equivalendo às cidades, com a exigência de iniciar e terminar no mesmo vértice, visitando apenas uma vez cada cidade.

Guedes, Leite e Aloise (2005, p. 17) descrevem a definição de uma maneira mais formal:

[...] dado um grafo $G(V, E)$, com $|V| \geq 3$ e custos C_{ij} , $(i, j) \in E$, associados às arestas, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) consiste em encontrar o ciclo hamiltoniano de custo mínimo. No caso de um grafo completo com n vértices (cidades) significa buscar a melhor rota dentre $(n - 1)!/2$ possibilidades.

Cunha, Bonasser e Abrahão (2002) ressaltam que o PCV é chamado simétrico quando a distância entre dois nós quaisquer i e j independe do sentido, isto é, quando $d_{ij} = d_{ji}$, caso contrário, o problema é denominado assimétrico. O grafo que descreve o cenário da situação problema encontrada neste estudo é considerado simétrico.

Em relação à classificação da Pesquisa Operacional (PO) perante as demais ciências, para Loesch e Hein (2009), pode ser melhor descrita como ciência do conhecimento, pela sua capacidade de estruturar processos a partir da transformação de dados de um cenário real, permitindo a interação entre diversas restrições e variáveis, propondo, se bem interpretadas, ações e alternativas de solução diversas.

Segundo a concepção dada por Silva *et al.* (2008), a Pesquisa Operacional se institui em um sistema complexo, ou seja, dado o modelo matemático condizente com a problemática estudada, o mesmo consegue descrever o sistema observado de forma lógica, e por intermédio da iteração deste modelo, encontra-se uma maneira segura de trabalhar este sistema.

Recorrendo ao dicionário Houaiss da língua portuguesa (HOUAISS; VILLAR, 2009), temos que método é “procedimento, técnica ou meio de fazer alguma coisa, especialmente de acordo com um plano”.

Para se ter um melhor entendimento do que vem a ser uma solução ótima, Barbosa e Zanardini (2010, p. 13) nos afirmam que “podemos dizer que é aquela que melhor serve aos objetivos das pessoas e das organizações.”.

O presente trabalho caracteriza-se na minimização da distância percorrida por um entregador de produtos alimentícios, a fim de atender várias cidades situadas no oeste do Paraná. Para obter a solução otimizada da rota, utilizou-se da metodologia do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), desenvolvendo-se um algoritmo na ferramenta computacional LINGO®. O Objetivo é trazer melhorias em custos, através da modelagem matemática baseada no PCV, pela otimização das distâncias logísticas.

2. Materiais e Métodos

A classificação geral desta pesquisa científica é dada como prática, que segundo Demo (2005, p. 23), é "ligada à práxis, ou seja, à prática histórica em termos de usar conhecimento científico para fins explícitos de intervenção; não esconde sua ideologia, ao contrário, reconstrói conhecimento a serviço de certa ideologia, sem com isso necessariamente perder de vista o rigor metodológico".

A pesquisa científica prática é subclassificada em relação à natureza, à abordagem, ao objetivo e aos procedimentos. No tocante à natureza é dada como aplicada, quanto à abordagem é considerada quantitativa, quanto ao objetivo é descritiva e relacionado aos procedimentos é de pesquisa operacional.

Considera-se aplicada, pois conforme Martins *et al.* (2014), gera conhecimentos que buscam solucionar problemas práticos e específicos, no qual, particularmente neste estudo, pretende-se solucionar o real problema de roteirização da empresa. Quantitativa, pois segundo Hayati, Karami e Slee (2006), é um método que visa utilizar-se de dados numéricos (que no presente caso, trata-se das distâncias entre as cidades), que permitem analisar as relações causa-efeito, tornando os resultados reprodutíveis, se utilizado o mesmo método. Descritiva, que consoante à Kauark, Magalhães e Medeiros (2010), objetiva descrever as relações entre variáveis, as propriedades da população ou fenômeno, em que as variáveis deste trabalho são o número de veículos e distância. Envolve também, o uso de técnicas padronizadas de tratamento de dados, que na atual pesquisa, trata-se do método do PCV. Por fim, sua classificação quanto aos procedimentos é de pesquisa operacional, pois conforme Arenales *et al.* (2007), é uma abordagem científica para a tomada de decisão, a fim de buscar uma melhor solução de um problema real das organizações, em que serve de suporte para planejar e operar o sistema.

