

Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas

Comparação entre o uso de técnicas da pesquisa operacional e software de roteirização.

Alexandre Formigoni
Fatec Guarulhos – São Paulo – Brasil
a_formigoni@yahoo.com.br

Marcelo Eloy Fernandes
Fatec Guarulhos – São Paulo – Brasil
marceloeloyfernandes@gmail.com

Caio Flávio Stettiner
Fatec Sebrae – São Paulo – Brasil
cstettiner@gmail.com

Mariluci Alves Martino
Fatec Guarulhos – São Paulo – Brasil
mariluam@uol.com.br

Robson Paschoa Faustino
FMU – São Paulo – Brasil
robsonfaustino@hotmail.com

Resumo - Este trabalho tem o objetivo de comparar os resultados de um *software* de roteirização comercial com as técnicas tradicionais da pesquisa operacional na definição de rotas, baseando-se em entregas urbanas dentro da Zona Leste da Cidade de São Paulo através da operação de um operador logístico de grande porte. Para a realização desse trabalho serão utilizados conceitos da pesquisa operacional encontrados em revisão de literatura e informações sobre os softwares LINDO 6.1 e *RoadShow*. O estudo de caso visa verificar em qual dos casos são obtidas rotas com objetivos melhor otimizados oferecendo o menor caminho entre os pontos de entrega e o menor tempo entre eles utilizando técnicas da programação linear.

Palavras-Chave: Roteirização, Pesquisa Operacional, Menor Caminho.

Abstract - This study aims to compare the results of a commercial routing software with traditional techniques of operations research in defining routes, based on urban deliveries within the eastern city of São Paulo area through the operation of a logistics operator large. To perform this work will be used concepts of operations research found in literature review and information about the LINDO 6.1 and *RoadShow* software. The case study aims to verify which of the cases routes are obtained with optimized best goals providing the shortest path between delivery

points and the minimum time between them using techniques of linear programming.

Keywords: Routing, Operations Research, Shortest Path.

1- Introdução

Segundo Ballou (2006), logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender as exigências dos clientes. Para Bowersox e Closs (2007), a maioria dos embarques nos armazéns de distribuição para os clientes é realizada por caminhões. Quando veículos próprios são utilizados, a preocupação da gerência é programar os embarques para ter transportes eficientes. Atividades como planejamento de cargas e definição de rotas são extremamente úteis para tornar o transporte uma arma competitiva.

Sendo assim, as empresas do setor logístico têm dado grande destaque a dois pontos: satisfação do cliente e redução de custos. Na área de operações logísticas o transporte é uma etapa importante neste processo onde há a entrega do material diretamente ao armazém de seu cliente, assim esta etapa acaba se tornando primordial aos dois quesitos relacionados acima, pois impacta diretamente na saúde financeira das empresas. Porém, na região metropolitana da cidade de São Paulo este tipo de serviço possui algumas restrições regulamentadas pelos órgãos de trânsito da cidade, segundo a Lei Nº 13.747, de Outubro de 2009 (alterada pela Lei Estadual 14.951 de Fevereiro de 2013) que compreende a obrigação dos prestadores de tais serviços a fixar data e turno específicos para a realização da entrega, também segundo ao Decreto Nº 37.085 – de 03 de Outubro de 1997 que impede a circulação de veículos conforme o Art. 1º e Art. 2º, que visa melhorar o fluxo de veículos em vias públicas e em horários de pico no trânsito.

Por conta disso as empresas que prestam estes serviços muitas vezes utilizam *softwares* para roteirizar e programar as saídas de seus veículos visando a redução de custos operacionais e oferecer um serviço que gere ou chegue ao mais próxima satisfação total de seu cliente. Estes *softwares* são adquiridos para otimizar rotas, porém estes *softwares* acabam gerando um custo de manutenção as empresas que o adquirem como é o caso do *RoadShow*.

