

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIENCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

HAILTON FERNANDO DE CARVALHO

**OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES: UM ESTUDO DE CASO EM JOÃO MONLEVADE – MG**

João Monlevade

2017

HAILTON FERNANDO DE CARVALHO

**OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES: UM ESTUDO DE CASO EM JOÃO MONLEVADE – MG**

Monografia apresentada ao curso de Sistemas de Informação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Orientador: Samuel Souza Brito

João Monlevade

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ANEXO IV - Ata de Defesa

ATA DE DEFESA

Aos 04 dias do mês de Setembro de 2017, às 17 horas e 30 minutos, na sala C304 do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, foi realizada a defesa de Monografia pelo aluno **HAILTON FERNANDO DE CARVALHO**, sendo a Comissão Examinadora constituída pelos professores: Prof. Me. Samuel Souza Brito, Prof. Dr. Fernando Bernardes de Oliveira, Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca e Profª. Dra. Gilda Aparecida de Assis. O candidato apresentou a monografia intitulada: "Otimização das Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares: Um Estudo de Caso em João Monlevade - MG". A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do candidato, com nota 9,0 (nove pontos), concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporação das alterações sugeridas ao texto final. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo graduando.

João Monlevade, 04 de 09 de 2017

Prof. Me. Samuel Souza Brito
Professor Orientador/Presidente

Prof. Dr. Fernando Bernardes de Oliveira
Professor Convidado

Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca
Professor Convidado

Profª. Drª. Gilda Aparecida de Assis
Professora Convidada

Hailton Fernando de Carvalho
Graduando



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

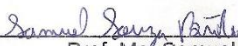
ANEXO V – Folha de Aprovação
Curso de Sistemas de Informação

FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA


Otimização das Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares: Um Estudo de Caso em João Monlevade - MG

Hailton Fernando de Carvalho

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial da disciplina CSI499 – Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação e aprovada pela Banca Examinadora abaixo assinada:



Prof. Me. Samuel Souza Brito
DECSI – UFOP



Prof. Dr. Fernando Bernardes de Oliveira
DECSI - UFOP



Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca
DECSI - UFOP



Prof^ª. Dr^ª. Gilda Aparecida de Assis
DECSI - UFOP

João Monlevade, ___04___ de ___Setembro___ de ___2017___.




UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Eu, Hailton Fernando de Carvalho, declaro que o texto do trabalho de conclusão de curso intitulado "Otimização de Rotas do Serviço de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares: Um Estudo de Caso em João Monlevade - MG" é de minha inteira responsabilidade e que não há utilização de texto, material fotográfico, código fonte de programa ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem as devidas referências ou consentimento dos respectivos autores.

João Monlevade, 14 de setembro de 2017


Assinatura do aluno

DEDICATÓRIA

A Deus, como representação de todas as influências positivas. À minha família, a todos os amigos e professores que fizeram possível esta realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que nas horas de desespero me proveu a oportunidade de buscar meios de prosseguir, que me presenteou com a oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas, que na forma de influências positivas me permitiu continuar a caminhada até que os objetivos fossem alcançados.

Agradeço aos meus pais, Sebastião Macário de Carvalho e Luíza Maria de Carvalho, que sempre demonstraram a importância dos estudos na minha vida e na dos meus irmãos como o caminho a ser seguido. Aos meus irmãos Daniela e André, pela parceria, apoio incondicional e por estarem sempre dispostos a ajudar. A Deus, novamente por me proporcionar esta família maravilhosa.

Agradeço ao meu Orientador, Samuel Brito, pelo apoio, amizade, pela confiança, disponibilidade, pelo profissionalismo e principalmente pela serenidade. Muito obrigado por tudo!

Agradeço a cada integrante da banca, Fernando Bernardes, George Fonseca e Gilda Assis, pelas contribuições para o trabalho, e sobretudo pelo exemplo de profissionais que são. Agradeço aos demais professores que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste ciclo.

