

A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMPLEXOS DE TRANSPORTE

Lucas Lopes Filholino Rodrigues¹

Igor Henrique Inácio de Oliveira¹

Rodrigo Rodrigues Castorani¹

Maurílio Fagundes Alexandre¹

RESUMO

O trabalho consiste em analisar os métodos da pesquisa operacional, através da programação linear, modelos matemáticos e o software Lindo, com o foco de melhorar a roteirização realizada por um motorista autônomo na região de São Paulo, utilizando-se como base um problema de transporte e rede de distribuição, com o objetivo de encontrar o menor caminho, para que este motorista possa reduzir seus custos de transportes e melhorar a eficiência do serviço. Com base em cálculos matemáticos, pode-se chegar a uma função objetiva, que demonstra o tempo ou distância percorrida, suas variabilidades e restrições. Após formular a função e suas variáveis, com o auxílio do software Lindo, programa específico para este tipo de trabalho, gerou-se relatórios pelos quais se tornou possível encontrar as rotas otimizadas, de forma simples e objetiva. Em seguida, comparou-se a solução ótima gerada pelo software com o caminho escolhido pelo motorista, que através de seu conhecimento empírico e auxiliado pelo GPS (Global Positioning System) e Google Maps, encontrou-se uma otimização do percurso de 1.77% km e redução de 6.54% no tempo. Desta forma, utilizando a pesquisa operacional, tornou-se possível reduzir custos de transportes, com uma ferramenta de baixo custo em relação aos softwares específicos do mercado, com a mesma precisão em seus resultados, contribuindo para que o motorista execute seu trabalho de forma eficiente, melhorando seu nível de serviço e atendendo sua demanda.

PALAVRAS-CHAVE: Pesquisa; Operacional; Roteirização; Menor Caminho; Motorista Autônomo.

ABSTRACT

The work consists of analyzing the methods of operations research, through linear programming, mathematical models and the Beautiful software, with the focus of improving the routing performed by an independent driver in the region of São Paulo, using as a basis a transport problem and distribution network, with the goal of finding the shortest path, so that the driver can reduce their transport costs and improve service efficiency. Based on mathematical calculations, one can reach an objective function, which shows the time or distance traveled, their variability and restrictions. After formulating the function and its variables, with the help of Lindo software, specific program for this type of work was generated reports by which it became possible to find the optimal route in a simple and objective way. Then compared the optimal solution generated by software with the path chosen by the driver, who through his empirical knowledge and aided by GPS (Global Positioning System) and Google Maps, found a route optimization 1.77% km and 6.54% reduction in time. Thus, using operational research, it became possible to reduce transport costs with a cost-effective tool for the specific software market, with the same precision in its results,

¹ Faculdade de Tecnologia de Guarulhos. **E-mail:** lucasfilholino@hotmail.com

helping the driver to perform their work efficiently improving their service levels and meeting their demand.

KEYWORDS: Research, Operations, Routing, Lower Way, Driver Standalone.

INTRODUÇÃO

Dada à importância da operação de transporte nos custos logísticos e no nível de serviço de uma organização, é de extrema relevância que se estude a aplicação de técnicas simples e eficazes da pesquisa operacional, a fim de buscar um melhor desempenho operacional e gerar uma vantagem estratégica competitiva, além de se quantificar as operações e dimensionar o impacto financeiro (custo) da mesma.

Para Moreira (2010, p.3) “A pesquisa Operacional lida com problemas de como conduzir e coordenar certas operações em uma organização, e tem sido aplicada a diversas áreas, tais como indústria, transportes, telecomunicações, finanças, saúde, serviços públicos, operações militares etc.”. Em particular, pode-se dizer que a pesquisa operacional nos auxilia em resoluções de problemas, de diferentes segmentos, através de técnicas e modelos matemáticos, para otimizar processos, obter menores custos de operações, melhorar o nível de serviços e desempenhar um planejamento estratégico competitivo.

Muitas Técnicas podem ser utilizadas para o desenvolvimento dos problemas de pesquisa operacional, como programação linear, PERT/CPM, Gráficos de Gantt e *softwares* como *Lindo* e *Solver*, sendo estas aplicadas em áreas como: logística, custos de transportes, localização de redes de distribuição, administração da produção, análises de investimentos, planejamento organizacional entre outras.

Para o estudo em questão, será testada a aplicação da Pesquisa Operacional para a resolução de problemas relacionados a transporte, onde será realizado um estudo de caso baseando-se no cenário atual da operação de um motorista autônomo de cargas, onde visa-se aprimorar a sua programação de rotas no tocante a tempos e distâncias.

