



INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: APLICATIVO EM SCILAB PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Autor (es): André Monteiro Klen e Vanessa Sabino

Palavras-chave: Roteamento de veículos, logística, heurística, problema do caixeiro viajante.

Campus: Ouro Preto

Área do Conhecimento (CNPq): Logística e programação de computadores

RESUMO

O objetivo desse projeto é desenvolver um aplicativo em *Scilab* para resolver o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) quando este se resume ao Problema do Caixeiro Viajante (PCV), para isso é utilizada a heurística de Clark e Wright. Após o seu desenvolvimento o aplicativo foi aplicado para se determinar o roteamento de veículos em dois estudos de casos: o primeiro entre a Reitoria do Instituto Federal de Minas Gerais e seus Câmpus, e o segundo estuda a rota dos caminhões da coleta de lixo da histórica cidade de Ouro Preto-MG. Ao final dos estudos de casos o aplicativo se mostrou eficaz na determinação das rotas e conseqüentemente uma ferramenta para solução do problema de roteamento de veículos.



INTRODUÇÃO:

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) está presente na maioria das empresas de transporte, logística e distribuição. Ele possui um número extraordinário de aplicações práticas, pois implica tipicamente em uma série de situações reais que afetam principalmente a indústria, o comércio, o setor de serviços, a segurança pública e o lazer.

O objetivo do PRV é reduzir os custos do transporte, melhorar os serviços aos clientes, descobrir os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede de rodovias e minimizar os tempos e distância, uma vez que essas decisões são freqüentes quando se pensa na roteirização de veículos.

Para se ter uma ideia da importância do PRV, o modal rodoviário Brasileiro conforme Araújo (2011) representa em torno de 61,1% do transporte de cargas e pessoas, com um custo representativo de 6% do PIB. Esse custo equivale a mais da metade da receita líquida das empresas chegando a mais de 60% na Agroindústria e 62% nas indústrias de alimentos.

Na sua forma mais simples o PRV é conhecido na literatura como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que consiste em encontrar uma rota que parta de uma cidade d eorigem, passe por todas as demais cidades uma única vez e retorne à cidade original ao final do percurso, de forma a percorrer a menor distância possível ou qualquer outro fator de custo (HEINEN, 2005).

Goldberg e Luna (2005) citam que a importância atual do PCV é devida a sua enorme aplicação prática entre elas:

- Manipulação de itens em estoque;
- Programação de transporte entre células de manufatura;
- Planejamento da produção;
- Determinação de acesso a arquivos computacionais e;
- Está presente na maioria dos problemas de roteamento de veículos

O (PCV) é um dos mais tradicionais e conhecidos problemas de programação matemática, de importância indiscutível tanto do aspecto prático como teórico. Em termos computacionais ele é classificado como *NP-Completo*. Isto significa que o número de combinações possíveis se torna muito grande à medida que o número de nós(cidades) aumenta, fazendo com que o cálculo para determinar a melhor rota possa demorar até vários séculos (HEINEN, 2005).

Devido à sua complexidade computacional, atualmente não existe solução exata para o PCV, a não ser para um número restrito de nós, mas devido à sua grande importância estratégica, várias soluções aproximadas vêm sendo estudadas e, dentre essas se destaca heurística de Clark e Wright.



Segundo Goldberg e Luna (2005) a heurística é uma técnica que busca alcançar uma solução adequada, utilizando um esforço computacional considerado razoável. A solução encontrada deve ser viável e próxima do ótimo, quando não for possível a otimização do problema.

A idéia central do algoritmo Clark e Wright é construir uma rota passo a passo, partindo de um ponto inicial envolvendo três cidades (obtidas por um método qualquer) e adicionar a cada passo, a cidade k (ainda não visitada) entre a ligação (i, j) de cidades já visitadas, cujo custo de inserção seja o mais barato.

A principal vantagem do algoritmo é que devido a sua baixa complexidade computacional ele é indicado para a resolução de problemas com elevado número de cidades ou nós, se apresentando como fator de simplicidade e flexibilidade no roteamento de veículos.



METODOLOGIA:

A primeira etapa do trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica sobre o problema de Roteamento de Veículos no Brasil com estudos sobre os custos do transporte rodoviário no Brasil, precedido pelo estudo do algoritmo da heurística de Clark e Wright.