Agradeço a todos os amigos do I Workshop de Computação da UFOP, aos amigos das turmas de SI que tive o prazer de conhecer, aos amigos que fiz na Visão Tecnologia e Sistemas Jr., aos amigos da República Seis de Paus. Agradeço a todos os velhos amigos de Rio Acima, que fizeram com que a distância parecesse inexistente. Um agradecimento ao meu velho amigo Matheus Moreira, ao parceiro da República Seis de Paus Alexandre Maciel e à Kelly Oliveira pela força, amizade e por estar sempre presente. A todos que fizeram parte dessa jornada, muito obrigado!

Agradeço ao Winer, da empresa Liarth que contribuiu com os dados para a pesquisa, e pela disposição em ajudar. Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto pela oportunidade, e a todos que não foram citados aqui, mas que foram de grande importância para a conclusão deste trabalho.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charlie Chaplin

RESUMO

Este trabalho trata da geração de rotas para o serviço de recolhimento de resíduos da cidade de João Monlevade por meio da solução do Problema de Roteamento em Arcos Capacitados. O emprego de técnicas de otimização se mostra como uma alternativa na redução de custos operacionais relacionados a problemas de roteamento. Ao longo dos anos, surgiram diversas alternativas para solucionar problemas desta natureza, com as restrições variando de acordo com a aplicação. A partir da representação em grafo de uma região de João Monlevade, considerando que todas as vias são de mão dupla, o problema foi resolvido por meio de um modelo de Programação Inteira com auxílio de resolvedores para este paradigma. Também foi feita a implementação de um algoritmo heurístico construtivo, para obtenção de soluções aproximadas. Devido ao tamanho do problema, os resolvedores matemáticos tiveram dificuldades para encontrar soluções viáveis, gastando longos períodos de processamento. A abordagem heurística obteve soluções em tempos computacionais menores, entretanto a qualidade dessas soluções se mostraram inferiores.

Palavras-chave: Problema de Roteamento em Arco Capacitado, Otimização, Modelagem Matemática, Coleta de Resíduos.

ABSTRACT

This work deals with the generation of routes to the waste collection service of João Monlevade city by means of solution of Capacitated Arc Routing Problem. The use of optimization techniques is shown as an alternative for the reduction of operational costs related to routing problems. Over the years, several alternatives have emerged to solve problems of this nature, with restrictions varying according to the application. From the representation in graph of a region of João Monlevade, and considering that all routes are two-way, the problem was solved by means of an Integer Programming model, with the aid of solver for this paradigm. We also implemented a constructive heuristic algorithm to obtain approximate solutions. Due to the size of the problem, mathematical solvers had difficulty to find viable solutions, spending long periods of processing. The heuristic approach obtained solutions in smaller computational times; however, the quality of these solutions were worse.

Keywords: Capacitated Arc Routing Problem, Optimization, Mathematical Modeling, Metaheuristic, Waste Collection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grafo orientado e grafo não orientado.....	18
Figura 2 – Grafo conexo, e grafo não conexo.	18
Figura 3 – Grafo e sua matriz de custo equivalente.	19
Figura 4 – As 7 pontes de Königsberg.	22
Figura 5 – Grafo correspondente ao das 7 pontes de Königsberg.....	22
Figura 6 – Divisão de regiões para coleta em JM.....	29
Figura 7 – Sub-rota legal, sub-rota ilegal.....	34
Figura 8 – Pseudocódigo <i>GRASP</i> genérico.	35
Figura 9 – Pseudocódigo do algoritmo implementado.....	36
Figura 10 – Demonstração de cobertura de rotas.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados Obtidos pela abordagem exata.....	39
Tabela 2 – Resultados Obtidos pela abordagem aproximada.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Serviço de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em João Monlevade

LISTA DE ABREVIATURAS

<i>CVRP</i>	-	<i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i>
<i>GRASP</i>	-	<i>Greed and Randomized Adaptive Search Procedure</i>
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JM	-	João Monlevade
PCC	-	Problema do Carteiro Chinês
PCCC	-	Problema do Carteiro Chinês Capacitado
PCV	-	Problema do Caixeiro Viajante
PGR	-	Problema Geral do Roteamento
PRAC	-	Problema de Roteamento em Arcos Capacitados
RSD	-	Resíduos Sólidos Domiciliares