OBJETIVO

A partir da coleta de informações da roteirização realizada por um motorista autônomo, procura-se estudar a melhor rota e tempo para este motorista, entre a região de São Paulo e Guarulhos, de forma a comprovar que o uso das técnicas de pesquisa operacional podem ser direcionadas para otimizar não só grandes processos e também pequenas rotas de transportes.

OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico deste estudo é demonstrar que através da pesquisa operacional e programação linear, torna-se viável o uso de ferramentas específicas e de baixo custo para auxiliar pequenas empresas e motoristas autônomos a reduzirem o tempo e a distâncias de suas viagens, buscando diminuir custos de transportes, ou seja, combustível, melhorar o nível de serviço e atender o maior número de clientes de forma eficiente.

JUSTIFICATIVA

Existem no mercado muitos aplicativos e softwares de roteirização que auxiliam as empresas e motoristas a optarem por rotas mais curtas e rápidas, pode-se destacar os softwares *RoadShow* e *TransCAD*, que são programas que solucionam diversos problemas e gerando um custo menor para um grau de eficiência elevado em suas entregas. Porém, estes softwares possuem um alto custo de implantação, atingindo assim apenas grandes empresas e operadores logísticos já consagrados no mercado, fazendo com que pequenas empresas e motoristas autônomos fiquem longe dessas ferramentas. Mediante tal problemática, gera-se a necessidade de se encontrar ferramentas específicas e de baixo custo para realizar a roteirização adequada ao plano de negócio do microempreendedor autônomo.

Um estudo da Fundação Dom Cabral, realizado em 2014, revela que “70% das empresas veem a necessidade de terceirizar suas frotas e serviços logísticos para redução de custos e melhorar a eficiência do processo de movimentação de cargas. No Brasil os gastos médios com transportes representam 11% do faturamento de uma empresa.”. Ainda de acordo com o estudo “os custos logísticos no Brasil consomem 11,19% da receita das empresas, que revelam ter um alto nível de dependência de rodovias (85,6%), máquinas e equipamentos (68,5%) e energia elétrica (66,7%)”.

METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa deste estudo se baseará em um estudo de caso, através de informações coletadas do motorista autônomo e das possíveis rotas utilizadas por este no período das 10 horas às 16 horas. Segundo, (Araújo et al.,2008) “o estudo de caso trata-se de uma abordagem metodológica de investigação especialmente adequada quando procuramos compreender, explorar ou descrever acontecimentos e contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores”.

Após a coleta de informações do profissional que será analisado, será realizada uma revisão bibliográfica, que busque elucidar o leitor a respeito do estado da arte do tema estudado, bem como realizar a análise documental de um *software* específico da aplicação e resolução do problema de transporte da Pesquisa Operacional.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

PESQUISA OPERACIONAL

A pesquisa operacional nos auxilia em resoluções de problemas e otimização de processos através de modelos matemáticos, desempenhando um planejamento estratégico competitivo, de forma que sua aplicação pode ocorrer através da programação linear, ferramenta que auxilia as empresas na busca de tempos e recursos visando sempre a redução de custos e melhores resultados, levando em consideração todas as restrições envolvidas no processo que será otimizado.

“Pesquisa operacional 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,prefácio).

Como apresentado anteriormente, a Pesquisa Operacional é capaz de resolver os mais variados tipos de problemas das mais variadas áreas de atuação. Para este estudo, haverá a aplicação em um problema de transporte, no tocante a otimização de rotas. Segundo (GOLDEN; BALL; BODIN, 1981) “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, problema de transporte, problema de designação”. Pode-se destacar que será aplicado o método de caminho mínimo (ou menor caminho), conforme apresentado anteriormente.

Para Carmo et al Enomoto (2005) “a solução otimizada em problemas de roteirização e programação de veículos pode diminuir bastante o custo de transporte, levando uma economia bastante significativa para a empresa distribuidora como para o consumidor final”.

A empresa tem como objetivo a otimização do processo geral de conversão de custos, para maximizar o aproveitamento dos recursos de transporte, identificando as melhores rotas que permitam redução do tempo e distância, ajudando na redução de gastos da transportadora, gerando uma relação lucrativa e proporcionando uma forte parceria com foco no atendimento aos clientes, por isso a necessidade da utilização desse instrumento. Para uma organização cumprir seus objetivos sempre existirá a dependência de pelo menos um fator estratégico interno e externo, assim a otimização do resultado se torna um fator de extrema importância.

PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear é uma ferramenta de aplicação da pesquisa operacional, onde auxilia as empresas na busca de tempos e recursos, visando sempre a redução de custos e

melhores resultados, levando em consideração todas as restrições envolvidas no processo que será otimizado.