Em relação às etapas de estudos aplicados a problemas reais, Moreira (2007) apresenta alguns passos fundamentais, que se iniciam na definição da situação-problema, passam pela formulação de um modelo quantitativo, perpassam pela resolução do modelo matemático que visa a melhor solução, até a sugestão de implementação da solução obtida. Baseando-se nas etapas descritas pelo autor citado, a Figura 1 contempla o processo de desenvolvimento da presente pesquisa.

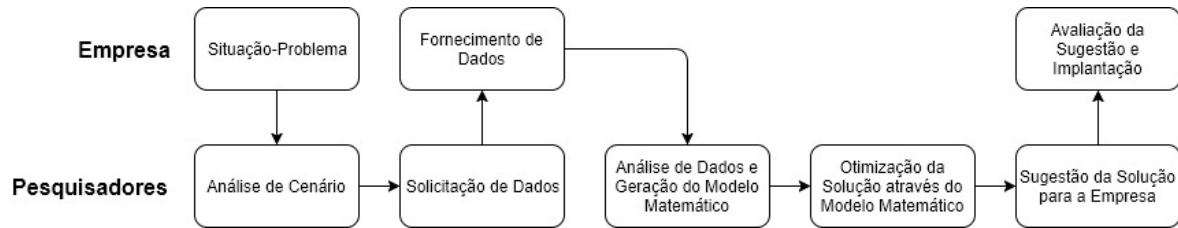


Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da presente pesquisa

Através de um diálogo com o gestor da empresa, levantou-se dados relativos às questões logísticas, como o mercado de atuação, as cidades atendidas, a localização dos respectivos pontos, o método corrente de entrega dos produtos e os clientes em potencial. Neste contexto, observou-se a oportunidade de aplicação de estudos voltados ao problema da roteirização ao longo das cidades atendidas e prospectadas pela empresa.

Optou-se por analisar o cenário pela perspectiva do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), elencando-se todas as variáveis a serem solicitadas à empresa para possibilitar o estudo através do referido método de programação linear.

A empresa forneceu dados relativos à área geográfica atendida e ao número de veículos que realizam as entregas, no qual constatou-se que a empresa dispõe de apenas um veículo. Vale ressaltar que o empreendimento não possuía qualquer controle ou histórico de consumo de combustível, rotas realizadas e distâncias percorridas.

As distâncias entre as cidades foram obtidas com o auxílio do aplicativo Google Earth®, e sobre os dados, realizou-se um tratamento para alocá-los em uma tabela de distâncias do tipo De-Para, posteriormente utilizada para realizar as iterações no algoritmo.

Para o cenário real da empresa estudada, objetivou-se analisar as distâncias entre as cidades atendidas, já que possuem maior representatividade de custos (distâncias) para o deslocamento quando comparados aos custos de entrega dentro de uma mesma cidade.

O algoritmo elaborado é composto por uma função objetivo, que deve ser minimizada, e restrições, conforme pode ser visualizado no Quadro 1.

$$\begin{aligned}
 FO: \quad \min Z &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} c_{ij} \\
 s. a.: \\
 r1: \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (origem) \\
 r2: \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (destino) \\
 r3: x_{ij} &\in [0,1] \quad (binário)
 \end{aligned}$$

Fonte: Autoria Própria (2017)

Quadro 1 – Modelo matemático PCV

A função objetivo (FO) do modelo proposto visa minimizar o custo total (c_{ij}) do caminho (x_{ij}), que para este estudo, é a distância total percorrida pelo entregador. A FO está sujeita às restrições de origem e destino, fazendo com que a solução propicie ao entregador passar por

todas as cidades com o mínimo de visitas possível, retornando à empresa.