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 GRAFOS.....	17
2.2 PROBLEMAS DE ROTEAMENTO.....	20
2.2.1 Problema do Caixeiro Viajante.....	20
2.2.2 Problema de Roteamento em Arcos	20
2.2.3 Problema do Carteiro Chinês.....	21
2.3 ABORDAGENS PARA OS PRA.....	23
2.4 TRABALHOS RELACIONADOS.....	24
3 METODOLOGIA	28
3.1 ABORDAGEM EXATA.....	32
3.2 ABORDAGEM CONSTRUTIVA HEURÍSTICA.....	34
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38

5 CONCLUSÕES.....	42
6 REFERÊNCIAS.....	44
7 APÊNDICE A - DADOS DA INSTÂNCIA.	47

1 Introdução

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), resíduos sólidos são classificados como resíduos provenientes da indústria, comércio, residências, hospitais, agricultura e de serviço de varrição. Este trabalho considera apenas os resíduos sólidos provenientes dos domicílios.

Com a sanção da lei 12.305/2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos, as prefeituras deveriam tratar, até o ano de 2014, da destinação apropriada dos resíduos urbanos, para dar fim aos vazadouros. A responsabilidade de tratamento do problema de recolhimento de resíduos foi atribuída à prefeitura de cada município.

No trabalho de Detofeno e Steiner (2009), foi observado que os municípios gastam entre 7% e 15% dos recursos do orçamento com limpeza das vias, dos quais 50% são destinados exclusivamente à coleta e ao transporte de resíduos. A otimização de rotas surge, então, como uma alternativa para economia de recursos públicos, uma vez que o contexto de recolhimento de resíduo se enquadra no Problema de Roteirização (PR).

1.1 Problema

O emprego de técnicas de otimização representa uma importante etapa do planejamento de rotas para coleta de resíduos. Em um cenário ideal, ao realizar o serviço de recolhimento de resíduos em uma dada região, todos os pontos de recolhimentos são atendidos, e cada ponto é visitado apenas uma vez. Desta maneira, trajetos desnecessários são eliminados e a distância percorrida pelos veículos é a menor possível. No entanto, dificilmente em uma situação real é possível atingir este cenário. Como objetivo de aplicar técnicas de otimização, buscam-se soluções que atendam a demanda de uma região minimizando os esforços gerados.

Ao analisar o problema, percebe-se que este se enquadra em problemas de otimização clássicos, como o Problema do Carteiro Chinês, o Problema de Roteamento de Arcos e o Problema de Roteirização de Veículos. Segundo Laporte (1991), o PRV caracteriza-se por definir roteiros de veículos que minimizem o custo total do atendimento a todos os pontos de uma instância, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos. Cada ponto deve ser visitado por algum veículo apenas uma vez e qualquer rota

gerada não deve exceder a capacidade do veículo associado à ela. A contextualização do problema em João Monlevade está descrita na seção de Metodologia.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é promover o desenvolvimento de uma solução otimizada para o problema da coleta de resíduos em João Monlevade (JM). A base de dados fornecida pela empresa será utilizada para modelar o cenário. A instância será representada como um grafo não direcionado, considerando todas as vias como de mão dupla, e a partir desta instância, serão aplicadas uma abordagem exata e uma aproximada para a busca de uma solução para o problema.

1.2.1 Objetivo geral

Para minimizar as rotas dos veículos, será utilizado um modelo matemático que resolve o problema de roteamento em arcos capacitados. A solução representa uma alternativa para redução dos custos agregados à realização do serviço, utilizando ferramentas computacionais comerciais e de código livre, dedicadas para este fim.

Também faz parte do objetivo deste trabalho desenvolver uma alternativa à resolução do modelo matemático, que pode ser muito custosa ou impraticável dependendo do tamanho da instância. Como alternativa, é proposta a resolução do mesmo problema a partir da fase de construção da metaheurística *GRASP (Greed and Randomized Adaptive Search Procedure)* – Procedimento de Busca Adaptativa Gulosa e Aleatória.

1.2.2 Objetivos específicos

Nesta seção estão descritas as práticas a serem realizadas diante a exposição do problema.

