

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR DE VESTUÁRIO

Rafael de Azevedo Palhares (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) rafaelpalhareseng@hotmail.com

Hálison Fernandes B. Dantas (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) halison_fernandes@hotmail.com

Izaac Paulo Costa Braga (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) izaac_braga@hotmail.com

Mariana Simião Brasil de Oliveira (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) marianabr4sil@gmail.com

Resumo:

O presente trabalho tem por objetivo estudar técnicas de otimização e analisar um problema de roteirização, envolvendo o problema do caixeiro viajante, aplicado à em uma empresa de vestuário localizada na cidade de Natal/RN. Para tanto, fez-se uma modelagem matemática através das distâncias percorridas e efetuou-se a solução do problema através de um suplemento do Microsoft Office Excel – Solver. Para uma melhor compreensão do tema proposto, realizou-se uma revisão na literatura clássica, assim como em teses e dissertações. Ao final deste processo, concluiu-se que a utilização dessas técnicas e ferramentas podem trazer diversos benefícios ao tomador de decisão, transformando dados brutos em informações relevantes, buscando efetuar um aproveitamento ótimo dos recursos disponíveis.

Palavras-chave: Problema de roteirização, Caixeiro viajante, Modelagem matemática.

APPLICATION OF THE PROBLEM OF TRAVELING CLERK IN A CENTER OF DISTRIBUTION OF THE CLOTHING INDUSTRY

Abstract:

The objective of this work is to study optimization techniques and analyze a routing problem, involving the traveling salesman problem, applied to a clothing company located in the city of Natal/RN. To do so, a mathematical modeling was done through the distances traveled and the problem was solved through a Microsoft Office Excel – Solver add – on. For a better understanding of the proposed theme, a review was made in the classical literature, as well as in theses and dissertations. At the end of this process, it was concluded that the use of these techniques and tools can bring several benefits to the decision maker, transforming raw data into relevant information, seeking to make optimal use of available resources.

Keywords: Roleplaying problem, Traveling salesman, Mathematical modeling.

1. Introdução

Segundo a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SBPO), a subárea da Engenharia de Produção – Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas

reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A pesquisa operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações.

De acordo com Lachermatcher (2002), a pesquisa operacional tem como um de seus objetivos, apoiar o processo de tomada de decisão para que estas sejam independentes do decisor e assegurar que o processo de tomada de decisão seja claro e transparente.

Goldbarg e Luna (2005) ressaltam que a programação matemática é fortemente direcionada ao apoio da tomada de decisão no gerenciamento de sistemas de grande porte, utilizando-se de meios automáticos de dados para examinar inúmeras configurações viáveis do problema proposto, e dentro de determinados critérios, oferecer a melhor solução.

As atividades de transportes são bastante complexas e envolvem várias áreas de conhecimento, com grande aplicabilidade prática. Um dos problemas que mais se destacam é do caixeiro viajante, que parte de uma cidade origem, percorre por diversas outras, sem gerar subciclos (sem retornar as cidades já visitadas), atendendo as demandas desejadas e retornando para o ponto de partida. Nesse contexto, vários problemas de otimização surgem para modelar problemas e encontrar resultados onde, em um determinado contexto, a solução sugerida seja a que melhor otimize a utilização dos recursos disponíveis obedecendo as limitações de produção e fluxos. Dessa forma, esse trabalho busca encontrar uma rota ótima que eleve o padrão de rapidez na entrega e minimize o custo do processo de distribuição das peças para que ela possa competir mais fortemente no mercado em que atua.

2. Referencial teórico

2.1. Redes logísticas

Atualmente a gestão de redes logísticas é um dos principais aspectos para manutenção do mercado mundial, constituindo-se em um campo estratégico para empresas e países. Para Chopra e Meindl (2003) a complexidade das redes logísticas e sua imprevisibilidade tornam os sistemas difíceis de serem gerenciados e controlados. As tendências de mudanças organizacionais e mercadológicas levam as cadeias a serem altamente dinâmicas, escaláveis, reconfiguráveis, ágeis e adaptativas. Essas redes complexas devem perceber e responder de forma eficaz e eficiente às demandas dos clientes.