Para facilitar a resolução dos cálculos iterativos, optou-se por utilizar a ferramenta computacional LINGO®, que possibilita a compilação de algoritmos que determinam, através de suas iterações, uma solução viável para o problema (LINDO SYSTEMS, 2017). O computador utilizado para executar o referido software era da marca Dell®, provido de um processador Intel® Core™ i5, com frequência de processamento de 2,5 GHz.

Finalmente, de posse da rota encontrada através dos métodos já descritos, sugeriu-se à empresa a realização de uma avaliação dos resultados por meio de análises de viabilidade (financeira, de percurso, entre outras) para a implantação da solução.

3. Resultados e Discussão

A empresa atende a região oeste do Paraná, totalizando dezessete cidades e um distrito (São Clemente, que por conveniência será tratado como um município), com clientes fixos e em potencial. A Figura 2 apresenta a disposição dos pontos (cidades) que arquitetam o grafo utilizado como referência para a obtenção dos dados de distância. O ordenamento das letras nos marcadores do mapa (Figura 2), que formam os vértices do grafo, foram inseridas da esquerda para a direita e de cima para baixo, de A à R, sendo que a empresa estudada localiza-se no ponto E, posição inicial e final da rota.



Figura 2 – Disposição dos pontos (cidades) na região de abrangência da empresa

A vista aérea da região oeste do Paraná (Figura 2) foi obtida através do software Google Earth®. Os traços destacados na cor amarela, representam as rodovias federais e estaduais, onde o pentágono iconizado identifica a rodovia federal BR 277, em que os pontos A, B, E, H, K, N, Q e R estão contidos. Salienta-se que, aproximadamente, 66% da extensão da rodovia citada é duplicada (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO PARANÁ, 2017). As demais vias são estaduais, asfaltadas e não duplicadas, representando os demais caminhos possíveis a serem percorridos.

As distâncias entre os pontos contidos na Figura 2 são apresentadas no Quadro 2, conforme os resultados gerados pelo software Google Earth®, em que os valores são referentes a caminhos possíveis, ou seja, por questões do método adotado (PCV), somente as cidades circunvizinhas podem ser visitadas.

Valores em Quilômetros		Destino																	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Origem	Foz do Iguaçu	A	-	23,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Santa Terezinha de Itaipu	B	23,2	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Santa Helena	C	-	-	-	34,5	-	-	17,1	-	32,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Missal	D	-	-	34,5	-	-	9,1	-	29,5	42,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	São Miguel do Iguaçu	E	-	25	-	-	-	32,5	-	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Itaipulândia	F	-	-	-	9,1	32,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	São Clemente	G	-	-	-	17,1	-	-	-	-	-	33,6	-	-	-	-	-	-	-
	Medianeira	H	-	-	-	29,5	17,8	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-
	Diamante d'Oeste	I	-	-	32,9	42,6	-	-	-	-	-	23,3	-	-	20,4	-	-	-	-
	São José das Palmeiras	J	-	-	-	-	-	33,6	-	23,3	-	-	34,2	43,6	-	32,6	-	-	-
	Matelândia	K	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	21,6	-	-	-	-
	Ouro Verde do Oeste	L	-	-	-	-	-	-	-	-	34,2	-	-	-	-	25,2	22,4	73,3	62,1
	Vera Cruz do Oeste	M	-	-	-	-	-	-	-	20,4	43,6	-	-	-	15,3	15,4	-	33,3	-
	Céu Azul	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,6	-	15,3	-	-	-	26,7	-
	São Pedro do Iguaçu	O	-	-	-	-	-	-	-	-	32,6	-	25,2	15,4	-	-	31,2	31,9	68,8
	Toledo	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,4	-	-	31,2	-	57,9	45,6
	Santa Tereza do Oeste	Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,3	33,3	26,7	31,9	57,9	-	21,5
	Cascavel	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62,1	-	-	68,8	45,6	21,5	-

Quadro 2 – Distâncias entre as cidades (De-Para)

Baseado na modelagem matemática genérica do PCV, apresentada no Quadro 1, efetuou-se a programação de um algoritmo na ferramenta computacional LINGO®, utilizando-se da linguagem própria do software.