- a) Identificar metodologias utilizadas para resolução do problema;
- b) Resolver o problema por meio de um modelo de Programação Inteira;
- c) Comparar resultados obtidos entre soluções de cada resolvedor matemático utilizado;
- d) Implementar um algoritmo baseado na fase construtiva da metaheurística *GRASP* para solucionar o mesmo problema do modelo;
- e) Discutir o resultado obtido entre cada abordagem.

1.3 Justificativa

A falta de planejamento para rotas do serviço de coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) se mostra como um gargalo para o orçamento municipal. Dito isto, ao aplicar metodologias que auxiliem na redução do percurso dos veículos, em geral o resultado indica melhorias que vão além da redução dos custos.

Ao reduzir o trajeto do veículo que realiza o serviço, reduz-se também a queima de combustíveis, que indiretamente reduz a emissão de poluentes. Além disto, como na prática as rotas estarão menores, é possível reduzir também a fadiga dos funcionários que correm atrás do caminhão.

A aplicação das abordagens para o PR também permite a roteirização em problemas que não envolvem veículos, como o problema de entrega de cartas, varrição de ruas, leitura de água e energia; a redução do tempo necessário para realizar este serviço trará benefícios tanto às instituições empregadoras, como aos funcionários que realizarão os serviços.

1.4 Estrutura do trabalho

No Capítulo 2 é feita uma descrição dos termos necessários para a realização do trabalho, assim como trabalhos relacionados. No Capítulo 3 são descritas as 2 abordagens para solucionar o problema, e será feita a contextualização do problema em João Monlevade. No Capítulo 4 os resultados obtidos pela aplicação das duas abordagens são discutidos. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões inerentes ao estudo.

2 Conceitos gerais e revisão da literatura

Nesta seção serão descritos os termos que foram necessários para a realização deste trabalho, em sua maioria, na área de Teoria dos Grafos. Os detalhes da aplicação dos itens descritos na teoria estão evidenciados na seção de Metodologia. Aqui também serão descritas as diversas abordagens do problema, que entre artigos, teses e dissertações, relacionam-se ao tema de otimização de rotas.

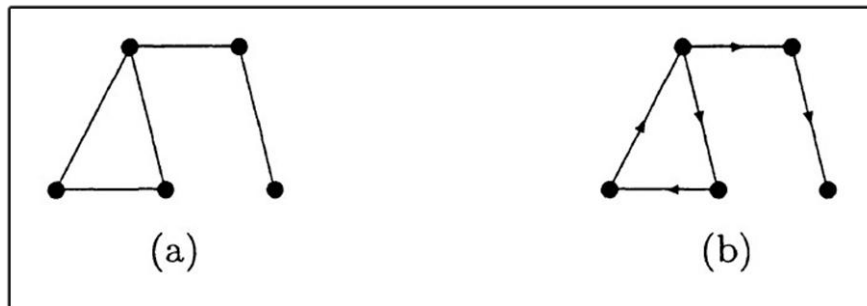
2.1 Grafos

Descreve-se um grafo G como $G = (V, E)$, no qual V é um grupo finito e E é um subconjunto finito. Os elementos de V são chamados de vértices, enquanto os elementos de E são chamados de arestas. Arestas são pares não ordenados entre vértices de V . Denomina-se $V =: V(G)$ o grupo de vértices de G , enquanto $E =: E(G)$ é o conjunto de arestas de G . Vértices que são ligados a uma aresta, são ditos adjacentes (DROR, 2000).

Quando os vértices são ligados por uma aresta que indica uma direção, esta aresta representa um arco. Os arcos geralmente são representados por setas, no qual partindo de uma origem, a extremidade da seta aponta para o destino. Um arco ou aresta é incidente com os vértices aos quais ela faz ligação. Um arco incidente a um único vértice é conhecido como laço (DROR, 2000).

Um grafo que possui arcos para ligar os vértices, é chamado de grafo dirigido ou dígrafo. O grafo é dito não dirigido no caso de as ligações entre os vértices serem feitas por arestas. Um grafo não dirigido também pode ser representado com arcos, visto que a ligação dos vértices v e w pode ser representada tanto com (v,w) quanto (w,v) (DROR, 2000). A Figura 1 ilustra um exemplo de grafo dirigido e grafo não dirigido.

