

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

¹Otávio Augusto Oliveira Marangoni; ¹otavio.marangoni97@gmail.com; ¹UFMS;
²Lorena Torres Areco; ²lorenatorresareco@gmail.com; ² UFMS;
³Caroline Araújo Silva; ³araujosilva.caroline@gmail.com; ³UFMS;
⁴Kassia Tonheiro Rodrigues; ⁴kassia.tonheiro@gmail.com; ⁴ UFMS;
⁵Carolina Lino Martins; ⁵carol-tcch@hotmail.com; ⁵ UFMS;

RESUMO: *A proposta deste artigo é demonstrar a definição e otimização das rotas de entrega de uma lavanderia, uma vez que a empresa não consegue padronizar os trajetos e mensurar os custos do serviço. Para isso, será aplicado o Problema do Caixeiro Viajante com o objetivo de minimizar os custos das operações relacionados às distâncias percorridas, não considerando capacidade dos veículos ou janelas de tempo em seu conjunto de restrições. Atualmente as entregas são definidas sem uma metodologia adequada, levando em consideração apenas a restrição de período (manhã ou tarde). Obteve-se como resultado do trabalho uma rota ótima e com a menor distância otimizada de 26 km que, para a empresa, significa vantagem ao alcançar a padronização do processo, assim como melhor gestão financeira. Então, este trabalho contribui para a empresa devido a possibilidade de estimar os custos das entregas e também com a sua redução.*

PALAVRAS-CHAVE: *otimização; problema do caixeiro viajante; rotas.*

ABSTRACT:

The purpose of this article is to demonstrate the definition and optimization of the delivery routes of a laundry, since the company can not standardize the routes and measure the costs of the service. For this, the Traveling Salesman Problem will be applied with the objective of minimizing the costs of operations related to the distances traveled, not considering vehicles capacity or time windows in their set of restrictions. Currently the deliveries are defined without an adequate methodology, taking into account only the period restriction (morning or afternoon). As a result of the work, an optimal route with the shortest optimized distance of 26 km was obtained, which for the company means an advantage in achieving process standardization, as well as better financial management. So, this work contributes to the company due to the possibility of estimating the costs of deliveries and also with their reduction.

KEYWORDS: *Optimization; Traveler Salesman Problem; Routes.*

1. Introdução

De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Lavanderia (ANEL), atualmente, o Brasil conta com 9.500 lavanderias, considerando o Segmento Doméstico – que atende ao consumidor final – e Segmento Industrial. Sendo que, aproximadamente dois terços delas localizam-se no Estado de São Paulo. Essas empresas agregam financeiramente na economia do país e gerando em torno de 58000 empregos diretos.

Pesquisa Operacional (PO) é 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 (ARENALES *et al.*, 2007). Os problemas de roteirização de veículos (Vehicle Routing Problems - VRPs), que são de natureza combinatória, pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede. Nessa categoria encontram-se problemas clássicos, como problema de fluxo máximo, problema do caminho mínimo, e problema de transporte (GOLDEN; BALL; BODIN, 1981). Estes problemas são agrupados em problemas de roteamento juntamente com Problemas do Caixeiro Viajante (PCV), porém, possuem características distintas.

O setor de lavanderias incorporou a coleta e entrega dos materiais para agregar valor aos serviços de lavagem, proporcionando, assim, comodidade aos seus clientes. Entretanto, há a dificuldade de indicar os melhores trajetos que possibilitem a diminuição dos custos com combustível ou com tempo, por falta de conhecimento de técnicas de roteirização.

É possível encontrar no mercado aplicativos e softwares de roteirização, que auxiliam na solução de problemas de percursos mais curtos e rápidos. Entretanto, na maioria das situações, possuem um alto custo de implantação, não sendo economicamente viável ou acessível para pequenas empresas, como é o caso da lavanderia industrial a ser analisada. Essa situação justifica o presente estudo, levando em consideração que se desenvolve uma alternativa mais simples, e que ainda assim, consiga resolver e atender a demanda atual da empresa.