Através da compilação do código no referido software, após 294000 iterações, realizadas em um tempo de 24 segundos, obteve-se a solução otimizada para o problema, resultando na rota de menor custo (distância).

A solução encontrada através do modelo construído, com base no Problema do Caixeiro Viajante, resultou na seguinte rota: E, B, A, B, E, H, K, N, Q, R, P, L, P, O, M, I, J, G, C, D, F, E.

Para facilitar a visualização da rota de entrega, desenhou-se o dígrafo solução, ilustrado na Figura 3.

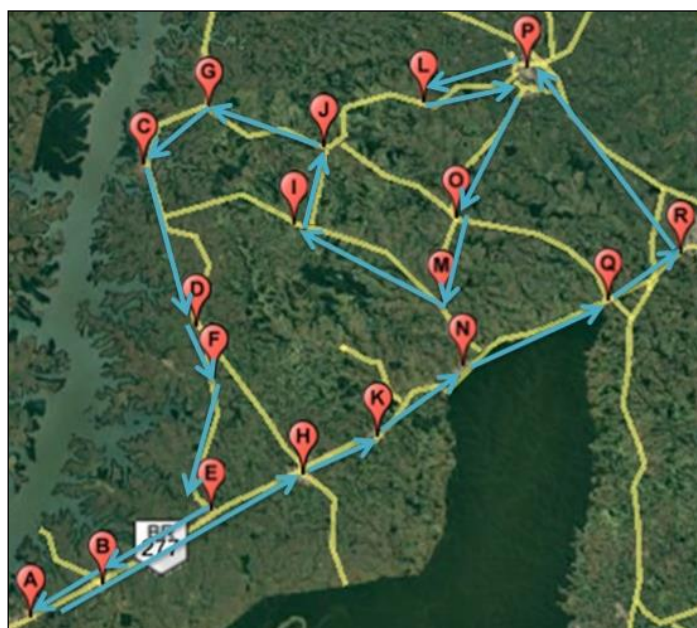


Figura 3 – Dígrafo solução da rota de entrega

A distância total percorrida, saindo do vértice “E”, para atender todas as cidades e retornar ao ponto inicial é de 470 quilômetros. Vale ressaltar que esta quilometragem refere-se às distâncias entre cidades.

Nota-se a formação de inúmeras sub-rotas no dígrafo (Figura 3), que podem ser úteis caso a capacidade do caminhão não seja suficiente para atender a demanda de todos os pontos em uma única carga. Um exemplo seria o atendimento da sub-rotas E-B-A-B-E, e posteriormente a sub-rotas compostas pelas demais cidades.

5. Considerações Finais

Este estudo proporcionou à empresa a oportunidade de melhoria em custos através da otimização da rota de distribuição de seus produtos, por meio da modelagem matemática baseada no PCV, atendendo ao objetivo principal deste trabalho.

A distância total do percurso otimizado foi de 470 quilômetros, passando por rodovias de boa qualidade, que proporcionam segurança ao trabalhador, agilidade nas entregas e contribuem para a conservação do veículo.

A rota proposta garante o menor custo quando todas as cidades forem atendidas ou quando se avalia o atendimento por sub-rotas, pela necessidade devido às restrições de carga ou tempo ou por estratégia da empresa.

O tempo necessário para que o entregador atenda a todos os pontos pode ser maior do que um dia de trabalho. Desta forma, pode-se estudar se é mais viável o retorno do entregador à empresa para que seja dada a continuidade no dia seguinte, ou se é preferível que o mesmo pernoite em uma cidade pertencente à rota de entrega. Portanto, propõe-se para estudos futuros a análise de viabilidade econômica das entregas em cada cidade, considerando o ponto de equilíbrio (margem de lucro) e análise das sub-rotas.