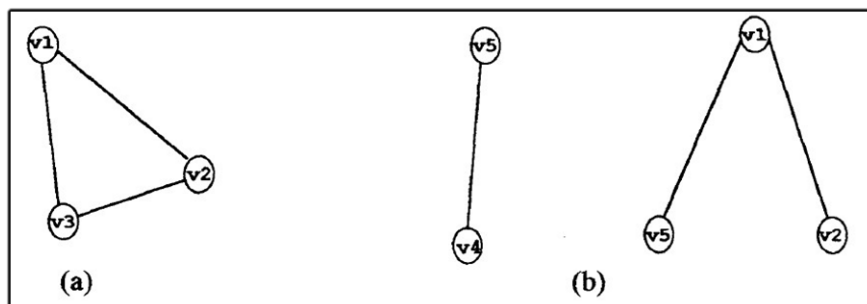
Figura 1- (a) grafo não orientado, (b) grafo orientado



Fonte: Dror (2000)

De acordo com Graciolli (1994), um grafo simples em que cada par de vértice distinto é adjacente, denomina-se completo. Um grafo é conexo se e somente se, for possível visitar qualquer vértice, a partir de um outro vértice passando por arcos ou arestas, conforme pode ser observado na Figura 2. Uma sequência de nós visitados é denominada caminho.

Figura 2 - (a) grafo conexo, (b) grafo não conexo



Fonte: Graciolli (1994)

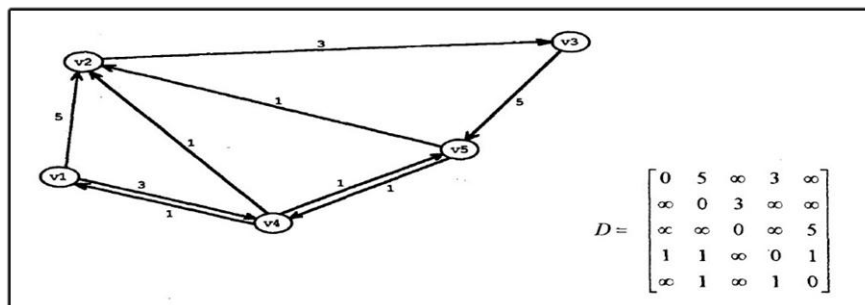
Um grafo pode ser representado por meio de pontos e setas/retas, que representam os nós/vértices e arcos/arestas, respectivamente. Computacionalmente, as formas mais comuns de representar um grafo é por matrizes ou listas de adjacências (GRACIOLLI, 1994).

Ao representar um grafo como uma matriz de custo, associa-se um número d_{ij} a cada aresta/arco. Grafos que possuem valores para cada arco/aresta, são ditos grafos valorados. O valor associado a cada linha representa o custo, que é inerente a uma unidade física, que varia de acordo com a instância representada. O custo pode ser distância, capacidade, entre outros (GRACIOLLI, 1994). A figura 3 ilustra a representação de um grafo por uma matriz de custo.

Representando um grafo simples no formato de matriz de custo, temos $D = [d_{ij}]$, no qual:

$$d_{ij} = \begin{cases} \text{custo da aresta/arco, se } (v_i, v_j) \in E; \\ 0 \text{ ou } \infty, \text{ caso contrário.} \end{cases}$$

Figura 3 - Grafo e sua matriz de custo equivalente



Fonte: Graciolli (1994)

Segundo Graciolli (1994), define-se como ciclo hamiltoniano um caminho fechado, ou seja, a partir de um vértice inicial, passa-se apenas uma vez em cada vértice do grafo G e retorna-se ao vértice de origem. Logo, um ciclo hamiltoniano em um grafo de n vértices possui n arcos/arestas. Não são todos os grafos conexos que possuem um caminho hamiltoniano.

O grau de um vértice representa o número de arestas a ele incidentes. Um grafo conexo G é um grafo euleriano, se e somente se, todos os seus vértices são de grau par. Se o grafo G é euleriano, então existe um caminho fechado, passando em cada arco/aresta uma única vez. Este trajeto, por sua vez, é chamado de caminho euleriano. O caminho possui este nome devido ao matemático Leonhard Euler – o precursor do estudo literário do problema de roteamento em arcos – depois de resolver um clássico problema de roteamento. Adiante na seção dos Problemas de Roteamento, o clássico problema o qual foi citado será descrito.