O problema objeto é a definição dos melhores caminhos da empresa para com seus clientes na área urbana da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, uma vez que a lavanderia não consegue padronizar os trajetos e mensurar os custos do serviço. Para isso, será aplicado o PCV nas rotas de coleta e distribuição da lavanderia industrial, com o objetivo de minimizar os custos das operações relacionados às distâncias percorridas, não considerando capacidade dos veículos ou janelas de tempo em seu conjunto de restrições.

2. Referencial teórico

De acordo com Barcelos *et al.* (2012), a Pesquisa Operacional (PO) é uma metodologia para tomar decisões, por meio de modelagens matemáticas, com o objetivo de encontrar soluções ótimas para problemas de determinada realidade de uma organização. Entretanto as soluções

ótimas encontradas não consideram apenas os melhores resultados; as soluções viáveis ponderam aspectos como restrições de custo, tempo, mão de obra, etc. Alguns dos problemas mais comuns em que a pesquisa operacional é utilizada são: estoque, filas de espera, alocação e escolhas de recursos, determinação e otimização de rotas, entre outros.

Os problemas de roteamento de veículos variam quanto a sua complexidade dependendo do número de variáveis e restrições que o problema considera em sua formulação (MIURA, 2003). Galvão *et al* (1997) relatam que a roteirização de veículos para entrega e coleta é baseada em obter rotas com menor distância entre os pontos de passagem a partir de um ou mais depósitos centrais. A partir disso, Miura (2003, *apud* Braga *et al* 2015) definem os Problemas de Roteamento de Veículos (PRV) como serviços de transporte aos quais é necessário um plano efetivo e flexível de entregas e coletas, nos quais surgem dificuldades de solução.

Este trabalho busca otimizar as rotas de uma lavanderia industrial. Para tanto, será utilizada a metodologia do Caixeiro Viajante, uma das vertentes da PO. Pacheco e Fukusawa (2010) afirmam que esta metodologia é baseada em um caixeiro viajante que parte de uma origem e deve percorrer somente uma vez cada ponto pré-determinado, a fim de retornar à origem com a menor distância percorrida possível. Além disso, Sílvia e Oliveira (2006, *apud* Braga *et al* 2015) relatam que o caixeiro viajante é um problema de otimização combinatória, pois a partir de n cidades e as distâncias entre elas é possível determinar uma rota que percorra todas as cidades e retorne ao ponto de origem tal que o caminho percorrido seja minimizado.

Silva (2002) relata em seu livro Programação Dinâmica que para resolver esse tipo de questão é necessário decompô-lo em uma sequência de problemas isolados, os quais são interligados por caminhos. Um problema de programação dinâmica deve conter três características básicas: ser um problema de decisão decomponível em etapas de decisão distintas, onde deve ser possível definir o estado da solução em cada etapa e, na etapa anterior, decide-se qual o estado da etapa seguinte que oferece melhor retorno.

O problema analisado possui características do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), um problema de otimização que pode ser resolvido via Programação Dinâmica ou Programação Linear, sua modelagem será apresentada posteriormente na metodologia deste trabalho. Silva (2002) afirma ainda que os impasses da programação dinâmica são solucionados recuando temporalmente na decisão, ou seja, para solucionar, é feito um caminho inverso (de trás para

frente). O desenvolvimento do cálculo é iniciado na última etapa (última decisão), então as soluções viáveis são deduzidas para as etapas anteriores.

A resolução deste tipo de problema pode gerar benefícios muito grandes em termos de redução de custo, como também redução do tempo de transporte (MIURA, 2003). Uma das maneiras de se resolver esse problema, segundo Braga et al (2015), é especificar as soluções possíveis e definir a solução com menor custo. Assim, as rotas possíveis seriam determinadas e por meio de um computador é exequível realizar cálculos da distância de cada rota. Neste trabalho, será utilizada a ferramenta Excel, a qual possui um suplemento chamado Solver.

O Solver é utilizado para encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma fórmula em uma célula, conforme restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células, chamadas variáveis de decisão ou simplesmente de células variáveis, usadas no cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição. Além disso, esse suplemento ajusta os valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado que você deseja para a célula objetiva (MICROSOFT, 2016).

3. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho será o estudo de caso. Os dados dos hotéis foram coletados na lavanderia objeto de estudo deste trabalho, por meio de entrevista com o proprietário da empresa.

Segundo ele, atualmente não há um procedimento padrão definido para a elaboração das rotas a serem realizadas, apenas se separam os hotéis que precisam de coleta e/ou entrega de manhã e os que precisam à tarde. A responsável pela definição dos trajetos do dia é uma auxiliar de lavanderia, que os define apenas pelo critério acima citado, sem considerar as distâncias e os custos envolvidos. Essa situação gera um entrave para a empresa, uma vez que a mesma não dispõe de dados concretos para análises e consequentes controles de gastos variáveis. Estes dados serão utilizados no Excel, a fim de determinar a menor rota para a entrega, com a utilização do Solver.

A empresa forneceu as cinco rotas que os motoristas completam todos os dias da semana, descritas abaixo com as distâncias entre os hotéis, obtidas por meio do Google Maps. As tabelas abaixo representam as distâncias entre os hotéis e a distância entre os hotéis e a Filial.

As rotas foram divididas em cinco, pois cada rota é realizada em um dia da semana.

TABELA 1 - Distância em km entre os hotéis - Rota 1

		Filial	Harbor	Internacional	Budget	CG
Rota 1	Filial	-	5,4	3,5	10,8	10,9
	Harbor	5,4	-	2,5	4,9	2,1
	Internacional	3,5	2,5	-	7,9	8
	Budget	10,8	4,9	7,9	-	7,1
	CG	10,9	2,1	8	7,1	-

Fonte: Autores (2018).

TABELA 2 - Distância em Km entre os hotéis - Rota 2

		Filial	Colonial	Internacional	Iguaçu	Cerrado
Rota 2	Filial	-	3,5	3,5	3,7	6,1
	Colonial	3,5	-	0	0,75	3,2
	Internacional	3,5	0	-	0,75	3,2
	Iguaçu	3,7	0,75	3,2	-	2,1
	Cerrado	6,1	0,75	3,2	2,1	-

Fonte: Autores (2018).

TABELA 3 - Distância em Km entre os hotéis Rota 3

		Filial	Proença	Metropolitan
Rota 3	Filial	-	6,3	3,9
	Proença	6,3	-	2,3
	Metropolitan	3,9	2,3	-

Fonte: Autores (2018).

TABELA 4 - Distância em Km entre os hotéis - Rota 4

		Filial	CG	GP
Rota 4	Filial	-	10,9	7,4
	CG	10,9	-	3,1
	GP	7,4	3,1	-

Fonte: Autores (2018).

TABELA 5 - Distância em Km entre os hotéis - Rota 5

		Filial	Harbor	Internacional	Colonial
Rota 5	Filial	-	5,4	3,5	3,5
	Harbor	5,4	-	2,6	2,6
	Internacional	3,5	2,6	-	0
	Colonial	3,5	2,6	0	-

Fonte: Autores (2018).

A Figura 1 contém a localização dos hotéis que a lavanderia faz entregas e coletas.



FIGURA 1 - Pontos dos hotéis na cidade. Fonte: Autores (2018).

Neste trabalho, será desenvolvido o menor caminho apenas para a rota 1, pois a função-objetivo e as restrições que serão descritas são genéricas, ou seja, elas podem ser aplicadas a qualquer uma das outras rotas.

De acordo com a Dantzig *et al.* (1954) função-objetivo para o problema do caixeiro viajante é dada por:

$$\text{Min } D(x) = \sum_{i>j} d_{ij}x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq v - 1 \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, u_j \geq 0 \quad (5)$$

As equações (2) e (3) garantem que cada um dos X_{ij} é 0 ou 1 (não passou por aquele ponto ou já passou por aquele ponto), a equação (4) elimina os subciclos e garante que a solução oferecida contenha uma solução única, e a equação (5) indica que todos os valores da matriz X devem ser todos binários.