Para um resultado pormenorizado dos custos de entrega, é necessária a avaliação dos custos inerentes à rota interna às cidades, ou seja, realizar um estudo de roteirização considerando os fatores intrínsecos a cada grafo intraurbano, em que, possivelmente, seja necessária a utilização de outras metodologias de investigação operacional.

Sugere-se também a elaboração de um aplicativo, baseado em um algoritmo vinculado ao GPS do veículo ou do celular, que seja capaz de recalcular a rota de maneira prática para o entregador sempre que haja causas especiais, como pedidos emergenciais que possam desviá-lo do caminho inicialmente calculado.

Referências

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. *Pesquisa operacional*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BALLOU, R. H. *Logística Empresarial - Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física*. São Paulo: Atlas, 1993.

BARBOSA, M. A.; ZANARDINI, R. A. D. *Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de gestão*. Curitiba: Ibpx, 2010.

BENEVIDES, P. F. *Aplicação de heurísticas e metaheurísticas para o problema do caixeiro viajante em um problema real de roteirização de veículos*. Curitiba: UFPR, 2012, 157 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BOLETIM DE CONJUNTURA ECONÔMICA REGIONAL DO OESTE DO PARANÁ. 2016. Disponível em: <<https://www.pti.org.br/sites/default/files/Publica%C3%A7%C3%B5es/Boletim%20de%20Conjuntura%20n%C2%BA2.compressed.pdf>> Acesso em: 10 Ago. 2017.

- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.** *Logística Empresarial - O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento*. São Paulo: Atlas, 2007.
- CAIXETA FILHO, J. V.; MARTINS, R. S.** *Gestão Logística do Transporte de Cargas*. São Paulo: Atlas, 2001.
- CUNHA, C. B. da; BONASSER, U. de O.; ABRAHÃO, F. T. M.** *Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante*. In: XVI Congresso da Anpet. Natal: 2002.
- DEMO, P.** *Metodologia da investigação em educação*. Curitiba: Ibpx, 2005.
- LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.Y.; SEMET, F.** *Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem*. International Transactions in Operational Research, v.7, n. 4-5, p. 285-300, Set. 2000.
- GOLBARG, M. C.; LUNA, H. P. R.** *Otimização Combinatória e Programação Linear*. Rio de Janeiro, Campus, 2000.
- GUEDES, A. da C. B.; LEITE, J. N. F.; ALOISE, D. J.** *Um algoritmo genético com infecção viral para o problema do caixeiro viajante*. Revista PubliCa, Natal, v. 1, n. 1, p. 16-24, 2005.
- HASHEMI DOULABI, S. H.; SEIFI, A.** *A Lower and upper bounds for location-arc routing problems with vehicle capacity constraints*. European Journal of Operational Research, v. 224, n. 1, p. 189-208, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221712004705>>. Acesso em: 10 Ago. 2017.
- HAYATI, D.; KARAMI, E. & SLEE, B.** *Combining qualitative and quantitative methods in the measurement of rural poverty*. Social Indicators Research, v.75, p.361-394, springer, 2006.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S.** *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Versão 3.0. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009. 1 CD-ROM.
- KAUARK, F.S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H.** *Metodologia da pesquisa: Um guia prático*. Itabuna: Via Litterarum, 2010.
- LINDO SYSTEMS INC.** *software Lingo 9.0*. 2017, Disponível em: < <http://www.lindo.com/>> Acesso em: 10 Ago. 2017.
- LOESCH, C.; HEIN, N.** *Pesquisa operacional: fundamentos e modelos*. São Paulo: Saraiva, 2009.
- MARTINS, R.A.; MELLO, C.H.P; TURRIONI, J.B.** *Guia de Elaboração de Monografia e TCC em Engenharia de Produção*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- MOREIRA, D. A.** *Pesquisa operacional: curso introdutório*. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- ROSA, A. C.** *Gestão do transporte na logística de distribuição física: uma análise da minimização do custo operacional*. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, SP, Brasil.
- SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO PARANÁ.** 2017. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=15>>. Acesso em 10 Ago. 2017.
- SILVA, E. M. da et al.** *Pesquisa operacional: programação linear*. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.