Em formulações matemáticas de problemas de roteirização de veículos, assume-se como conhecido um grafo ou rede $G = (V, E)$ em que V é um conjunto de pontos a serem atendidos e a base na qual se localizam os veículos, e um conjunto de arcos E , representando as ligações entre todos os pares de nós em N , em que são conhecidas as distâncias.

De acordo com Cunha e Filho (2002), o processamento de um algoritmo para um problema de roteirização deve ser precedido pela etapa de obtenção do grafo G . Isto envolve a localização geográfica ou espacial dos pontos de atendimento e a determinação das distâncias entre os mesmos. A maneira como o grafo G é obtido e representado pode ser decisivo para a qualidade dos resultados e para a viabilidade de execução das rotas.

2.2 Problemas de Roteamento

Golden e Wong (1981) definiram o Problema Geral de Roteamento (PGR) em uma rede $G(N,E,C)$, no qual N é o conjunto de nós, E o conjunto de todos os arcos, e C a matriz de custo, e afirmam que o problema é uma generalização que inclui o Problema do Carteiro Chinês (PCC) e Problema do Caixeiro Viajante (PCV) como casos especiais. No PGR, busca-se o ciclo de menor custo que passe em cada nó de um subconjunto $Q \subseteq N$, e cubra cada arco do subconjunto $R \subseteq E$. Neste caso, assume-se que todos os arcos não possuem direcionamento e que o veículo tenha capacidade ilimitada.

2.2.1 Problema do Caixeiro Viajante

De acordo com Cunha e Filho (2002), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) representa um dos grandes desafios da Pesquisa Operacional. O problema consiste na busca do roteiro de menor distância ou custo que passa por um determinado conjunto de pontos, sendo cada ponto visitado apenas uma vez. Conforme também foi observado em Graciolli (1994), na perspectiva de otimização, O PCV pertence à categoria de problemas conhecida como NP-completos, inferindo que o problema possui ordem de complexidade exponencial.

2.2.2 Problemas de Roteamento em Arcos

Segundo Dror (2000), o Problema de Roteamento em Arcos (PRA) consiste em determinar o menor percurso ao atravessar arcos de um grafo, sujeito à restrições. O PRA tem sido aplicado para diversas situações, como varrição de estradas, coleta de resíduos, entrega de cartas, roteamento de ônibus escolares, leitura de medidores, entre outras aplicações. São gastos todos os anos bilhões de dólares envolvendo operações de roteamento, principalmente por administrações públicas, no qual existe um potencial

considerável de economia. Nas últimas décadas, novas pesquisas e aprimoramento de técnicas de otimização aliados ao avanço na tecnologia computacional, contribuíram em grande parte para a disseminação e adoção de softwares para solucionar o PRA.

O campo de estudo de roteamento em arcos iniciou-se com o clássico problema da ponte de Königsberg, que deu início também ao estudo da teoria de grafos moderna, e o primeiro teorema conhecido em roteamento de arcos.

2.2.3 Problema do Carteiro Chinês

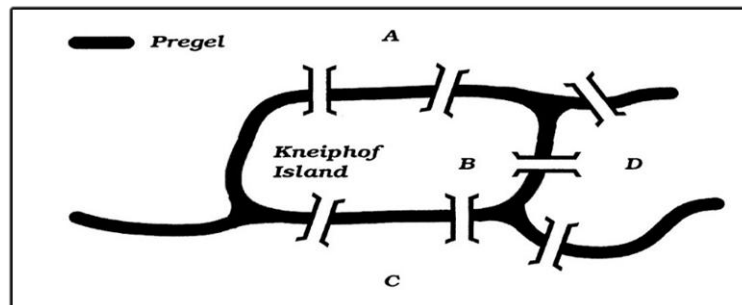
Golden e Wong (1981) definem o PRA como um problema de roteamento de nós, mas também como um problema de roteamento de arcos ou problema de roteamento geral. Ainda de acordo com os autores, cobrir todos os arcos em uma rede enquanto minimiza o custo total da distância viajada, consiste no Problema do Carteiro Chinês.