Conforme Caixeta (1996), a predominância do modo rodoviário pode ser explicada pelas dificuldades que outras categorias de transporte enfrentam para atender eficientemente aos aumentos de demanda em áreas mais afastadas do país, as quais não são servidas por ferrovias ou hidrovias.

De acordo com todas essas variáveis e “limitações” encontradas, este estudo tem o objetivo de comparar os resultados de um *software* de roteirização comercial com as técnicas tradicionais da pesquisa operacional na definição de rotas de entrega na Zona Leste da Cidade de São Paulo. Será possível demonstrar uma aplicação da teoria dos grafos com base na programação linear e na pesquisa operacional para confrontar a eficiência de serviço que o *software Roadshow* proporciona ao gerar rotas de entrega indicando ao motorista a melhor forma de executar as entregas em todos clientes durante o dia, com os resultados gerados pelo *software* LINDO 6.1. Para gerar o menor caminho possível entre as rotas de entrega serão comparados resultados do *Roadshow* e do LINDO 6.1 e serão

analisados quais destes executa com melhor com eficiência a geração de rotas com objetivos de encontrar o tempo e distância mínima entre o depósito e os armazéns dos clientes.

Esse estudo teve o objetivo de comparar a eficácia na roteirização via *Roadshow* e LINDO 6.1, pois identificamos a possibilidade de mostrar alternativas para execução de atividades pertinentes a roteirização de veículos destinados para a Zona Leste da Cidade de São Paulo, assim o possibilitando ao mercado novas formas de investimento de acordo com a sua demanda.

2- Fundamentação teórica

Segundo Medeiros (1998, p.11) “Pesquisa operacional é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema”. O método de pesquisa operacional apresenta ao gestor modelos que o auxilia na tomada de decisão de problemas cotidianos que ocorrem em diversas organizações.

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).

A programação linear é utilizada como forma de expressar sistemas de equações lineares através de matrizes, em busca de otimizar um determinado ponto da operação.

Variáveis de decisão são grandezas que poderão assumir diversos valores, sendo que há uma certa combinação de valores que irá maximizar ou minimizar a função objetiva. As variáveis de decisão aparecem tanto na função objetivo como nas restrições. (Moreira, 2011)

Para Andrade (2011), as variáveis de decisão são aquelas que foram definidas pelo analista como fornecedoras das informações que servirão de base para o gerente chegar à decisão.

Variáveis de decisão são o princípio da montagem do modelo, pois nelas são determinadas as quantidades de determinado recurso a ser utilizado, seja ele com objetivo de obter o máximo ou mínimo deste recurso, estes são fatores determinantes para a tomada de decisão.

Moreira (2011) destaca 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.

Como visto anteriormente as variáveis de decisão completam a função objetivo trazendo os recursos ao objetivo do gestor que busca, por exemplo, o lucro máximo ou custo mínimo dentro da organização.

Segundo Passos (2008) as restrições são as condições que limitam o problema, sejam elas material, mão-de-obra etc. As variáveis de decisão ficam sujeitas as limitações que são impostas pelas possibilidades econômicas e tecnológicas da empresa. As restrições são as limitações dentro do processo que acabam prejudicando o desempenho de uma determinada operação, por exemplo.

Moreira (2011) descreve ainda que a pesquisa operacional procura obter a melhor solução para um problema. Esse ótimo, é necessário frisar, é determinado do ponto de vista matemático, e muitas vezes não é possível levar em conta algumas variáveis, principalmente às de cunho comportamental.

Uma solução viável que tem o valor mais favorável da função-objetivo(X), isto é, maximiza ou minimiza a função-objetivo, podendo ser única ou não. (LACHTERMACHER 2011)

A solução ótima devesse ao fato de ser o resultado de tudo aquilo que foi proposto ao gestor para resolução de determinado problema, ou seja, significa que o objetivo foi alcançado ou não, se atingiu o objetivo de maximizar ou minimizar alguma situação para assim tomar uma decisão referente á aquele assunto.