Segundo Ballou (2006) rede logística consiste em todas as partes relacionadas, seja direta ou indiretamente, na execução do pedido de um cliente, mais especificamente, é determinação do número de instalações, sua localização e a alocação dos mercados consumidores a elas, onde os projetos de modelagem e definição de redes podem ser divididos em 3 macro-etapas: coleta e análise de dados, modelagem matemática e geração de cenários.

2.2. Problema de roteamento de veículos – PRV

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) é um nome genérico dado a uma classe de problemas de distribuição. De acordo com Vieira (2013) consiste em determinar a rota a ser atribuída a cada veículo que esteja disponível para o transporte de mercadorias demandadas, de modo que a demanda ou oferta de todos os clientes seja satisfeita, e que cada veículo regresse ao depósito de origem ao final do período considerado. O objetivo é minimizar o custo total, definido pela soma dos custos dos roteiros.

De acordo com Pereira (2010), a malha rodoviária usada para o transporte dos bens é geralmente representada por um grafo, no qual os arcos representam estradas e os vértices correspondem a junções de estradas, depósitos ou consumidores. O grafo pode ser direcionado ou não direcionado, dependendo se os arcos podem ser atravessados em uma (mão única, típico de vias urbanas) ou nas duas direções. Cada arco possui um custo e um tempo de tráfego, que possivelmente é dependente do veículo ou período em que o arco é atravessado.

2.3. Problema do caixeiro viajante (PCV)

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um problema da área de otimização que possui inúmeras aplicações práticas. É um problema que tenta determinar a menor rota para percorrer uma série de cidades, visitando uma única vez cada uma delas e depois retornando à cidade de origem. Afim de percorrer o menor caminho possível, reduzindo o tempo necessário para a viagem e os possíveis custos com transporte e combustível (BOAVENTURA, 2001).

O PCV consiste na representação de um grafo completo, com n vértices, obter um ciclo hamiltoniano de custo mínimo, isto é, deseja-se, a partir de um vértice inicial, passar por todos os demais vértices do grafo uma única vez e então retornar ao vértice inicial. Cada aresta que liga um par de vértices do grafo possui um custo $c(i;j)$ que determina o quanto se gasta para ir de i até j (BOAVENTURA, 2001).

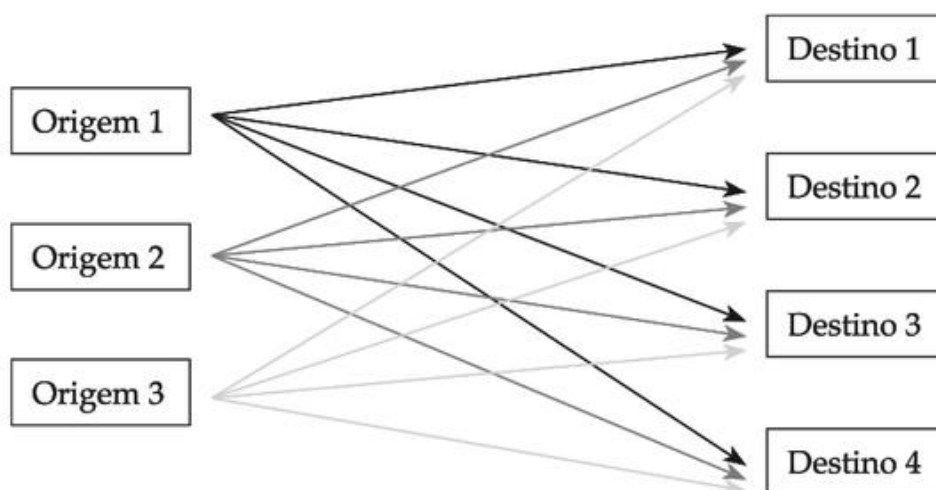


Figura 1 – Problema de Transporte

Conforme Figura 1, a origem (fabricas, depósitos, lojas entre outros) pode enviar seu produto para destinos diferentes e cada destino (filiais, Cd's, obras entre outros) pode receber o produto de origens diferentes (BARBOSA; ZANARDINI, 2015).