“A programação linear é um dos mais importantes instrumentos do campo de pesquisa operacional, é a área de conhecimento que fornece um conjunto de procedimentos voltados para tratar problemas que envolvem a escassez de recursos. São passíveis de solução com o emprego de PL o problema no qual se busca a melhor alocação de recursos, de forma a atingir determinado objetivo de otimização, atendendo as determinadas restrições. Essas limitações podem referir-se ao montante ou a forma de distribuição dos recursos.” (CORRAR; THEÓPHILO e BERGMANN et al.,2007)”.

Desta forma, vê-se que através de tal ferramenta busca-se a otimização do processo visando a redução de custos e gargalos de um determinado processo, de forma a maximizar o aproveitamento dos recursos, identificando as melhores práticas que permitem a redução de gastos.

“Programação linear é um aprimoramento da técnica de resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa relacionada com um comportamento que deve ser otimizado”. CAIXETA-FILHO (2004).

FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo utiliza-se das variáveis de decisão na sua formulação com intuito de formar o objetivo de maximização ou minimização do modelo. Na função objetiva as variáveis de decisão assumem incógnitas que são combinadas com quantidade de cada recurso, produto ou grandeza de processo.

Moreira (2011, p.10) afirma que “Durante a formulação do problema, a combinação de variáveis a que se chega é colocada na forma de uma expressão matemática, que recebe o nome de função objetivo.”.

Conforme Passos (2008, p.11) “Essa função mostra o que se quer otimizar, ou seja, como próprio nome diz, indica o objetivo que se quer atingir (definição do objetivo: meta a atingir).Isto significa dizer que a função objetivo é composta pelas variáveis de decisão.”.

ROTEIRIZAÇÃO

O roteiro para transporte de cargas é feito a partir de uma origem e destino, sendo necessário realizar uma série de análises para verificar a viabilidade e percurso devido às dimensões da carga, os locais de entregas e o tempo destinado para executar o serviço, o que implica diretamente no custo total.

De acordo com (Laporte et al. 2002) “o problema de roteirização de veículos consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos

quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende”.

Através da roteirização, planejam-se as entregas de forma eficiente, com o objetivo de minimizar os custos com a escolha do melhor roteiro, dessa maneira, evitam-se atrasos, gerando um nível de serviço de qualidade, atendendo o cliente no horário previsto.

Alvarenga e Novaes (2000, p.183) conceituam roteirização como: “O processo de distribuição física de produtos incorpora, nas pontas, um roteiro de coleta e entrega em que o veículo visita certo número de clientes localizados numa determinada zona”.

Segundo Novaes a roteirização tem como objetivos principais “[...] propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas mantendo os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto possível” (NOVAES (., p.283). Também abordando o tema, Bertaglia op.cit (2009) afirma que” a roteirização é complexa devido a diversas variáveis envolvidas no transporte, levando em consideração o tempo de entrega, a dimensão e peso da carga, números de clientes, tipo de veículo utilizado e restrições no trajeto a ser percorrido”.

Observa-se que os problemas relacionados à roteirização são de caráter complexo, principalmente devido aos diversos fatores que influem no processo como um todo, sendo assim necessária a aplicação de ferramentas robustas e confiáveis para a resolução dos problemas desta natureza.

SOFTWARES DE ROTEIRIZAÇÃO

Os *softwares* roteirizadores desempenham um importante papel na otimização dos processos, reduzindo os custos, mas analisando e simulando estratégias de distribuição.

De acordo com Melo e Filho (2001) apud Enomoto (2007) sistemas de roteirização e programação de veículos, também conhecidos como roteirizadores, são sistemas computacionais que através de algoritmos, geralmente heurísticos, e uma apropriada base de dados, são capazes de obter soluções para os problemas de roteirização e programação de veículos com resultados satisfatórios, consumindo tempo e esforço de processamento pequeno, quando comparado aos gastos nos tradicionais métodos manuais.

Tais *softwares* são capazes de sugerir a seu usuário as melhores rotas possíveis para determinadas operações de transporte, considerando variáveis como distância, tempos, tráfego e até mesmo diversas outras questões geográficas e climáticas. Todavia, tais *softwares* possuem um alto custo de aquisição, inviabilizando a sua utilização para pequenos empreendedores do ramo de transporte.

Segundo Novaes (2007), hoje se dispõe, no mercado, de um número razoável de softwares de roteirização, que ajudam empresas a planejar e programar os serviços de distribuição física.

A aplicação da programação de rotas, além de alocar os recursos de maneira a se alcançar uma melhor eficiência do processo, permite às organizações que possuam vantagens competitivas frente ao mercado.