O Lindo significa *Linear, Iterative, Discrete Optimizer* é um *software* interativo para a solução de problemas da programação linear, quadrática ou inteira. O algoritmo utilizado pelo Lindo é superior ao utilizado por planilhas eletrônicas, tornando sua solução mais eficiente, rápida e segura. Utilizado para soluções de problemas reais de mais de 10.000 variáveis, dispõe de características que mostram os passos e quadros intermediários do método Simplex. (LACHTERMACHER, 2007)

O *Roadshow* é um *software* de roteirização que permite análises rápidas e precisas quanto ao aproveitamento ideal dos recursos envolvidos no processo de distribuição. Apresenta um ambiente amigável e intuitivo, valendo-se de uma série de recursos gráficos que incluem os mapas detalhados da região de atuação e das facilidades operacionais do ambiente Windows. Proporciona ao usuário a visualização de sua estratégia de vendas e integra-se facilmente ao sistema corporativo. Dispõe de localização automática de endereços, lista de cidades disponíveis sob consulta, e apresenta na tela a posição dos veículos em rota, conexão com sistema GPS comparada à planejado. (*ROUTING*)

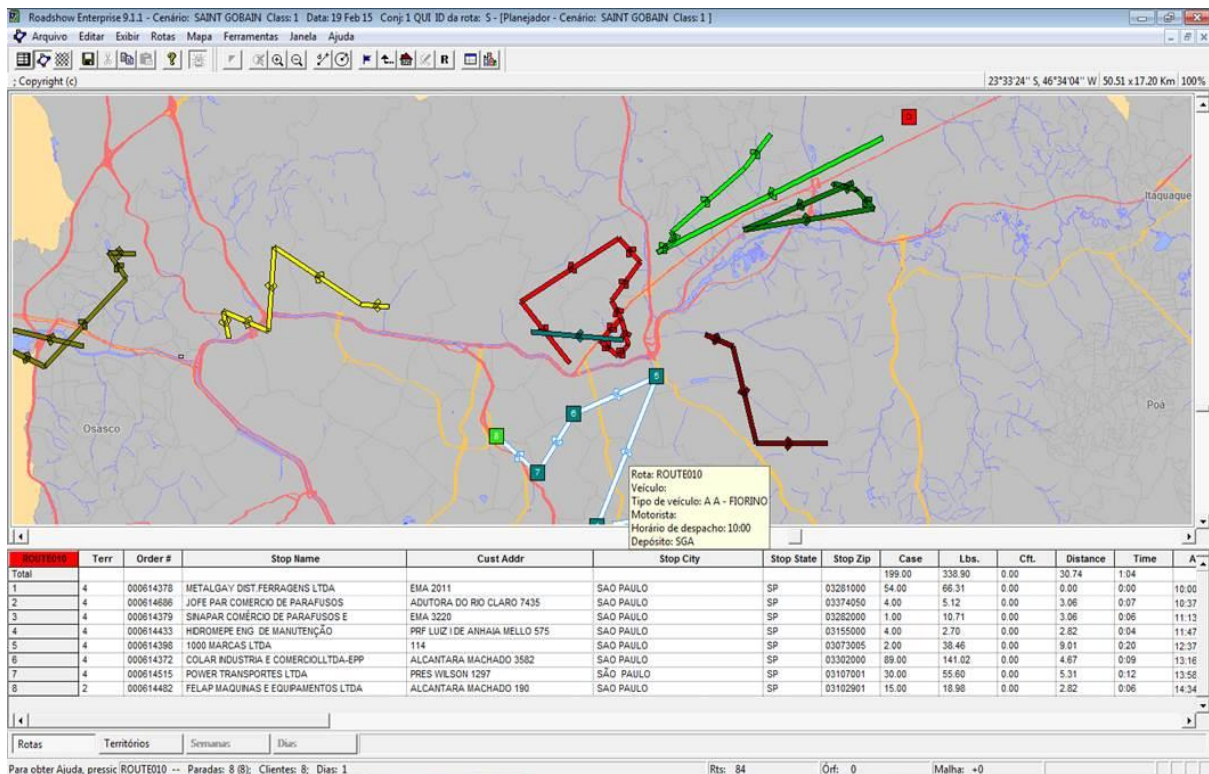
3- Aplicação

Este estudo foi realizado em uma empresa privada que realiza entregas na região da Zona Leste da Cidade de São Paulo e utiliza como seu roteirizador o *software Roadshow*, onde há um alto custo de manutenção. No estudo de caso faremos uma comparação entre este *software* utilizado pela empresa (*roadshow*) e o *software* livre LINDO 6.1 para demonstrar o custo benefício das rotas apresentadas por ambos os *softwares*.

Foram escolhidas rotas geradas pelo *Roadshow* dentro da operação normal de trabalho de um grande operador logístico para serem estudadas através de programação linear e posteriormente para que os resultados fossem comparados. Foram levantados as distâncias e os tempos entre os clientes que seriam visitados, e foi aplicado para modelagem do problema. Foram inseridas as informações no LINDO 6.1 através de cálculos matemáticos da programação linear e foi verificado se seguiria o mesmo trajeto percorrido proposto pelo *Roadshow* ou uma rota alternativa a inicial.