N	(N-1)!	TEMPO PROCESSAMENTO
5	24	Insignificante
10	362 880	0.003 s
15	87 Bilhões	20 min

20	1.2×10^{17}	73 anos
25	6.2×10^{23}	470 milhões de anos

Tabela 1 – Explosão combinatória

Para n (números de elementos) muito grande, gera-se um problema de complexidade no PCV o que dificulta a análise de soluções possíveis para o problema, de acordo com a Tabela 1.

2.4. Solver

Conforme o manual do usuário do Office 2003, o Solver faz parte de um conjunto de programas, que geralmente são chamados de ferramentas de análise hipotética, ou seja, uma ferramenta que possibilita encontrar um valor ideal (otimizado) para uma determinada equação. Para resolver problemas lineares e de números inteiros, o Solver utiliza o algoritmo Simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite. Esse método foi implementado por John Watson e Dan Fylstra, ambos da Frontline Systems, Inc.

Goldbarg e Luna (2000) relatam que o Solver trabalha com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. O Solver ajusta os valores nas células variáveis que você especificar chamadas de células ajustáveis para produzir o resultado especificado por você na fórmula da célula de destino. Você pode aplicar restrições para restringir os valores que o Solver poderá usar no modelo e as restrições podem se referir a outras células que afetem a fórmula da célula de destino. Esses elementos utilizados pelo Microsoft Excel Solver para resolver uma determinada equação serão descritos a seguir:

- a) Célula de destino: a célula de destino é o objetivo. Ele é a célula no modelo de planilha que representa a função que será minimizada, maximizada ou definido com um valor;
- b) Células variáveis: essas células são as variáveis de decisão. Essas células afetam o valor da célula de destino. Essas células são alteradas pelo Microsoft Excel Solver para encontrar a solução ideal para a célula de destino;
- c) Restrições: são restrições sobre o conteúdo de células. Por exemplo, uma célula em um modelo de planilha pode ser restrita aos valores inteiros, enquanto outra célula pode ser restrita a ser menor do que um determinado valor.

3. Metodologia

3.1. Caracterização da empresa

A *On Line For Men* é uma empresa varejista que atua no segmento de moda masculina desde 1995, com o intuito de oferecer roupas de qualidade e com preços competitivos perante o mercado. Hoje a organização conta com um escritório administrativo, que possui uma equipe altamente capacitada e todos os setores são departamentalizados para que haja uma melhor organização. A Figura 2 ilustra o organograma da empresa.