Em uma segunda etapa, iniciou-se os estudos sobre o *software Scilabe* a implementação do algoritmo da heurística de Clark e Wright. Ao fim dessa etapa o aplicativo foi testado em relação a dois problemas de roteamento de veículos descritos na literatura.

O primeiro é apresentado por Goldbarg e Luna (2005 p. 367 e 368) e o segundo por Ballou (2010 p. 198 e 199), sendo os resultados alcançados pelo aplicativo idênticos aos sugeridos pelos autores supracitados, o que comprova a funcionalidade do aplicativo.

Por último, o aplicativo é utilizado em dois estudos de casos, um que discute o roteamento entre a Reitoria do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) e seus Câmpus, e o outro que estuda o Roteamento dos caminhões da coleta de lixo da cidade de Ouro Preto-MG.



RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Estudo de Caso 1: Roteamento de veículos entre a Reitoria do IFMG e os seus Câmpus¹.

Este estudo de caso considera a necessidade de um veículo sair da Reitoria do IFMG, situada em Belo Horizonte, passar por todos os Câmpus e retornar à Reitoria. O que se pretende determinar é a melhor rota para que isso ocorra de tal forma que, o veículo percorra a menor distância possível.

Para isso, a distância entre a Reitoria e os Câmpus é determinada através do *Google Maps*, a Tabela 1 apresenta esses valores em quilômetros, enquanto que, a Figura 1 aponta a disposição da Reitoria e a rota de visitação dos Câmpus definida pelo algoritmo.

Tabela 1: Matriz de distâncias entre a Reitoria e os Câmpus

Distâncias em KM	Reitoria	Bambuí	Betim	Congonhas	Formiga	Gov. Valadares	Ouro Branco	Ouro Preto	Ribeirão das Neves	Sabará	Santa Luzia	São João Evangelista	Conselheiro Lafaiete	Itabirito	Piumhi	Ponte Nova	Arcos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 Reitoria	0,0	252,0	30,5	75,5	196,0	330,0	95,9	92,6	36,5	37,5	30,1	305,0	95,7	54,0	257,0	178,0	212,0
2 Bambuí	252,0	0,0	222,0	325,0	90,0	565,0	341,0	337,0	263,0	272,0	267,0	540,0	340,0	298,0	101,0	422,0	63,0
3 Betim	30,5	222,0	0,0	105,0	167,0	345,0	120,0	116,0	44,7	53,1	47,0	320,0	120,0	82,7	228,0	202,0	183,0
4 Congonhas	75,5	325,0	105,0	0,0	263,0	399,0	25,0	60,0	110,0	106,0	101,0	368,0	24,0	54,0	327,0	137,0	280,0
5 Formiga	196,0	90,0	167,0	263,0	0,0	510,0	284,0	280,0	213,0	216,0	211,0	485,0	284,0	242,0	68,4	366,0	28,0
6 Gov. Valadares	330,0	565,0	345,0	399,0	510,0	0,0	381,0	339,0	346,0	317,0	319,0	145,0	403,0	377,0	573,0	258,0	525,0
7 Ouro Branco	95,9	341,0	120,0	25,0	284,0	381,0	0,0	36,0	126,0	126,0	121,0	365,0	22,0	54,0	348,0	112,0	301,0
8 Ouro Preto	92,6	337,0	116,0	60,0	280,0	339,0	36,0	0,0	122,0	122,0	117,0	323,0	58,0	40,0	344,0	80,0	297,0
9 Ribeirão das Neves	36,5	263,0	44,7	110,0	213,0	346,0	126,0	122,0	0,0	58,0	23,0	307,0	130,0	89,0	275,0	269,0	228,0
10 Sabará	37,5	272,0	53,1	106,0	216,0	317,0	126,0	122,0	58,0	0,0	25,0	292,0	126,0	84,0	280,0	208,0	232,0
11 Santa Luzia	30,1	267,0	47,0	101,0	211,0	319,0	121,0	117,0	23,0	25,0	0,0	284,0	121,0	78,0	274,0	202,0	227,0
12 São João Evangelista	305,0	540,0	320,0	368,0	485,0	145,0	365,0	323,0	307,0	292,0	284,0	0,0	395,0	353,0	548,0	315,0	501,0
13 Conselheiro Lafaiete	95,7	340,0	120,0	24,0	284,0	403,0	22,0	58,0	130,0	126,0	121,0	396,0	0,0	64,0	348,0	134,0	301,0
14 Itabirito	54,0	298,0	82,7	54,0	242,0	377,0	54,0	40,0	89,0	84,0	78,0	353,0	64,0	0,0	305,0	167,0	258,0
15 Piumhi	257,0	101,0	228,0	327,0	68,4	573,0	348,0	344,0	275,0	280,0	274,0	548,0	348,0	305,0	0,0	429,0	77,0
16 Ponte Nova	178,0	422,0	202,0	137,0	366,0	258,0	112,0	80,0	269,0	208,0	202,0	315,0	134,0	167,0	429,0	0,0	383,0
17 Arcos	212,0	63,0	183,0	280,0	28,0	525,0	301,0	297,0	258,0	232,0	227,0	501,0	301,0	258,0	77,0	383,0	0,0