SOFTWARE LINDO

A ferramenta de pesquisa operacional escolhida pelos autores para a aplicação desse estudo é o software LINDO (*Linear Interactive Discrete Optimizer*), que foi projetado para solucionar problemas lineares, quadráticos e de programação inteira, avaliar a adequação de resultados, fazer pequenas modificações nos dados ou parâmetros, e obter um ótimo resultado.

É considerado um software com maior facilidade e velocidade na sua utilização e uma das melhores ferramentas de resolução de modelos de otimização. O LINDO maximiza os lucros e minimiza os custos nos problemas constantes de uma empresa tais como, transportes e planejamento de produção, entre outros. Tem como qualidade um resultado confiável e aceitável em situações simples e complexas.

Como o objeto do estudo é o transporte, torna-se necessário entender o principal problema do mesmo. Um problema de transporte refere-se ao problema de distribuição de produtos, de um centro de produção até seu destino final, consistindo em otimizar o transporte, buscando o menor custo do transporte de forma a atender a demanda respeitando os limites de ofertas.

“O problema consiste em transportar o produto dos centros de produção aos mercados consumidores de modo que o custo total de transporte, seja o menor possível (ARENALES et al.,pág21,2007)”.

APLICAÇÃO

DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO ESTUDADA

Como estudo de caso, utilizou-se o caso prático de um motorista autônomo, que transporta materiais não perecíveis, nas regiões próximas da cidade de São Paulo, onde o objetivo é minimizar a distância e o tempo das entregas através de um problema de transporte de menor caminho.

Tal profissional programa suas rotas basicamente através do seu conhecimento empírico, adquiridos após anos realizando esta atividade na região metropolitana de São Paulo, de forma que como ferramenta de auxílio, o mesmo utiliza-se o aplicativo Google Maps, onde ele insere em tal ferramenta os endereços de entregas para que seja gerada uma rota lógica deste sistema. Cabe salientar que, mesmo o aplicativo gerando uma rota que retorne o menor tempo de percurso, ele não é um programa de roteirização, uma vez que ele gera uma rota de acordo com a ordem em que o usuário insere os endereços.

Um *software* roteirizador possui a capacidade de sugerir a alteração dos pontos de entrega (caso não exista nenhuma restrição) para que a operação de transporte alcance o melhor rendimento possível, sendo este também o princípio da aplicação da Pesquisa Operacional para a resolução de problemas de transportes.

Desta forma, foram coletados dados da operação de transporte deste motorista, referentes a uma rota específica, que possui 9 endereços fixos de entregas e uma única origem. Tal rota é realizada de 3 a 4 vezes por semana, representando esta grande parte do faturamento mensal do motorista. Na imagem 1, pode-se observar a rota realizada atualmente pelo motorista, e os seus respectivos tempos e distâncias de percurso.

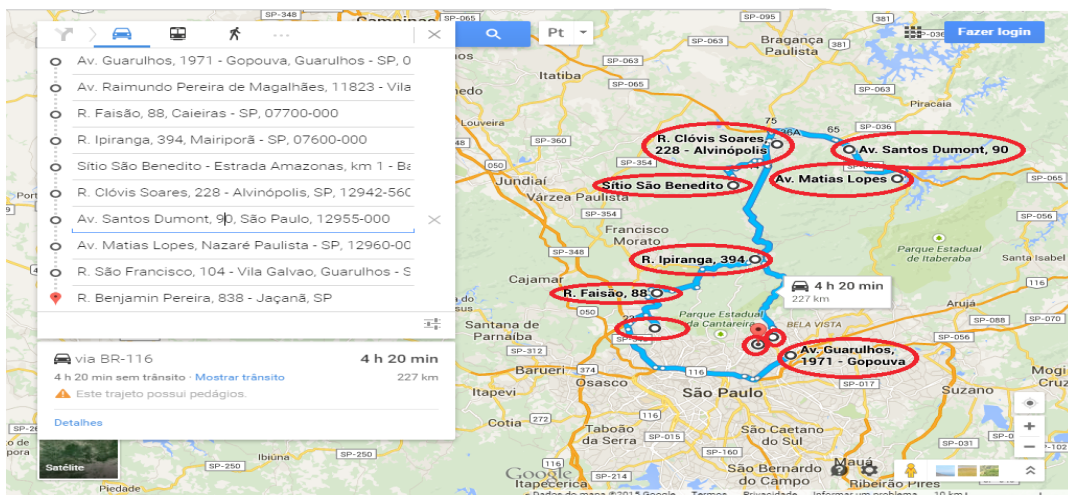


Figura 1. Rota realizada pelo motorista autônomo apresentada no Google Maps.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na imagem que, para a realização de tal operação, o motorista percorre em média 227km, levando um tempo total de percurso de 4 horas e 20 minutos (ou 260 minutos).