Neste estudo foram considerados os dados apresentados pelo *Roadshow*. Os dados da Figura 1 mostra a roteirização realizada pelo *Roadshow*, onde o motorista deve seguir na respectiva ordem apresentada pelo campo em destaque vermelho "*ROUTING*":

Figura 1 – Rota disponibilizada pelo *Roadshow*



Fonte: Autores(2015)

4- Modelo inserido no Lindo 6.1

Tendo em vista a rota apresentada pelo *Roadshow* foi utilizado duas tabela matriz de origem/destino para a base de cálculos do problema, uma referente ao tempo que o motorista leva de um cliente ao outro, e outra referente a distância percorrida pelo motorista de um cliente ao outro, onde a localizade A apresentada na tabela matriz origem/destino representa a base de saída do motorista e o restante os clientes que devem ser atendidos durante aquele dia, o tempo e a distancia dos clientes citados pelo *Roadshow*, foram colocados através de pesquisa no Google Maps para a criação da matriz adjacência de distância $D = [d_{ij}]$ e a matriz de adjacência de tempo $T = [t_{ij}]$. As informações nas Tabelas 1 e 2 são para referência de tempo e distância entre pontos de entregas:

Tabela 1 – Matriz adjacência de tempo

ORIGEM / DESTINO	TEMPO (MIN.)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	X	35	33	31	26	19	19	30	27
B	35	X	3	5	12	27	21	20	29
C	33	3	X	4	12	21	19	19	28
D	31	5	4	X	8	21	17	16	26
E	26	12	12	8	X	16	10	13	19
F	19	27	21	21	16	X	8	18	18
G	19	21	19	17	10	8	X	10	10
H	30	20	19	16	13	18	10	X	9
I	27	29	28	26	19	18	10	9	X

Fonte: Autores (2015)

Tabela 2 – Matriz adjacência de distância

ORIGEM / DESTINO	DISTÂNCIA (KM)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	X	30,4	28	28,3	25,1	18	21,1	30	27,6
B	30,4	X	1,2	2,3	6,2	13,9	11,7	10,9	15,5
C	28	1,2	X	1,7	5,3	8,5	9,2	10	14,7
D	28,3	2,3	1,7	X	4	10,2	9,5	8,7	13,4
E	25,1	6,2	5,3	4	X	8,1	5,9	6,4	11,7
F	18	13,9	8,5	10,2	8,1	X	4,7	10	10,5
G	21,1	11,7	9,2	9,5	5,9	4,7	X	5,3	5,8
H	30	10,9	10	8,7	6,4	10	5,3	X	4,8
I	27,6	15,5	14,7	13,4	11,7	10,5	5,8	4,8	X

Fonte: Autores (2015)

Para resolução do problema foi inserido formulas matemáticas com conceitos em pesquisa operacional e programação linear dividido entre: função objetivo, variáveis de decisão e restrições.