Em Dror (2000) o PCC é definido como se segue. Considere $G = (V, E \cup A)$ sendo um grafo em que V é um conjunto de vértices, E é o conjunto não direcionado de arestas, e A é um conjunto de arcos direcionados. Geralmente assume-se que G é conexo, ou seja, é possível alcançar qualquer vértice do grafo a partir de qualquer outro. A cada arco ou aresta (v_i, v_j) é associado um custo c_{ij} . É importante ressaltar que existem diferentes aplicações do PCC, também em relação com a representação da instância:

- i) PCC não direcionado, no qual $A = \emptyset$;
- ii) PCC direcionado, no qual $E = \emptyset$;
- iii) PCC misto, no qual $A \neq \emptyset$ e $E \neq \emptyset$;

No século 18, os habitantes de Königsberg (hoje Kalingrado, Rússia) debateu-se sobre a possibilidade de haver um caminho fechado de modo que fossem atravessadas cada uma das sete pontes sobre o rio Pregel exatamente uma vez. O matemático suíço Leonhard Euler foi o responsável por provar que não. Ele apresentou seus resultados na Universidade de São Petersburgo em um pequeno artigo (Euler, 1736).

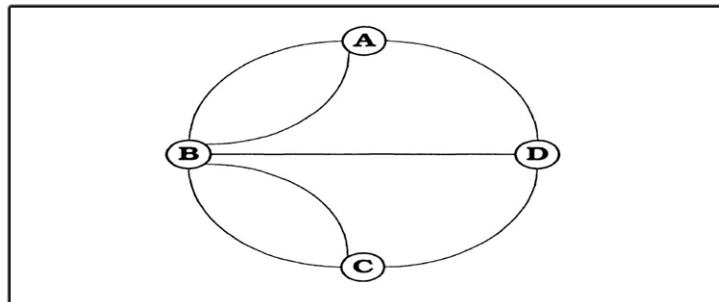
Figura 4 - As 7 pontes de Königsberg



Fonte: Dror (2000)

O problema das 7 pontes de Königsberg pode ser representado como um grafo não direcionado em que cada vértice é usado para cada uma das duas margens do rio e para as duas ilhas, e cada uma das arestas representam uma ponte. Desde que um circuito fechado exige que cada vértice deve ter sido entrado e saído o mesmo número de vezes, então não há solução para instância no caso em que nem todos os vértices possua grau par. Em outras palavras, o grafo não é euleriano. Abaixo é mostrada uma representação do grafo correspondente ao problema na Figura 5.

Figura 5 - Grafo correspondente ao problema das 7 Pontes de Königsberg



Fonte: Dror (2000)

Euler provou que para um caminho fechado existir em um grafo conectado não direcionado, todos os vértices devem possuir grau par, ou seja, o número de arestas incidentes a qualquer vértice não pode ser ímpar (DROR, 2000).

O PCC, que é um problema relacionado ao das sete ponte de Königsberg, foi abordado pela primeira vez em Meigu Guan (1962). A diferença essencial entre os dois problemas é que enquanto no problema das pontes de Königsberg se verifica a existência de

um circuito euleriano, no PCC o objetivo é encontrar um caminho de comprimento mínimo cobrindo cada arco do grafo pelo menos uma vez (PAES, 2004).

Em situações reais é impraticável simular um roteamento em que não se leva em consideração a capacidade de carga dos veículos. Sendo assim, em Golden e Wong (1981) é formulado matematicamente o Problema do Carteiro Chinês Capacitado (PCCC), que inclui restrição de capacidade e permite a aplicação das soluções obtidas em cenários reais para problema de roteamento em arcos capacitados. O modelo será utilizado para obtenção de uma solução em uma instância real representando uma região de JM, e a explicação de cada etapa será detalhada na seção Metodologia.

2.3 Abordagens para o Problema de Roteamento em Arcos

O PRAC possui diversas abordagens para busca de solução, como será visto na seção de trabalhos relacionados. A qualidade da solução obtida para uma instância está diretamente relacionada à escolha do método aplicado. O PRAC é considerado como um problema de difícil resolução, devido à natureza da sua complexidade.