ANÁLISE DOS DADOS

Como descrito anteriormente, a rota escolhida para estudo possui 10 pontos distintos, sendo um ponto de origem e 9 pontos fixos de entregas, todos na região metropolitana de São Paulo. Na tabela 1, podem-se observar as informações de tempos e distâncias entre os pontos, de maneira que se deve considerar o ponto (A) como origem, e os demais como os destinos (pontos de entregas).

Tais tempos foram selecionados seguindo o seguinte critério: Foram escolhidas as vias primárias e vias de acesso com os melhores tempos de percurso e com maior possibilidade de distância a ser percorrida, uma vez que a operação ocorre em perímetro urbano, com uma série de possibilidades de caminho a ser realizado, sendo muitas dessas inviáveis.

Tabela 1

Relação dos pontos da rota específica.

ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (KM)	TEMPO(MIN)
(A)Gopoúva,Guarulhos	(B) Pirituba	37.1	33
(A)Gopoúva,Guarulhos	(C) Caieiras	42	39
(A)Gopoúva,Guarulhos	(D)Mairiporã	27.1	26
(A)Gopoúva,Guarulhos	(E) Vitória Régia, Atibaia	58.2	62
(A)Gopoúva,Guarulhos	(F)Alvinópolis, Atibaia	52.9	43
(A)Gopoúva,Guarulhos	(G)Bom Jesus dos Perdões	64.9	51
(A)Gopoúva,Guarulhos	(H)Nazaré Paulista	57.6	60
(A)Gopoúva,Guarulhos	(I)Vila Galvão, Guarulhos	6.4	12
(A)Gopoúva,Guarulhos	(J)Jaçanã, São Paulo	7.3	12
(B) Pirituba	(C) Caieiras	11.5	17
(B) Pirituba	(D)Mairiporã	28.1	38
(B) Pirituba	(E) Vitória Régia, Atibaia	62.1	82
(B) Pirituba	(F)Alvinópolis, Atibaia	56.7	63
(B) Pirituba	(G)Bom Jesus dos Perdões	68.7	71
(B) Pirituba	(H)Nazaré Paulista	61.2	79
(B) Pirituba	(I)Vila Galvão, Guarulhos	35	40
(B) Pirituba	(J)Jaçanã, São Paulo	26.5	42
(C) Caieiras	(D)Mairiporã	21.1	27
(C) Caieiras	(E) Vitória Régia, Atibaia	55	71
(C) Caieiras	(F)Alvinópolis, Atibaia	49.7	52
(C) Caieiras	(G)Bom Jesus dos Perdões	61.7	60
(C) Caieiras	(H)Nazaré Paulista	54.3	68
(C) Caieiras	(I)Vila Galvão, Guarulhos	41.7	48
(C) Caieiras	(J)Jaçanã, São Paulo	44.2	49
(D)Mairiporã	(E) Vitória Régia, Atibaia	34	44
(D)Mairiporã	(F)Alvinópolis, Atibaia	28.7	25
(D)Mairiporã	(G)Bom Jesus dos Perdões	40.7	33
(D)Mairiporã	(H)Nazaré Paulista	33.3	41
(D)Mairiporã	(I)Vila Galvão, Guarulhos	20.9	22
(D)Mairiporã	(J)Jaçanã, São Paulo	23.3	22
(E)Vitória Régia, Atibaia	(F)Alvinópolis, Atibaia	15.4	33
(E)Vitória Régia, Atibaia	(G)Bom Jesus dos Perdões	30.4	41
(E)Vitória Régia, Atibaia	(H)Nazaré Paulista	42.7	46
(E)Vitória Régia, Atibaia	(I)Vila Galvão, Guarulhos	52.8	59
(E)Vitória Régia, Atibaia	(J)Jaçanã, São Paulo	55.2	60
(F)Alvinópolis, Atibaia	(G)Bom Jesus dos Perdões	15.4	16
(F)Alvinópolis, Atibaia	(H)Nazaré Paulista	27.8	21
(F)Alvinópolis, Atibaia	(I)Vila Galvão, Guarulhos	48.3	42
(F)Alvinópolis, Atibaia	(J)Jaçanã, São Paulo	50.8	43
(G)Bom Jesus dos Perdões	(H)Nazaré Paulista	12.8	11

ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (KM)	TEMPO(MIN)
(G)Bom Jesus dos Perdões	(I)Vila Galvão, Guarulhos	60.9	50
(G)Bom Jesus dos Perdões	(J)Jaçanã, São Paulo	63.3	50
(H)Nazaré Paulista	(I)Vila Galvão, Guarulhos	72.9	55
(H)Nazaré Paulista	(J)Jaçanã, São Paulo	72.7	55
(I)Vila Galvão, Guarulhos	(J)Jaçanã, São Paulo	2.8	7
(J)Jaçanã, São Paulo	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a coleta das informações dos destinos, buscaram-se as informações de tempo e distâncias entre o ponto de partida "(A) Gopoúva, Guarulhos" e cada um dos destinos, e também incluíram as informações dos tempos e distâncias entre os pontos de entrega, a fim de ter as informações necessárias para a modelagem de um problema de menor caminho para otimizar o percurso.