A Figura 2 apresenta a metodologia adotada para a resolução do problema de roteirização. A TABELA 1 da Figura 2 são as distâncias em quilômetros entre os hotéis da Rota 1. A TABELA 2 da Figura 2 contém as variáveis de decisão do problema. As variáveis de decisão são as distâncias entre os hotéis. A coluna ROTA na TABELA 2 da Figura 2 contém a soma dos valores de toda a linha correspondente, enquanto a linha ROTA contém a soma dos valores de toda a coluna correspondente. A TABELA 3 da Figura 2 é responsável por limitar o número de etapas que será realizado no problema. Por fim, a TABELA 4 da Figura 2 inclui as restrições que garantem que cada hotel será percorrido somente uma vez.

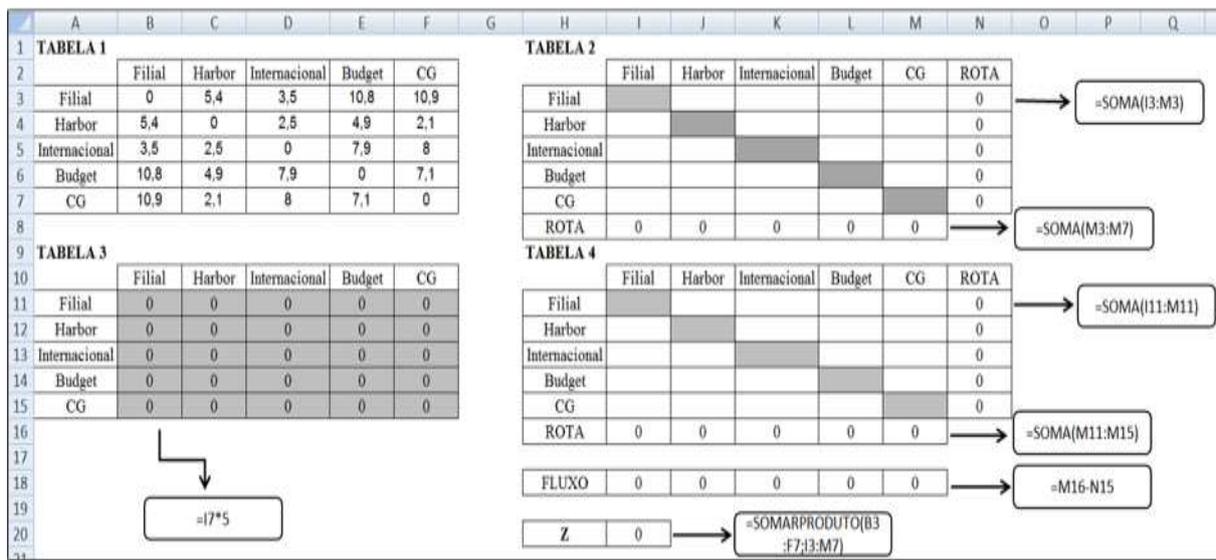


FIGURA 2 - Aplicação de fórmulas na Rota 1. Fonte: Autores (2018).

A Figura 3 apresenta o suplemento Solver do Excel. A célula de destino corresponde à função-objetivo, ou seja, a solução ótima Z, a função é de minimizar, pois se deseja encontrar o menor caminho e as células variáveis correspondem às variáveis de decisão.