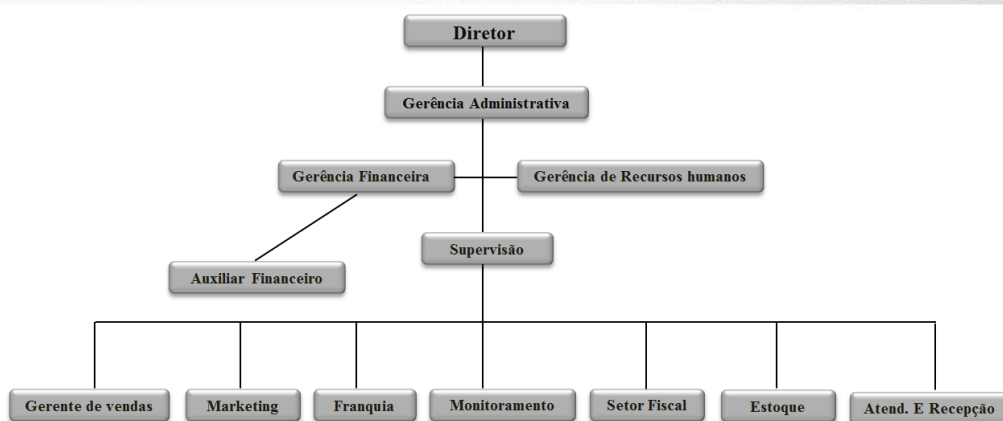


Figura 2 – Organograma da empresa

A empresa estudada possui 19 lojas próprias e 9 franquias. No estado do Rio Grande do Norte, as lojas e franquias estão divididas entre as cidades de Natal, Parnamirim, Macaíba, Santa Cruz, Currais Novos, Parelhas, Caicó, Assú, Mossoró e Pau dos Ferros. Já no estado da Paraíba, as lojas se encontram nas cidades de Cajazeiras, Souza e Patos. A administradora da empresa relata que o maior desafio de qualquer segmento é manter-se no mercado e a principal ferramenta para se manter firme é o planejamento atuante. Para esse ano de 2015, um dos projetos da organização é a expansão de franquias.

3.2. Caracterização do problema

O centro de distribuição da On Line For Men, realiza a distribuição das mercadorias utilizando transporte próprio com motorista da empresa e também através de fretes que cobram por unidade do volume enviado e o valor depende de cidade pra cidade, onde esse último só é utilizado para entregas próximas e quando o pedido é pequeno.

Para fazer as entregas, a empresa fez uma rota que inicia o processo de distribuição partindo de Natal e finaliza retornando a mesma. A rota compreende a sequência A - Natal, B - Santa Cruz, C - Currais Novos, D - Parelhas, E - Caicó, F - Assú, G - Mossoró, H - Pau dos Ferros, I - Cajazeiras, J - Souza, K - Patos, A- Natal.

Para nortear a pesquisa e simplificar a análise do problema, foi montado um grafo que representa cada uma das cidades envolvidas neste problema bem como as possíveis ligações existentes entre elas com o auxílio de mapas e sites especializados, conforme a Figura 3.

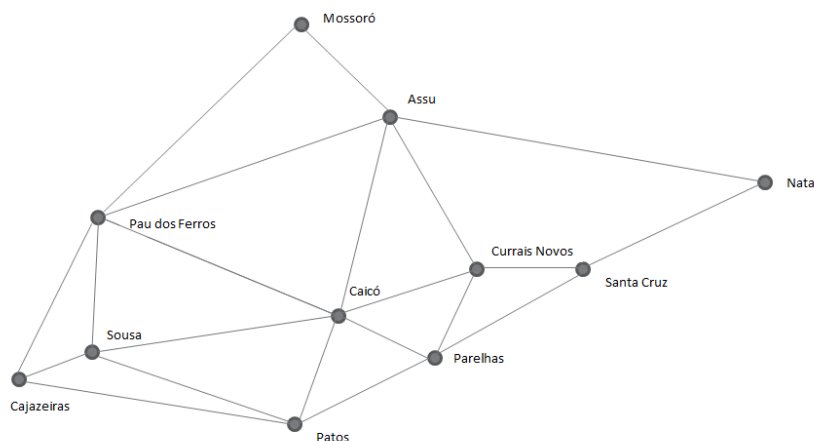


Figura 3 – Grafo do problema de roteirização

Dessa forma, a empresa precisa encontrar uma rota ótima que eleve o padrão de rapidez na entrega e minimize o custo do processo de distribuição das peças para que possa competir mais fortemente no mercado em que atua.

4. Estudo de caso

4.1. Descrição do processo de distribuição

O centro de distribuição situa-se na cidade de Natal no estado do Rio Grande do Norte, a mesma possui foco de atuação no vestuário masculino, porém fabrica e comercializa algumas peças do vestuário feminino. Procurando atingir todos os públicos, a empresa estudada possui uma grande variedade de mercadorias que inclui peças simples, de uso diário e peças sofisticadas. Para realizar o transporte de mercadorias a empresa utiliza um caminhão do tipo baú.