Utilizando a técnica de modelagem de menor caminho chegou-se aos modelos matemáticos abaixo.

MODELO PROBLEMÁTICO NO LINDO

Matriz de distância

Para melhor entendimento das distâncias e maior assertividade na realização da modelagem matemática, realizou-se uma matriz contendo todas as informações pertinentes às distâncias entre os pontos. Na tabela 2, agrupou-se os dados coletados de distância para obter uma melhor visualização e com isso a modelagem da função objetiva, de forma simples para que seja aplicado no *software* LINDO.

Tabela 2

Matriz de distâncias.

ORIGEM / DESTINO	DISTÂNCIA (KM)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	X	34,1	42	27,1	58,2	52,9	64,9	57,6	6,4	7,3
B	X	X	11,5	28,1	62,1	56,7	68,7	61,2	35	26,5
C	X	X	X	21,1	55	49,7	61,7	54,3	41,7	44,2
D	X	X	X	X	34	28,7	40,7	33,3	20,9	23,3
E	X	X	X	X	X	15,4	30,4	42,7	52,8	55,2
F	X	X	X	X	X	X	15,4	27,8	48,3	50,8
G	X	X	X	X	X	X	X	12,8	60,9	63,3
H	X	X	X	X	X	X	X	X	72,9	72,7
I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2,8
J	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelos autores.

Função objetiva para o cálculo da menor distância a ser percorrida:

Com as informações demonstradas, foi elaborada a função objetivo para menor caminho que pode ser representada através da equação a baixo:

$$Z = \sum_{i,j} (d_{ij} * v_{ij})$$

Aplicou-se o modelo anterior no software LINDO, que retornou os resultados obtidos. Para a leitura do relatório, deve-se estar atento aos seguintes pontos: quando o campo VALUE for igual a 1 é o caminho no qual o veículo deve passar em seu trajeto. Por exemplo, no caminho “XAB”, a letra inicial é o ponto de partida e a letra final o ponto de destino, ou seja, “XAB” representa que o veículo está saindo do ponto A e dirigindo-se ao posto B, e assim sucessivamente. O campo “OBJECTIVE FUNCTION VALUE” refere-se a distância total que foi percorrida, sendo a solução ótima para o modelo encontrada pelo LINDO.

Relatório de distância e quilometragem:

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 14
 OBJECTIVE VALUE = 223.000000
 FIX ALL VARS. (23) WITH RC > 11.6000
 NEW INTEGER SOLUTION OF 223.000000 AT BRANCH 0 PIVOT 14
 BOUND ON OPTIMUM: 223.0000
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS= 14
 LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
 RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
 1) 223.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
XAB	1.000000	37.099998	2)	0.000000	0.000000
XAC	0.000000	42.000000	3)	0.000000	0.000000
XAD	0.000000	27.100000	4)	0.000000	0.000000
XAE	0.000000	58.200001	5)	0.000000	0.000000
XAF	0.000000	52.900002	6)	0.000000	0.000000
XAG	0.000000	64.900002	7)	0.000000	0.000000
XAH	0.000000	57.599998	8)	0.000000	0.000000
XAI	0.000000	6.400000	9)	0.000000	0.000000
XAJ	0.000000	7.300000	10)	0.000000	0.000000
XBC	1.000000	11.500000	11)	0.000000	0.000000
XBD	0.000000	28.100000	12)	0.000000	0.000000
XBE	0.000000	62.099998	13)	0.000000	0.000000
XBF	0.000000	56.700001	14)	0.000000	0.000000
XBG	0.000000	68.699997	15)	0.000000	0.000000
XBH	0.000000	61.200001	16)	0.000000	0.000000
XBI	0.000000	35.000000	17)	0.000000	0.000000
XBJ	0.000000	26.500000	18)	0.000000	0.000000
XCD	1.000000	21.100000	19)	0.000000	0.000000
XCE	0.000000	25.000000			
XCF	0.000000	49.700001			
XCG	0.000000	61.700001			
XCH	0.000000	54.299999			
XCI	0.000000	41.700001			
XCJ	0.000000	44.200001			
XDE	1.000000	34.000000			
XDF	0.000000	28.700001			
XDG	0.000000	40.700001			
XDH	0.000000	33.299999			
XDI	0.000000	20.900000			

NO. ITERATIONS= 14
 BRANCHES= 0 DETERM.= 1.000E 0

Figura 2. Relatório de Otimização da Distância no Software Lindo.