A função objetivovisa minimizar tempo e distância percorrida entre os pontos de entrega do percurso.

Fórmula da função objetivo Z:

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

As variáveis de decisão colocadas no problema para definir quais pontos de entrega V_{ij} sendo que poderá ser 0 ou 1. Quando o valor for 0, diz-se que o caminho não foi o escolhido e quando for 1, diz-se que foi o caminho escolhido para a solução ótima.

As restrições foram definidas com o modelo que não se pode sair de uma origem e seguir para dois destinos e de duas origens para um destino.

4.1- Solução do problema

Com a utilização do *software* LINDO 6.1 para a solução do problema de caminho e tempos mínimos do tipo NP – Hard de análise combinatória e o número possível de solução igual a $(N-1)!$ Com isso apenas um caminho poderá escolhido como o menor.

A seguir as Figuras 2 e 3 traz a apresentação dos resultados referentes ao tempo e a distância mínimos de possíveis rotas através do LINDO 6.1:

Figura 2 – Relatório de menor tempo em minutos

ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS= 11

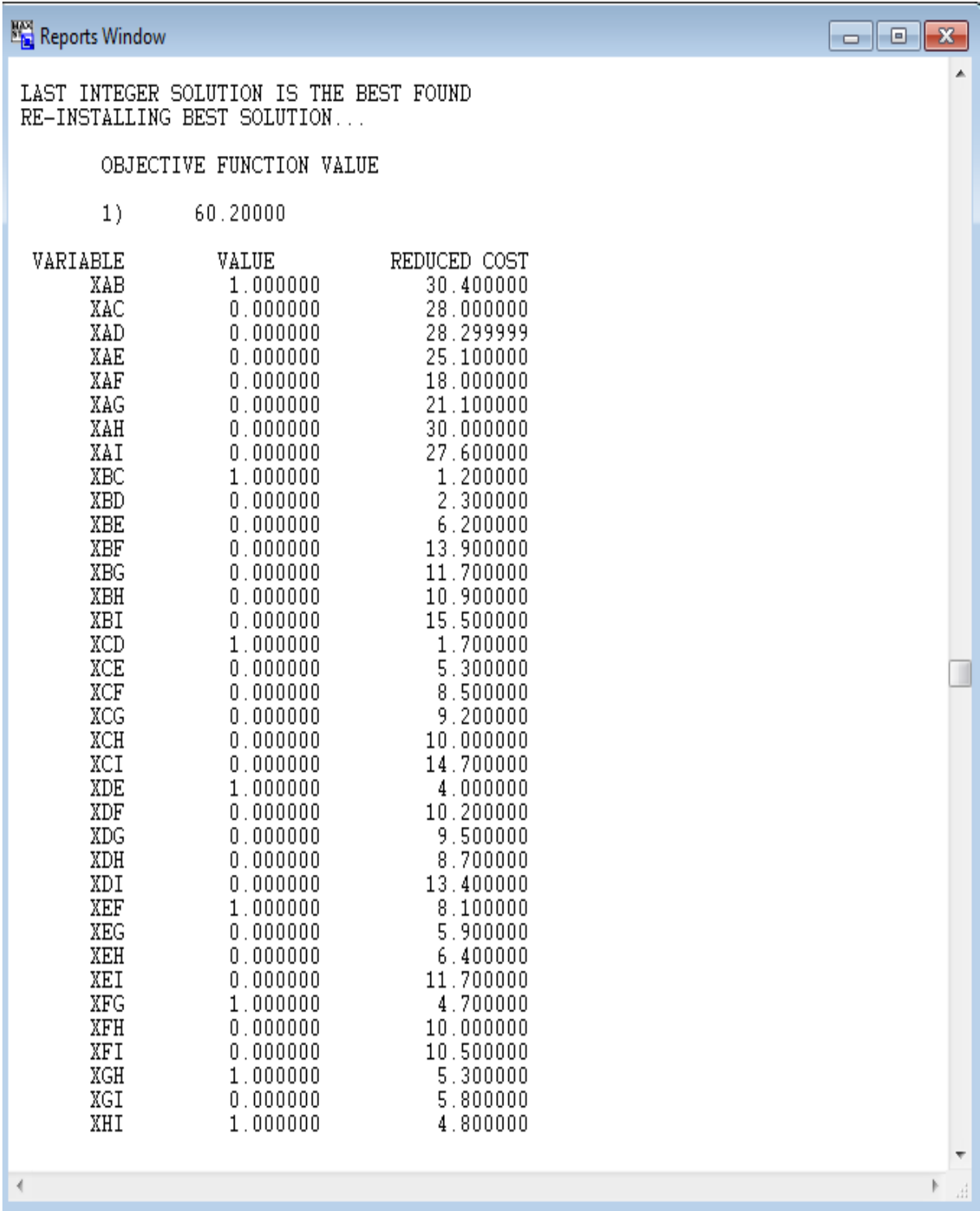
LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 93.00000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XAB	1.000000	35.000000
XAC	0.000000	33.000000
XAD	0.000000	31.000000
XAE	0.000000	26.000000
XAF	0.000000	19.000000
XAG	0.000000	19.000000
XAH	0.000000	30.000000
XAI	0.000000	27.000000
XBC	1.000000	3.000000
XBD	0.000000	5.000000
XBE	0.000000	12.000000
XBF	0.000000	27.000000
XBG	0.000000	21.000000