A On Line for Men não possui uma fábrica própria para confecção das mercadorias, em alguns casos, as peças são compradas prontas, em outros a organização compra a matéria prima (tecido) e envia para as fábricas produzirem as peças.

A montagem das coleções é feita duas vezes por ano. No caso de peças adquiridas prontas, a compra se dá por meio de representantes das marcas que vão até a loja com catálogos das tendências para a época. Já nos casos de peças próprias, a empresa adquire os tecidos também por representantes e só então os encaminham para as fábricas contratadas.

Na realização do pedido dos materiais e peças prontas é feita também a negociação do prazo de entrega e da modalidade do transporte da carga que pode ser pago tanto pela empresa quanto pelos fornecedores. Esses fornecedores estão situados nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Espírito Santo, Ceará e Goiás.

Quando as peças chegam ao centro de distribuição, elas são separadas de acordo com a necessidade de cada loja e são enviadas a seu destino através do transporte próprio da empresa.

A distribuição das mercadorias para as lojas e franquias se dava, anteriormente, pelo pagamento de frete à empresas de transportes contratadas para tal função. Desta forma, cada cidade destino recebia sua encomenda e gerava um custo individual de transporte.

Visando a diminuição dos custos de transporte de mercadorias, a empresa optou pela compra de um caminhão com capacidade de abastecer todas as lojas e contratou um funcionário para fazer as entregas.

4.2. Modelagem matemática

O processo de distribuição das mercadorias demandadas nas lojas e franquias da empresa estudada inicia-se no centro de distribuição que fica localizado em Natal. A partir daí, as cargas eram encaminhadas segundo a rota: Natal > Santa Cruz > Currais Novos > Parelhas > Caicó > Assú > Mossoró > Pau dos Ferros > Cajazeiras > Souza > Patos > Caicó > Parelhas > Currais Novos > Santa Cruz > Natal.

A Figura 4 expõe a rota percorrida pelo funcionário da empresa responsável pela distribuição das cargas nas cidades.