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nos cálculos desenvolvidos, a solução ótima para a operação apresentada, no tocante ao trajeto com menor distância pode ser demonstrada através de a imagem a seguir, na qual se consegue atingir uma rota com total de 223 km a serem percorridos.

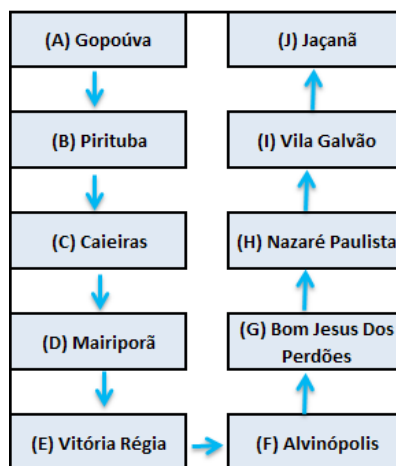


Figura 3. Rota sugerida pela otimização da distância.

Fonte: (Autores, 2015)

Foi elaborado também o modelo matemático para se descobrir qual rota oferece o trajeto a ser percorrido mais rápido.

Matriz tempo

Os dados na tabela 3 matriz tempo, tiveram a mesma função da tabela 2 matriz distância, somente com a diferença que os dados utilizados foram de tempo em minutos.

Tabela 3

Matriz dos tempos.

ORIGEM/ DESTINO	TEMPO EM MINUTOS									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	X	33	39	26	62	43	51	60	12	12
B	X	X	17	38	82	63	71	79	40	42
C	X	X	X	27	71	52	60	68	48	49
D	X	X	X	X	44	25	33	41	22	22
E	X	X	X	X	X	33	41	46	59	60
F	X	X	X	X	X	X	16	21	42	43
G	X	X	X	X	X	X	X	11	50	50
H	X	X	X	X	X	X	X	X	55	55
I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	7
J	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, a mesma equação representada acima foi utilizada para essa função para encontrar o menor tempo percorrido.

Relatório de tempo em minutos:

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 12
 OBJECTIVE VALUE = 243.000000
 FIX ALL VARS. (21) WITH RC > 13.0000
 NEW INTEGER SOLUTION OF 243.000000 AT BRANCH 0 PIVOT 12
 BOUND ON OPTIMUM: 243.0000
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS= 12
 LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
 RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 243.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XAB	1.000000	33.000000
XAC	0.000000	39.000000
XAD	0.000000	26.000000
XAE	0.000000	62.000000
XAF	0.000000	43.000000
XAG	0.000000	51.000000
XAH	0.000000	60.000000
XAI	0.000000	12.000000
XAJ	0.000000	12.000000
XBC	1.000000	17.000000
XBD	0.000000	38.000000
XBE	0.000000	82.000000
XBF	0.000000	63.000000
XBG	0.000000	71.000000
XBH	0.000000	79.000000
XBI	0.000000	40.000000
XBJ	0.000000	42.000000
XCD	1.000000	27.000000
XCE	0.000000	71.000000
XCF	0.000000	52.000000
XCG	0.000000	60.000000
XCH	0.000000	68.000000
XCI	0.000000	48.000000
XCJ	0.000000	49.000000
XDE	1.000000	44.000000
XDF	0.000000	25.000000
XDG	0.000000	33.000000
XDH	0.000000	41.000000
XDI	0.000000	22.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000
16)	0.000000	0.000000
17)	0.000000	0.000000
18)	0.000000	0.000000
19)	0.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 12
 BRANCHES= 0 DETERM. = 1.000E 0

Figura 4. Relatório de Otimização do Tempo de Percurso no Lindo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando o relatório acima, atingiu-se um tempo otimizado com um total de 243 minutos, ou seja, 4 horas e 3 minutos para realizar o trajeto da origem destino.

ANÁLISE DO RESULTADO

O relatório gerado pelo software Lindo mostrou que a solução ótima para a distância seria 223 km e para o tempo 4h03 minutos ou 243 minutos. O Google maps, ferramenta utilizado pelo motorista autônomo para a roteirização, constatou que a distância de suas entregas foram de 227 km e de tempo 4h20 ou 260 minutos.

Neste caso utiliza-se a regra de três para encontrar a eficiência do trajeto de tempo e distância, proposto pelo software Lindo.