Analisando a Figura 1 nota-se que a rota é circular sendo possível se iniciar pelo Câmpus de Sabará e seguir no sentido horário, ou anti-horário começando pelo Câmpus de Itabirito. Nos dois casos a distância máxima percorrida é a mesma com valor de 1706,6 Km. Além disso, as rotas não se cruzam, o que é um indicativo de um roteamento eficiente conforme cita Ballou (2010).

Dentro desse contexto, é interessante determinar a melhor rota para se visitar os Câmpus que estão em um raio de 100 km da Reitoria, uma vez que nove dos dezessete Câmpus estão nessa região. A Figura 2 apresenta o resultado do aplicativo para a situação proposta. Avaliando a Figura 2 verifica-se que as rotas não se cruzam, comprovando que o resultado é adequado. Ademais a distância máxima percorrida para se visitar todos os Câmpus é de 406,7 Km.

¹ São considerados os Câmpus avançados e unidades conveniadas até o ano de 2015.



**SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA IFMG**

PRPPG

Pró-Reitoria de Pesquisa,
Inovação e Pós-Graduação



**INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS**
Reitoria

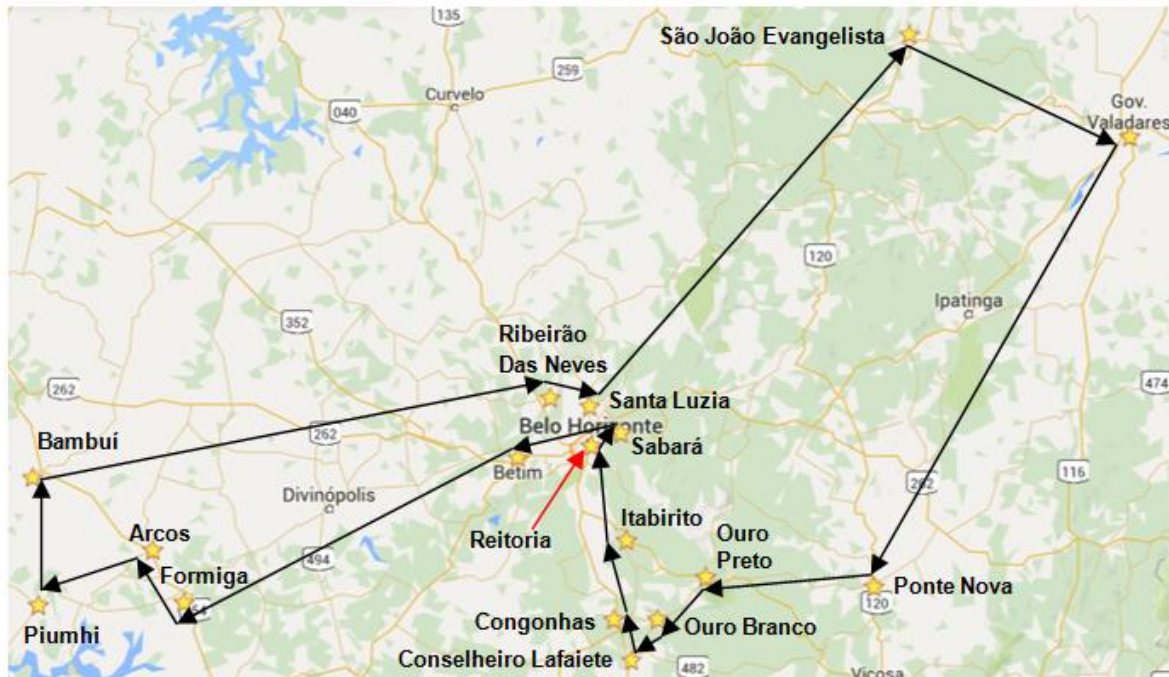


Figura 1: Rota determinada pelo aplicativo entre a Reitoria e os Câmpus.