XBH	0.000000	19.000000
XBI	0.000000	28.000000
XCD	1.000000	4.000000
XCE	0.000000	12.000000
XCF	0.000000	21.000000
XCG	0.000000	19.000000
XCH	0.000000	19.000000
XCI	0.000000	28.000000
XDE	1.000000	8.000000
XDF	0.000000	21.000000
XDG	0.000000	17.000000
XDH	0.000000	16.000000
XDI	0.000000	26.000000
XEF	1.000000	16.000000
XEG	0.000000	10.000000
XEH	0.000000	13.000000
XEI	0.000000	19.000000
XFG	1.000000	8.000000
XFH	0.000000	18.000000
XFI	0.000000	18.000000
XGH	1.000000	10.000000
XGI	0.000000	10.000000
XHI	1.000000	9.000000

Fonte: Autores (2015)

Figura 3 – Relatório de menor distância em quilômetros


MAX Reports Window

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 60.20000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XAB	1.000000	30.400000
XAC	0.000000	28.000000
XAD	0.000000	28.299999
XAE	0.000000	25.100000
XAF	0.000000	18.000000
XAG	0.000000	21.100000
XAH	0.000000	30.000000
XAI	0.000000	27.600000
XBC	1.000000	1.200000
XBD	0.000000	2.300000
XBE	0.000000	6.200000
XBF	0.000000	13.900000
XBG	0.000000	11.700000
XBH	0.000000	10.900000
XBI	0.000000	15.500000
XCD	1.000000	1.700000
XCE	0.000000	5.300000
XCF	0.000000	8.500000
XCG	0.000000	9.200000
XCH	0.000000	10.000000
XCI	0.000000	14.700000
XDE	1.000000	4.000000
XDF	0.000000	10.200000
XDG	0.000000	9.500000
XDH	0.000000	8.700000
XDI	0.000000	13.400000
XEF	1.000000	8.100000
XEG	0.000000	5.900000
XEH	0.000000	6.400000
XEI	0.000000	11.700000
XFG	1.000000	4.700000
XFH	0.000000	10.000000
XFI	0.000000	10.500000
XGH	1.000000	5.300000
XGI	0.000000	5.800000
XHI	1.000000	4.800000

