



## Resumo Expandido

<b>Título da Pesquisa (Português):</b> Aplicativo em Scilab para solução do Problema de Roteamento de veículos		
<b>Título da Pesquisa (Inglês):</b> Scilab's application to solve the Vehicles Routing Problem.		
<b>Palavras-chave:</b> Roteamento de veículos, logística, heurística, problema do caixeiro viajante.		
<b>Keywords:</b> Vehicles Routing Problem, logistic, heuristic travelling salesman problem.		
<b>Campus:</b> Ouro Preto	<b>Tipo de Bolsa:</b> PIBIC	<b>Financiador:</b> IFMG
<b>Bolsista(s):</b> Vanessa Sabino		
<b>Professor Orientador:</b> Dr. André Monteiro Klen		
<b>Área de Conhecimento:</b> Logística e programação de computadores		<b>Editais:</b> 156/2013

**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. O aplicativo é testado em relação a dois Problemas de Roteamento de Veículos, descritos na literatura, com o intuito de validar seus resultados. Em seguida ele é utilizado 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 eficiente na determinação das rotas.

**Abstract:** *The objective of this project is develop a Scilab's application to solve the Vehicles Routing Problem (VRP), when this is limited to Travelling Salesman Problem (TSV), for this is employed the heuristic of Clark e Wright. The application is tested in relation two Vehicles Routing Problem cases outlined in the literature, with the purpose to validate its results. In the next step it is used to determine the routing vehicles in two cases studies: the first between the Rectory of the Federal Institute of Minas Gerais and its Campus and the second deal with the trucks route to collection of garbage in the historical city of Ouro Preto - MG. At the end of the cases studies the applications revealed efficient to determine the vehicles routes.*

### 1- INTRODUÇÃO:

Esse projeto tem como objetivo desenvolver um aplicativo no *software* de programação *Scilab*, estruturado na heurística de Clark e Wright para solucionar o Problema de Roteamento Veículos (PRV), quando essa tarefa se resume ao conhecido Problema do Caixeiro Viajante (PCV).

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 e melhorar os serviços aos clientes, descobrir os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede de rodovias, a fim de minimizar os tempos e distâncias que constituem problemas muito frequentes de tomada de decisão.

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 de origem, 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 ideia 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.

## **2- 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 Scilab* e 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.

## **3- RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

### **3.1- Estudo de Caso 1: Roteamento de veículos entre a Reitoria do IFMG e os seus Câmpus<sup>1</sup>.**

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 e, a distância entre cada um dos Câmpus foi determinada através do *Google Maps*, a Tabela 1 apresenta os valores em quilômetros, enquanto que a Figura 1 aponta a disposição da Reitoria e os Câmpus além da rota, sequência de Câmpus a serem visitados, definida pelo aplicativo.

Tabela 1: Matriz de distâncias

---

<sup>1</sup> Nesse caso também estão incluídos os Câmpus avançados e unidades conveniadas.

Distâncias em KM	Reitoria	Bambu	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 Bambu	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	395,0	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



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

Note 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, repare que 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.



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

### 3.2- 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. O mesmo é realizado de forma empírica, sem a utilização de um software adequado para a gestão do transporte. Foi cedido pela empresa, um informativo com os horários em que o caminhão percorre ao recolher o lixo durante a semana.

Foi selecionado um dia da semana, a segunda-feira e posteriormente calculado a distância total percorrida pelo caminhão de lixo através das informações obtidas no folheto, sem a ajuda do programa. Após a avaliação da rota, constatou-se que a distância total percorrida pelo veículo foi de 63 Km, conforme a figura a seguir:

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 Washington Dias, Ouro Preto - MG
Cabeças	Pousada Geraes - Rua Professor Salatiel Torres, 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 Pignalário, 9, Ouro Preto - MG
Vila dos Engenheiros	R. Simão Lacerda, 486, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
Saramenha	Av. Américo Renê Gianete, 1504, Cidade Ouro Preto - MG, 35400-000
<b>DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA</b> 63 KM	

Figura 3: Rota percorrida pela empresa de coleta de lixo sem o uso do software adequado.

Nota-se que foi usado como referência; uma rua de cada bairro, para localização no *Google Maps*. Foi desconsiderado também, o trajeto que o caminhão percorre dentro dos bairros.

A seguir temos a rota em que o caminhão de lixo percorre, já com o caminho programado no aplicativo, desde o ponto de origem, onde fica a garagem da empresa, até o seu retorno.

Tabela 2: Matriz de Distâncias

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

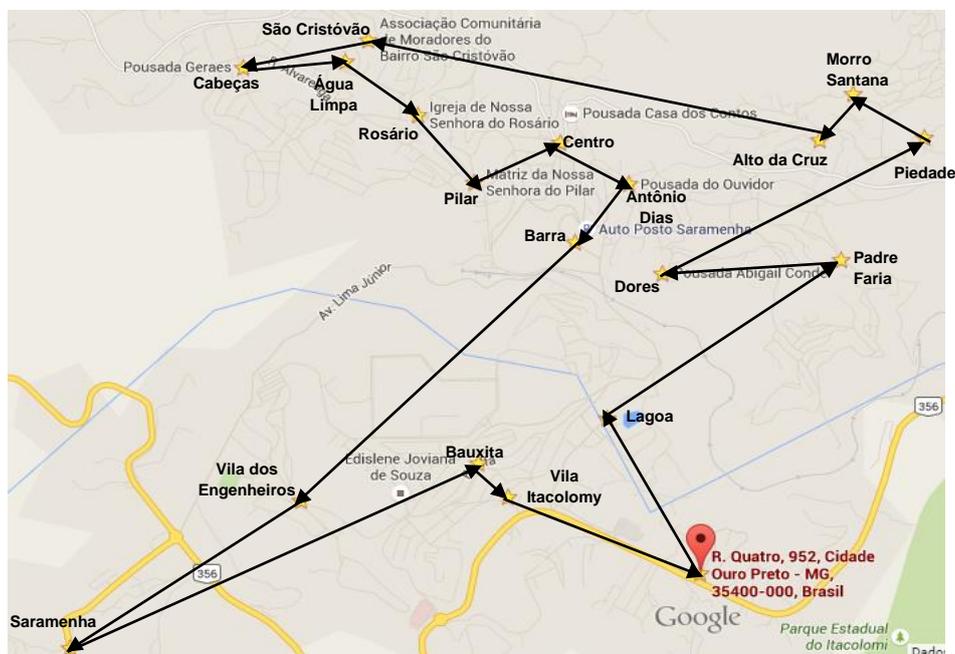


Figura 4: Rota determinada pelo aplicativo que demonstra a saída do caminhão de lixo, percorrendo os bairros da cidade de Ouro Preto-MG.

Neste caso, também verificou-se que as rotas não se cruzam, e que a distância máxima que o caminhão irá percorrer será de 20 km, ao invés de 63 km, conforme era feito anteriormente. Isto demonstra que o uso do aplicativo é eficiente e recomendado como uma ferramenta de gestão de transportes na 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.

Um ponto que merece destaque é o fato da heurística ser um método de otimização que em alguns casos garante apenas um ótimo local. Para o PRV o ótimo global é alcançado quando o número de cidades ou nós é reduzido.

Outras técnicas como a programação matemática linear, que possuem a capacidade de alcançar o ótimo global podem ser aplicadas quando o número de cidades ou nós é grande, contudo o tempo de processamento é elevado inviabilizando a sua utilização prática.

### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:**

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](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.

Goldberg, 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.