Figura 2: Rota determinada pelo aplicativo entre a Reitoria e os Câmpus que estão em um raio de 100 Km.



Estudo de Caso 2: Roteamento da coleta de lixo nos bairros da cidade de Ouro Preto-MG.

Neste caso, é considerado como objeto de estudo o problema de roteamento do caminhão de lixo da cidade de Ouro Preto-MG, pois, o mesmo é realizado de forma empírica, sem a utilização de um *software* adequado para a gestão do transporte. Para a realização do estudo utiliza-se a sequência de visitas dos caminhões aos bairros, fornecida pela empresa responsável pela coleta.

Como parâmetro de estudo e comparação dos resultados do aplicativo, utiliza-se a segunda feira como parâmetro, visto que, neste dia da semana o caminhão visita o maior número de bairros e para isso percorre uma distância de 63 Km.

A Figura 3 ilustra a rota percorrida pelos caminhões da empresa e os pontos de referência para cálculo das distâncias entre os bairros. Enquanto que, a Tabela 2 aponta a matriz de distância entre eles. Nota-se que é usada como referência uma rua de cada bairro para localização no *Google Maps*. Além disso, desconsidera-se o trajeto que o caminhão percorre dentro dos mesmos.

A seguir na Figura 4 tem-se a rota definida pelo aplicativo, com o caminhão partindo da garagem da empresa, até o seu retorno, após visitar todos os bairros que compõem a rota de segunda feira.

Bairros	Referência Google Maps
Nossa Senhora do Carmo	R. Quatro, 952-1264, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Morro Santana	R. Quinze de Agosto, Cidade Ouro Preto - MG
Piedade	R. da Abolição, 264-320, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Padre Faria	R. Desidério de Matos, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000, Brasil
Alto da Cruz	R. Treze de Maio, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Vila Itacolomy	R. José B da Silva, 151, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Antônio Dias	Pousada do Ouvidor - Praça Antônio Dias, 99, Ouro Preto - State of Minas Gerais
Barra	Rua Washignton Dias, Ouro Preto - MG
Cabeças	Pousada Geraes - Rua Professor Salatiel Tôrres, 45 - Cabeças, Ouro Preto - MG, 35400-000
São Cristóvão	R. José A. Dias, 148, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Água Limpa	R. Bernardino Ferreira, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Rosário	Igreja de Nossa Senhora do Rosário - Largo do Rosário, s/n - Rosário, Ouro Preto - MG, 35400-000
Centro	Praça Tiradentes, Cidade Ouro Preto - MG
Dores	Pousada Abigail Condé - Rua Padre José da Rocha Filgueiras, 72 - Alto das Dores, Ouro Preto - MG, 35400-000
Pilar	Matriz da Nossa Senhora do Pilar - Travessa Barbosa, s/n - Pilar, Ouro Preto - MG, 35400-970
Lagoa	R. Vítório Zanetti, 240, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Bauxita	Bairro Bauxita - Rua Professor Francisco Pignatário, 9, Ouro Preto - MG
Vila dos Engenheiros	R. Simão Lacerda, 486, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Saramenha	Av. Américo René Gianete, 1504, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA	63 KM

Figura 3: Rota percorrida pela empresa de coleta de lixo



Tabela 2: Matriz de Distâncias entre os bairros visitados na segunda feira.