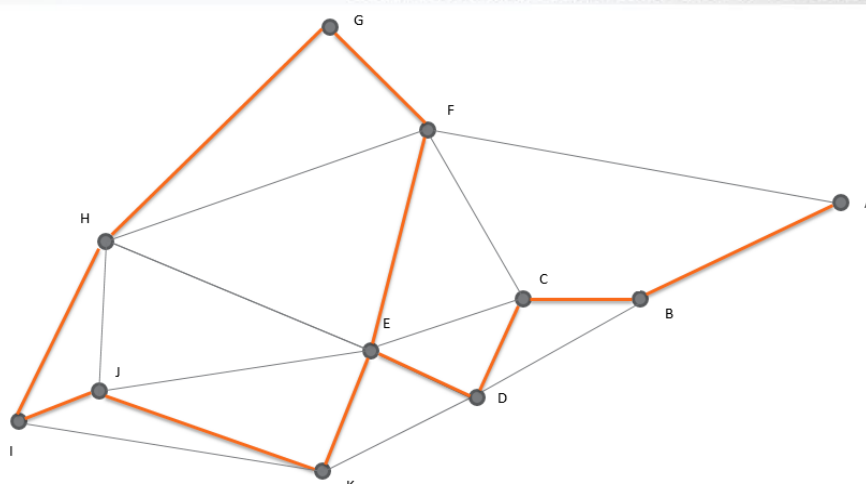


Figura 4 – Rota adotada pelo motorista da empresa

O primeiro passo para a modelagem, foi a busca pelas distâncias entre as cidades visitadas. Abaixo, encontram-se as distâncias entre cada uma das cidades do problema:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	0	122	186	245	273	214	281	392	468	477	334
B	122	0	64	123	151	172	240	298	346	304	211
C	186	64	0	60	88	140	207	235	282	241	148
D	245	123	60	0	62	181	247	218	251	210	84
E	273	151	88	62	0	136	190	156	261	153	93
F	214	172	140	181	136	0	71	193	295	236	234
G	281	240	207	247	190	71	0	152	253	242	288
H	392	298	235	218	156	193	152	0	102	90	219
I	468	346	282	251	261	295	253	102	0	47	181
J	477	304	241	210	153	236	242	90	47	0	129
K	334	211	148	84	93	234	288	219	181	129	0

Quadro 1 – Distância entre as cidades

Para a resolução do problema de distribuição da On Line for Men, segundo as restrições do problema do caixeiro viajante, foi utilizado o Solver, suplemento do *software* Excel, por meio da função “Somar Produto”. Desta forma, será definido a roteirização das entregas de encomendas saindo da origem, o centro de distribuição, percorrendo cada uma das cidades que contem lojas ou franquias e, por fim, voltando à origem.

Portanto, o modelo proposto visa a minimização da quantidade de quilômetros percorridos no processo de distribuição de encomendas para uma empresa do setor de vestuário. A otimização

da rota acarretará não apenas na diminuição dos quilômetros rodados, mas também os custos ligados à mão de obra, hora extra, reparação do veículo, dentre outros. Vale salientar que nesta resolução, cada aresta é tomada como uma variável binária que tomará o valor de zero, caso o caminho em questão não seja o ideal e 1 se o caminho em questão for o ideal. A seguir, será exposta a modelagem matemática para o problema estudado, baseada no PCV:

- **Parâmetros:**

D_{ij} = Distância da cidade i para a cidade j ;

K = subconjunto não vazio apropriado das cidades 1, ..., 11.

- **Variáveis:**

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Se a cidade } i \text{ é visitada imediatamente antes da cidade } j; \\ 0, & \text{Caso Contrário.} \end{cases}$

- **Função Objetivo:**

$$\text{Minimizar } (D) \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{11} D_{ij} * X_{ij} \quad (1)$$

- **Restrições:**

$$\sum_{i=1; i \neq j}^{11} X_{ij} = 1; \quad \forall j \in \{1, \dots, 11\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1; i \neq j}^{11} X_{ij} = 1; \quad \forall i \in \{1, \dots, 11\} \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in K} X_{ij} \leq |K| - 1; \quad \forall K \subset \{1, \dots, 11\}, \quad 2 \leq |K| \leq 10 \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N$$

As variáveis de decisão são representadas, como já foi exposto anteriormente, pelas arestas que ligam uma cidade à outra.

A Equação 1 representa a função objetivo e é composta pela multiplicação da distância entre duas cidades pelo valor que a variável irá assumir (1 ou 0 se o caminho for escolhido como ideal ou não, respectivamente). As equações 2 e 3 indicam que o motorista chegará à cidade j uma única vez e que o motorista deixará a cidade i uma única vez, respectivamente. Por fim, A Equação 4 mostra a restrição que exclui a criação de subciclos no processo. Vale salientar o caráter binário das variáveis exposto abaixo da Equação 4. Após a modelagem do problema, pode-se compilar os dados no programa e executá-lo para que se obter a solução ótima que satisfaça o objetivo.

4.3. Resultados obtidos com a utilização do solver

Com a compilação dos dados no Solver bem como a execução do problema, foi gerada uma tabela na qual estão contidas as melhores rotas para que o motorista percorra no processo de distribuição. O Quadro 2 ilustra a tabela obtida no Solver.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Quadro 2 - Solução ótima encontrada para o problema do caixeiro viajante

A execução do problema no Solver foi possível e sua solução segue a seguinte ordem: $A > F > G > H > I > J > K > E > D > C > B > A$. A quantidade de quilômetros percorrida foi de, aproximadamente, 1116 km. A Figura 5 ilustra a rota obtida a partir da resolução do problema no Solver.