CONCLUSÃO

Esse estudo procurou levantar a viabilidade de se aplicar técnicas de pesquisa operacional para a otimização de pequenas rotas de um motorista autônomo. O estudo foi

embasado por revisão de bibliografia, onde foram definidas pesquisa operacional, programação linear e o funcionamento do software LINDO, que são os tópicos chave do estudo.

A pesquisa de campo foi realizada de forma a se obter dados claros e objetivos sobre como um motorista autônomo que opera sozinho estabelece suas rotas. Coletaram-se dados sobre uma viagem que o motorista fez, onde o mesmo estabeleceu sua rota de acordo com seu conhecimento empírico e com um auxílio do Google Maps.

O ponto A (Gopoúva, Guarulhos) é o ponto de partida do motorista, que nesse caso foi o ponto de coleta do material que ele iria transportar (uma vez que ele só faz a operação de distribuição). Os demais pontos são todos lugares onde devem ser realizadas as entregas. De acordo com o Google Maps, foi constatado que o veículo após realizar suas entregas nos endereços da Tabela 1, havia percorrido 227 km em 4h e 20 min em seu trajeto.

Nesse caso, o motorista não colocou os endereços em nenhuma ordem lógica, simplesmente inseriu os dados na ferramenta do Google e seguiu a orientação que ela retornou. Na Tabela 1 encontram-se os pontos onde o motorista faz todos os dias em suas entregas.

Aplicou-se a técnica de pesquisa operacional e programação linear, modelou-se os dados de acordo com os modelos de menor caminho e, posteriormente, testou-se o modelo no LINDO, que encontrou uma solução ótima para a problemática apresentada.

Para aplicar o problema através da programação linear e do LINDO, foram necessários desenvolver dois modelos matemáticos, sendo o primeiro para se descobrir qual o melhor trajeto considerando a menor distância a ser percorrida e o segundo considerando o tempo mais rápido para realizar a operação. Com a solução ótima do primeiro modelo matemático, gerada através do LINDO, obteve-se uma redução na distância percorrida em aproximadamente 1,77%. A comprovação de que a melhor rota a ser seguida surgiu através da solução do segundo modelo matemático, que comprovou que a rota mais rápida é a que foi encontrada no primeiro modelo, gerando esta uma economia de 6,54% do tempo gasto inicialmente.

Os resultados atingidos pelo estudo foram coincidentemente parecidos com a rota optada pelo motorista, que por anos de trabalho, adquiriu através do conhecimento empírico, os menores caminhos para a realização de suas tarefas. O estudo consistiu em demonstrar que a aplicação da pesquisa operacional e programação linear por meio de um software específico de baixo custo são capazes de solucionar os modelos matemáticos propostos de forma viável e deve ser considerado sempre que possível.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, ANTONIO C.; NOVAES, ANTONIO G. Logística aplicada. Suprimento e distribuição física. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2000.

- ARAÚJO, CIDÁLIA et al. Estudo de Caso. Métodos de Investigação em Educação. Instituto de Educação e Psicologia, Universidade do Minho, 2008.
- ARENALES, MARCOS; ARMENTANO, VINÍCIUS; MORABITO, REINALDO; YANASSE, HORACIO; Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia; Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BERTAGLIA, PAULO R.. Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.
- CAIXETA-FILHO, JOSÉ VICENTE. Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2004.
- CORRAR, LUIZ J.; THEÓPHILO, CARLOS RENATO; BERGMANN, DANIEL REED. Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração. São Paulo: Atlas, 2007.
- ENOMOTO, LEANDRO MINORU. Análise da Distribuição Física e Roteirização de um Atacadista do Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. 2005.
- FUNDAÇÃO DOM CABRAL, 2014. Infraestrutura inadequada, corrupção e impostos minam a competitividade logística do Brasil. Disponível em <<http://www.fdc.org.br/blogspacodialogo/Lists/Postagens/Post.aspx?ID=379>>. Acesso em: 08 de Maio. 2015.
- GOLDEN, B.; BALL, M.; BODIN, L. Current and future research directions in network optimization. Computers & Operations Research, v.8, n.2, p. 71-81, 1981.
- LAPORTE, G.; M, GENDREAU; J.Y. P. F. SEMET. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, International Transactions in Operational Research , v.7, n4/5, pp. 285-300, 2002.
- MOREIRA, D.A. Pesquisa Operacional: Curso Introdutório. São Paulo: Thomson Learning, 2010.
- NOVAES, ANTONIO GALVÃO. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. 3º Ed. Rio de Janeiro. Elsevier. 2007.
- PASSOS, E.J. Programação Linear como Instrumento da Pesquisa Operacional. São Paulo: Atlas, 2008.

Recebido em: 05/11/2016

Aceito para publicação em: 06/04/2017