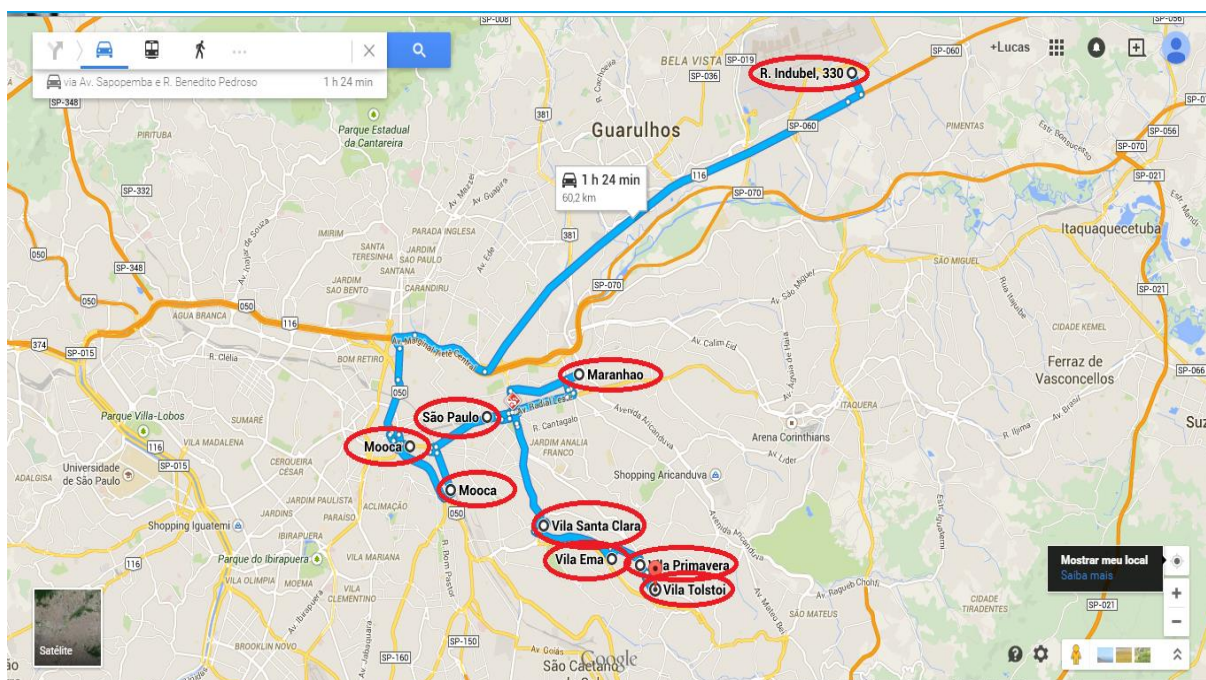
Fonte: Autores (2015)

4.2- Modelo

O conceito modelo de GRAFOS utilizado na Figura 4 a seguir demonstra de uma forma mais clara a rota sugerida pelo LINDO 6.1 conforme seus respectivos

relatórios, de forma que as regiões circuladas em vermelho estejam ligadas demonstrando o menor caminho sugerido em azul:

Figura 4 – Mapa do trajeto



Fonte: Google Maps (2015)

4.3- Análise do resultado

Analisando os resultados obtidos através da pesquisa foi verificado que o LINDO 6.1 disponibiliza a idêntica rota que o *Roadshow* dispõe inicialmente. Confirmando assim que os cálculos efetuados pelo *Roadshow* são condizentes com os apresentados pelas teorias da pesquisa operacional e da programação linear para a geração das menores rotas possíveis dentro de um determinado espaço de tempo e distância.