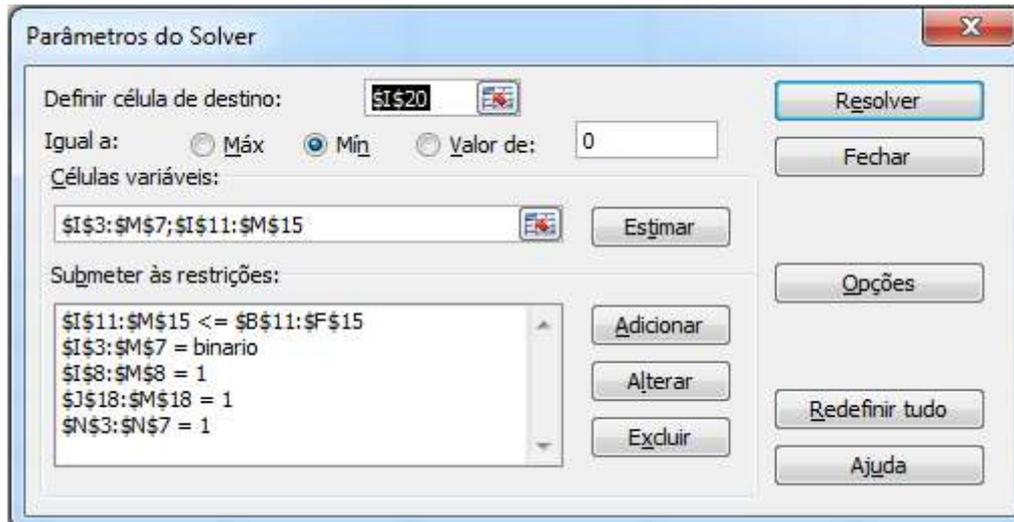


FIGURA 3 - Aplicação do Solver na Rota 1. Fonte: Autores (2018).

A primeira restrição é responsável por garantir que toda a TABELA 4 da Figura 2 seja menor ou igual à TABELA 3 da Figura 2, ou seja, apenas cinco etapas serão consideradas. Já a segunda restrição induz o Solver a obter apenas duas possibilidades para as variáveis de decisão: passar ou não pelo hotel. A terceira e quarta restrição servem para assegurar que cada hotel seja visitado apenas uma vez. A quinta e última restrição garante que o motorista volte a Filial.

4. Resultados

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos após o procedimento descrito na Metodologia. O menor caminho resultou em 26 quilômetros (Z). Para saber a sequência a ser utilizada, ou seja, o trajeto de menor caminho a ser percorrido, é necessário analisar a TABELA 2 da Figura 4.

Sabe-se que o ponto de partida inicial é a Filial (linha), logo o primeiro hotel a ser visitado será o da coluna que resultou em “1” correspondente, no caso, o Harbor. Para saber o próximo ponto, deve-se repetir o mesmo sistema: partir da linha e encontrar a coluna que resultou em “1”, que representa o próximo hotel da rota, e assim sucessivamente até voltar para a Filial. Partindo do Harbor (linha), a coluna resultante em “1” foi a do CG; partindo do CG (linha), a coluna resultante em “1” foi a do Budget; partindo do Budget (linha), a coluna resultante em “1” corresponde ao Internacional, e partindo do Internacional (linha) a coluna que resulta em “1” é a da Filial.

TABELA 1					
	Filial	Harbor	Internacional	Budget	CG
Filial	0	5,4	3,5	10,8	10,9
Harbor	5,4	0	2,5	4,9	2,1
Internacional	3,5	2,5	0	7,9	8
Budget	10,8	4,9	7,9	0	7,1
CG	10,9	2,1	8	7,1	0

TABELA 2						
	Filial	Harbor	Internacional	Budget	CG	ROTA
Filial	0	1	0	0	0	1
Harbor	0	0	0	0	1	1
Internacional	1	0	0	0	0	1
Budget	0	0	1	0	0	1
CG	0	0	0	1	0	1
ROTA	1	1	1	1	1	

TABELA 3					
	Filial	Harbor	Internacional	Budget	CG
Filial	0	5	0	0	0
Harbor	0	0	0	0	5
Internacional	5	0	0	0	0
Budget	0	0	5	0	0
CG	0	0	0	5	0

TABELA 4						
	Filial	Harbor	Internacional	Budget	CG	ROTA
Filial	0	5	0	0	0	5
Harbor	0	0	0	0	4	4
Internacional	1	0	0	0	0	1
Budget	0	0	2	0	0	2
CG	0	0	0	3	0	3
ROTA	1	5	2	3	4	

FLUXO	-4	1	1	1	1
-------	----	---	---	---	---

Z	26
---	----

FIGURA 4 - Resultados obtidos. Fonte: Autores (2018).

Então, como apresentado na Figura 5, o caminho ótimo é: Filial - Harbor - Campo Grande - Budget - Internacional - Filial, com um total de 26 quilômetros percorridos.



FIGURA 5 - Caminho proposto para a lavanderia. Fonte: Autores (2018).