Distâncias em KM	Nossa Senhora do Carmo	Água Limpa	Alto da Cruz	Antônio Dias	Barra	Bauxita	Cabeças	Centro	Dores	Lagoa	Morro Santana	Padre Faria	Piedade	Pilar	Rosário	São Cristóvão	Saramenha	Vila Itacolomy	Vila dos Engenheiros	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	Nossa Senhora do Carmo	0,0	6,5	12,1	3,1	2,7	1,6	8,4	3,6	3,4	1,4	5,4	3,7	5,0	3,8	4,7	12,1	4,7	1,3	5,1
2	Água Limpa	6,5	0,0	3,6	2,3	2,1	5,1	2,0	1,8	3,0	4,1	4,6	18,3	4,0	1,0	0,7	0,5	9,0	11,5	5,6
3	Alto da Cruz	12,1	3,6	0,0	1,8	2,3	5,0	4,1	1,8	2,0	4,0	0,6	1,3	0,5	2,5	2,7	3,2	5,8	4,4	5,6
4	Antônio Dias	3,1	2,3	1,8	0,0	0,7	3,6	2,8	0,6	1,2	2,5	2,1	1,2	2,3	1,2	1,8	1,9	4,4	2,9	4,0
5	Barra	2,7	2,1	2,3	0,7	0,0	2,5	3	0,8	1,0	1,3	2,1	2,2	2,1	1,2	2,5	2,6	4,5	2,3	3,0
6	Bauxita	1,6	5,1	5,0	3,6	2,5	0,0	5,3	4,1	4,2	2,8	5,3	4,4	5,5	4,0	4,9	5,9	3,1	1,0	1,1
7	Cabeças	8,4	2,0	4,1	2,8	3,0	5,3	0,0	2,1	3,4	11,6	4,1	3,7	4,5	1,4	1,1	0,8	5,9	11,0	9,1
8	Centro	3,6	1,8	1,8	0,6	0,8	4,1	2,1	0,0	1,1	2,4	1,9	1,5	2,3	0,7	0,9	1,7	4,8	2,7	3,9
9	Dores	3,4	3,0	2,0	1,2	1,0	4,2	3,4	1,1	0,0	1,8	1,8	1,0	2,1	2,2	2,7	2,8	4,7	3,3	4,5
10	Lagoa	1,4	4,1	4,0	2,5	1,3	2,8	11,6	2,4	1,8	0,0	4,2	1,0	2,1	2,0	2,7	3,0	4,5	3,3	4,4
11	Morro Santana	5,4	4,6	0,6	2,1	2,1	5,3	4,1	1,9	1,8	4,2	0	1,2	0,7	2,5	3,2	3,5	6,6	6,9	5,7
12	Padre Faria	3,7	18,3	1,3	1,3	2,2	4,4	3,7	1,5	1,0	1,0	1,2	0,0	16,8	19,0	17,9	19,9	5,5	20,8	21,9
13	Piedade	5,0	4,0	0,5	2,3	2,1	5,5	4,5	2,3	2,1	2,1	0,7	16,8	0,0	3,0	3,6	4,0	12,5	4,4	6,2
14	Pilar	3,8	1,0	2,5	1,2	1,2	4,0	1,4	0,7	2,2	2,0	2,5	19,0	3,0	0,0	1,3	2,5	4,6	2,7	3,3
15	Rosário	4,7	0,7	2,7	1,8	2,5	4,9	1,1	0,9	2,7	2,7	3,2	17,9	3,6	1,3	0,0	1,7	5,4	1,1	5,5
16	São Cristóvão	12,1	0,5	3,2	1,9	2,6	5,9	0,8	1,7	2,8	3,0	3,5	19,9	4,0	2,5	1,7	0,0	8,8	4,4	5,5
17	Saramenha	4,7	9,0	5,3	4,4	4,5	3,1	5,9	4,8	4,7	4,5	6,6	5,5	12,5	4,6	5,4	8,8	0,0	3,9	1,8
18	Vila Itacolomy	1,3	11,5	4,4	2,9	2,3	1,0	11,0	2,7	3,3	3,3	6,9	20,8	4,4	2,7	1,1	4,4	3,9	0,0	1,1
19	Vila dos Engenheiros	5,1	5,6	5,6	4,0	3,0	1,1	9,1	3,9	4,5	4,4	5,7	21,9	6,2	3,3	5,5	5,5	1,8	1,1	0,0