Pode-se então destacar que o *Roadshow* é sim eficiente, reduz custos e propõe uma entrega de forma mais ágil, porém foi disponibilizada neste estudo uma alternativa às empresas que o utilizam. O LINDO 6.1 acaba se tornando uma alternativa barata, pois trata-se de um *software* livre, no caso de falta deste *software* roteirizador qualquer analista com noções em pesquisa operacional e programação linear poderá operá-lo, pois também trata-se de um *software* de simples e objetiva interface.

Foi atingido o resultado de igualdade de eficiência dos *softwares* pago e livre, *Roadshow* e LINDO 6.1 respectivamente.

5- Conclusão

A pesquisa de campo utilizou rotas reais de um operador logístico de grande porte que utiliza o *Roadshow* para a programação de seus veículos, porém foi identificado que havia a possibilidade de redução de custos com LINDO 6.1 sendo implantado na empresa ou melhor utilizado pelo mercado como um todo, pois oferece serviços semelhantes ao do *software* especialista. Pode-se afirmar que o

objetivo foi atingido visto que os resultados foram satisfatórios a medida em que o estudo foi sendo incorporado, pois demonstra claramente a eficácia do *Roadshow* e LINDO 6.1 e suas aplicações na teoria, no momento em que foi aplicado conhecimentos da pesquisa operacional e programação linear. A revisão bibliográfica embasou esse estudo de maneira que foi possível explorar de forma profunda o assunto e preencher todas as questões propostas desde o início e cumprir as expectativas de estudo que foi desenvolver uma estratégia de possível melhoria na programação de veículos em operadores logísticos de grande porte.

Com o estudo apresentado neste artigo foi possível concluir que o roteirizador *Roadshow* cumpre o que promete aos seus clientes, porém temos disponível no mercado outras ferramentas que podem auxiliar em caso de falta da ferramenta especialista que exerce a função de roteirizar com total capacidade de suprir as exigências do mercado. Ao final do estudo foi possível identificar um grande leque de opções no mercado de roteirizadores, neste caso foi utilizado somente dois exemplos, porém deve-se frisar que há outras formas de se programar veículos, priorizando sempre a qualidade do serviço e a redução de custos, por conta disso o estudo fica restrito a peculiaridade de cada operação que tem as mais variadas características e limitações.

REFERÊNCIAS

- BRASIL (Estado). Constituição (2009). Lei nº 13.747, de 01 de fevereiro de 2009. **Fixa Data e Turno Entrega**. SÃO PAULO, SÃO PAULO. FUNDAÇÃO PROCON SP. (Org.). **Legislação Geral**. Disponível em: <<http://www.procon.sp.gov.br/texto.asp?id=2924>>. Acesso em: 05 abr. 2015.
- ROUTING (Org.). **Roadshow**. Disponível em: <<http://routing.com.br/roadshow>>. Acesso em: 05 abr. 2015.
- ANDRADE, Eduardo Leopoldino de (Ed.). **Introdução á Pesquisa Operacional**. São Paulo: Ltc, 2011.
- LACHTERMACHER, Gerson (Ed.). **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão**. São Paulo: Person Prentice Hall, 2011.
- MOREIRA, Daniel Augusto (Ed.). **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- PASSOS, Eduardo José Pedreira Franco dos. **Programação Linear - Como Instrumento da Pesquisa Operacional**. São Paulo: Atlas, 2008.
- BALLOU, Ronald H.. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. **Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CAIXETA FILHO, José Vicente; GAMEIRO, Augusto Hauber. **Transporte e logística no sistema agroindustrial**. Piracicaba: Atlas, 2001.
- LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões: modelagem em Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- SILVA, Êrmes Medeiros da. **Pesquisa Operacional: Programação Linear**. São Paulo: Atlas, 1998