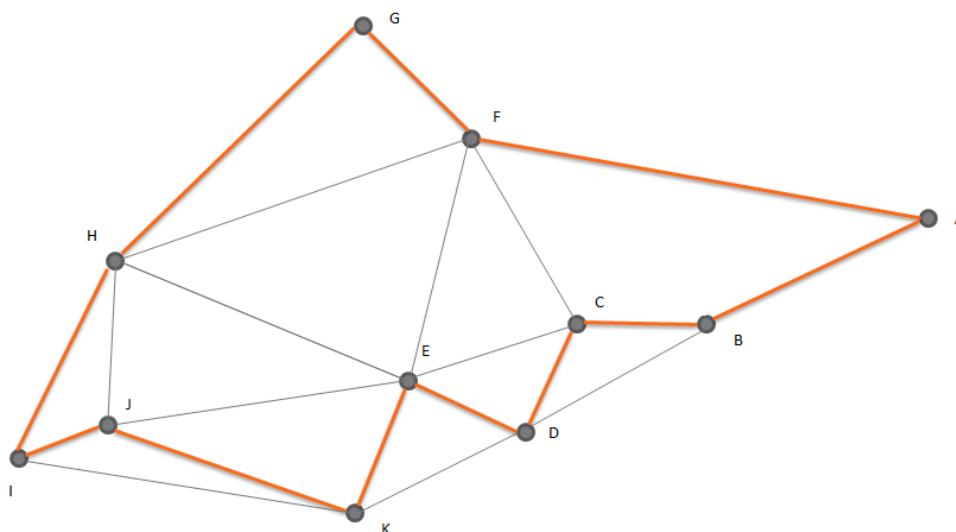


Figura 5 – Rota proposta pelo PCV

De acordo com a rota antiga disponibilizada pela administração da empresa, o motorista seguia a seguinte ordem: $A > B > C > D > E > F > G > H > I > J > K > E > D > C > B > A$. Logo, com

a antiga roteirização, a empresa teria que arcar com os custos associados à 1346 km. Portanto, a nova rota proposta segundo as restrições do PCV resulta em uma economia de 17,09% em se tratando de quilômetros rodados.

5. Conclusão

A corrida por espaço no mercado competitivo associada à grande quantidade de concorrentes obrigam as organizações a tomarem decisões cada vez mais fundamentadas com o intuito de evitar erros e minimizar riscos.

Existem diversas ferramentas e metodologias que apoiam e dão suporte ao tomador de decisão no exercício de função. Uma delas é a Pesquisa Operacional que transforma problemas complexos e não estruturados em linguagem matemática para, então, solucioná-los.

O presente estudo buscou mostrar a aplicabilidade da Pesquisa Operacional utilizando o problema do caixeiro viajante para otimizar o processo de distribuição de encomendas em uma empresa do setor de vestuário e minimizar os custos associados a tal processo fazendo uso do Solver, suplemento do Excel.

Ao término do trabalho pode-se constatar a validade do método utilizado e propor para a empresa estudada uma rota otimizada e que possui custos reduzidos em 17,09% em comparação com a rota atual.

Uma proposta para trabalho futuro é considerar na modelagem matemática feita a questão do tempo, pois foi idealizado que o motorista conseguiria percorrer todas as cidades em um dia, o que é inviável. Então, na nova análise seria considerado que o motorista iria dormir em uma das cidades, e no dia seguinte continuaria a distribuição nas cidades que restariam.

Referências

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 5. ed Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2000.

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

LACHERMATER, Gerson. *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

PEREIRA, D. L. *Heurísticas e algoritmo exato para o problema de roteamento de veículos com coleta e entrega simultâneas*. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

VIEIRA, H. P. *Metaheurística para a solução de problemas de roteamento de veículos com janela de tempo*. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Matemática Aplicada, Departamento de Matemática Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.