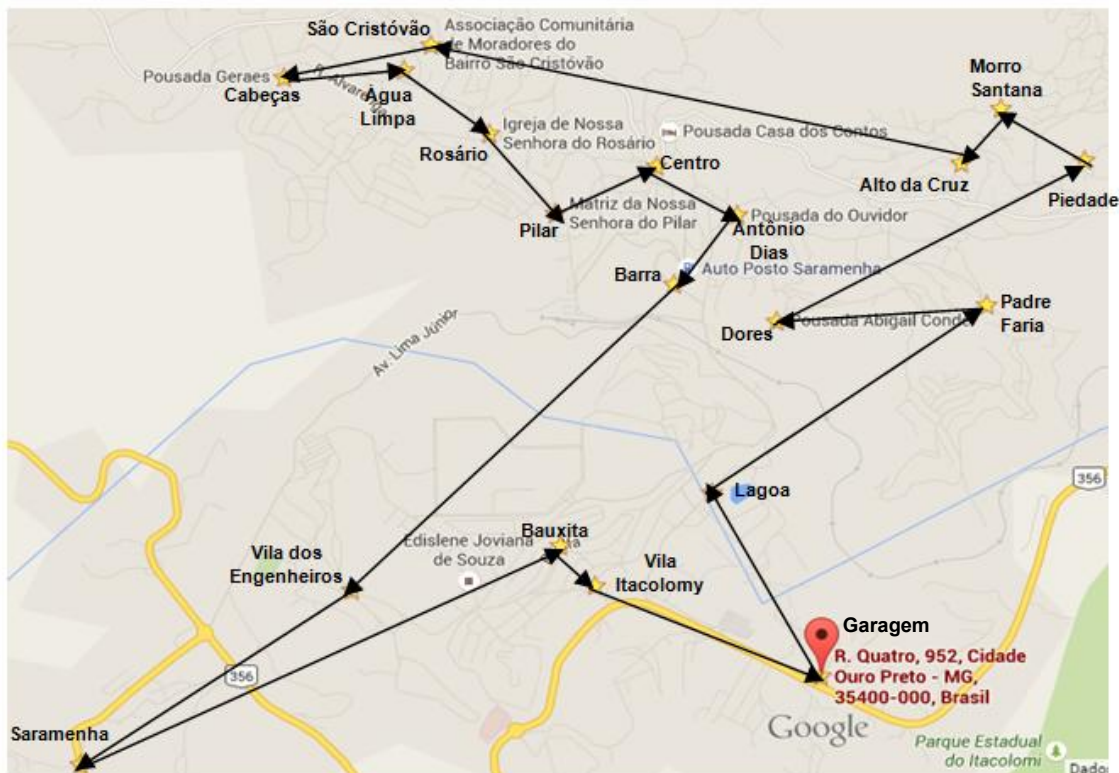


Figura 4: Rota determinada pelo aplicativo que demonstra a sequência de visitas dos bairros.

Neste caso, também se verifica que as rotas não se cruzam, e que a distância máxima que o caminhão percorre é de 20 km, ao invés dos 63 km realizados pela empresa. Isto demonstra que o uso do aplicativo é eficiente e pode ser utilizado como uma ferramenta de gestão de transportes pela empresa de coleta de lixo.



CONCLUSÕES:

Diante dos resultados apresentados pelo aplicativo nos estudos de casos discutidos anteriormente, conclui-se que o mesmo é eficiente na solução do Problema de Roteamento de Veículos, quando este se resume ao Problema do Caixeiro Viajante.

Além disso, os resultados demonstram que o aplicativo pode ser utilizado pelas empresas como forma de se tornarem mais competitivas no mercado, uma vez que ele permite a otimização dos recursos produtivos, financeiros e ambientais.

Um ponto que merece destaque é o fato da heurística utilizada no estudo ser um método de otimização que, para um número elevado de variáveis ela garante apenas a obtenção de um ótimo local, porém, diferentemente das técnicas de otimização global, ela possui um tempo de processamento muito menor do que estas, o que viabiliza a sua utilização prática em relação as demais. Além disso, para um número de variáveis restrito como nos estudos de casos apresentados a heurística é capaz de determinar a melhor rota possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Araújo, J. G. Transporte rodoviário de cargas no Brasil: Mercado atual e próximas tendências. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

Disponível em: http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1755&Itemid=74.

Acesso em 06 de setembro de 2013.

Ballou, R. H. Gerenciamento da cadeia de Suprimentos: Logística empresarial. (5ªed). Porto Alegre: Bookman. 2010. 613 pg.

Goldbarg, M. C., & Luna, H. P. Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos. Rio de Janeiro: Campus. 2005. 523 pág.

Heinen, M. R. (2005). Análise e implementação de algoritmos para o roteamento de veículos. Anais do simpósio de informática da região Centro do RS. 2005. 8 pg.

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS. Relação dos Câmpus, Câmpus avançados e unidades conveniadas. Disponível em <http://www.ifmg.edu.br/index.php>. Acesso em 04 de março de 2015.



**SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA IFMG**

PRPPG

Pró-Reitoria de Pesquisa,
Inovação e Pós-Graduação



**INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS**
Reitoria

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:

O trabalho foi apresentado no IV Seminário de Iniciação Científica do Instituto Federal de Ouro Preto.