A otimização significa para a empresa uma redução de, aproximadamente, 17% da distância percorrida na rota simulada. Com isso, estaria reduzindo do percurso do motorista em torno de 5km, levando em consideração a região da aplicação do problema, essa é uma redução bastante significativa. Além disso, isso significa a economia de recursos financeiros e também, de tempo de percurso. A partir desses resultados, a empresa pode incluir mais pontos de entrega na mesma rota e até mesmo realizar um maior número de entregas por período.

5. Considerações finais

Neste trabalho foi apresentada a problemática da otimização de rotas de uma lavanderia industrial, onde o objetivo foi a definição dos melhores caminhos da empresa para com seus clientes, uma vez que a lavanderia não conseguia obter a padronização dos trajetos e nem mensurar, de maneira correta, os custos do serviço.

A empresa em questão não possuía metodologia definida para as rotas, o que dificultava a mensurar os gastos com este serviço. E, geralmente, um dos maiores gastos de uma empresa são com os custos logísticos. Por isso, este trabalho possui contribuição para a empresa devido a possibilidade de estimar os custos das entregas e também com a sua redução. Como fator limitante para a pesquisa, houve a dificuldade em definir dados e restrições para aplicar o PCV a fim de minimizar o custo e definir uma rota de menor distância.

A partir da aplicação do PCV, foi possível encontrar o melhor caminho para o problema de rotas da lavanderia industrial. Como resultado da otimização, a nova rota seria: Filial - Harbor - Campo Grande - Budget - Novotel - Internacional - Filial – reduzindo em torno de 17% dos quilômetros percorridos.

Para trabalhos futuros, sugere-se a inclusão no atendimento de clientes domésticos. Isso daria maior flexibilidade a empresa, mas dificultaria o problema a ser resolvido. O aumento nos pontos de coleta e entrega podem demonstrar ainda maior ganho com a resolução do PCV. Além disso, existe a possibilidade de resolução do problema analisando a roteirização com aspectos espaciais e temporais, com a inserção de restrições de horário. A criação de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), a fim de simplificar o cotidiano da empresa durante a definição das rotas também pode ser uma evolução deste estudo.

Referências

ANEL. Apresentação. [online]. Disponível em: <<http://anel.com.br/setor/>>.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Elsevier Brasil, 2015.

BARCELOS, Bartholomeo Oliveira; EVANGELISTA, Mário Luiz Santos; SEGATTO, Sara Schafer. A importância e a aplicação da pesquisa operacional nos Cursos de graduação em Administração. **RACE-Revista de Administração, Contabilidade e Economia**, v. 11, n. 2, p. 381-405, 2015.

BRAGA, I. C. P.; TEIXEIRA, M. S.; DANTAS, H. F.; OLIVEIRA, M. S. **Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) em uma empresa do ramo salineiro do RN.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção. Fortaleza, Outubro, 2015.

DANTZIG, George; FULKERSON, Ray; JOHNSON, Selmer. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. **Journal of the operations research society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

FUKUSAWA, Ricardo; PACHECO, Marco Aurélio. **Resolução do Problema do Entregador Viajante.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Inteligência Computacional Aplicada. Rio de Janeiro, vol. 4, 2010.

GALVÃO, Roberto Diéguez et al. Roteamento de veículos com base em sistemas de informação geográfica. Vehicle routing based on geographical information systems. **Gestão & Produção**, v. 4, n. 2, p. 159-174, 1997.

GOLDEN, Bruce; BALL, M.; BODIN, Lawrence. Current and future research directions in network optimization. **Computers & Operations Research**, v. 8, n. 2, p. 71-81, 1981.

MICRISOFT. Definir e resolver um problema usando o solver. Acesso em 28 de maio de 2018. Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>>.

MIURA, Marcos. **Resolução de um problema de roteamento de veículos em uma empresa transportadora.** 2003. Tese de Doutorado. EPUSP.

MOREIRA, Daniel Augusto. **PESQUISA OPERACIONAL-CURSO INTRODUTÓRIO.** Cengage Learning Edições Ltda., 2010.

SILVA, A. C. M.; TELHADA, JMP. **Investigação Operacional–Programação Dinâmica.** 2002.