A categorização de algoritmos quanto a sua complexidade é feita a partir do conceito de limitação polinomial. Algoritmos classificados com complexidade polinomial são aqueles que possuem o número de operações elementares necessárias para se obter a solução ótima limitado, e no pior do caso, por uma função polinomial do tamanho do problema. Quanto maior o número de operações elementares necessárias para resolver um problema, maior o esforço computacional para alcançar uma solução. Problemas que podem ser resolvidos por uma função polinomial pertencem à Classe P. Entretanto, problemas em que não são conhecidos algoritmos polinomiais que possam resolvê-los, são conhecidos como NP-Completo. Os NP-Completo são vistos como de difícil tratamento, uma vez que sua complexidade cresce exponencialmente, enquanto a de problemas da Classe P, conforme mencionado, cresce de modo polinomial (GRACIOLLI, 1994).

De acordo com Golden e Wong (1981), o Problema de Roteamento em Arcos Capacitados ou PCCC pertence à classe dos NP-Completo. Portanto, à medida em que os pontos de atendimento aumentam, mais difícil se torna o processo de busca da solução ótima para esta instância. No processo de busca da melhor solução, todos os roteiros possíveis são

enumerados, quando o tamanho da instância aumenta rapidamente, o número de roteiros enumerados aumenta exponencialmente.

Os métodos que buscam a solução ótima, são conhecidos como exatos. Nos algoritmos exatos, que geralmente são baseados em *branch and bound* ou *branch and cut*, objetiva-se reduzir a enumeração de soluções drasticamente, dependendo do problema. Se o problema apresentar muitos vértices, a enumeração ainda assim pode ser muito grande. Contudo, podem ser incluídas heurísticas que limitam a quantidade de soluções do problema, facilitando a obtenção de uma rota viável que, embora não seja ótima, se mostre satisfatória.

O obstáculo decorrente da limitação em resolver problemas da classe NP-Completo de modo ótimo motivou o surgimento de algoritmos heurísticos que objetivem encontrar boas soluções. De acordo com Paes (2004), combinando conceitos de Otimização e Inteligência Artificial, possibilitou-se a construção das “metaheurísticas”. As metaheurísticas são métodos que visam a obtenção de soluções de boa qualidade por meio da exploração inteligente do espaço de busca, evitando assim a enumeração excessiva das soluções. Como exemplo de metaheurísticas, temos os Algoritmos Genéticos (AG), *Simulated Annealing* (Têmpera Simulada), VNS (*Variable Neighborhood Search*), Colônia de Formigas, e *GRASP* (*Greed Randomized Adaptive Search Procedure*) que será a base para a implementação de uma das abordagens aplicadas neste trabalho.

A escolha da abordagem é fundamental para se alcançar resultados satisfatórios, que são soluções factíveis de baixo custo e obtidas com bom tempo computacional. Na revisão bibliográfica serão mencionadas algumas técnicas para solucionar o problema, bem como os problemas provenientes de uma escolha inadequada para a instância do problema.

2.4 Trabalhos Relacionados

Em Saruwatari *et al.* (1990) é proposto o primeiro método de resolução exata do PRAC através de procedimento baseado em limite inferior. O algoritmo fundamentado na técnica *branch and bound*, origina vários subproblemas. Focou-se no tratamento destes subproblemas de modo a não infringir as restrições gerais do PRAC, e então obter uma boa solução. A partir dos resultados computacionais, verificou-se que um bom limite inferior pôde ser obtido. Entretanto, a resolução do problema por este método ainda está condicionada ao tamanho da instância na qual ela será aplicada.

Já no trabalho de Amponsah e Salhi (2004), ressalta-se a importância do serviço de recolhimento de resíduos, sobretudo em países subdesenvolvidos com influência do clima quente. Para solucionar PCCC, foi proposto um algoritmo heurístico baseado em estratégia construtiva que leva em consideração aspectos de custo para gerar soluções factíveis, e influências no ambiente decorrentes do acúmulo de resíduos. O estudo foi realizado em cidades de Gana, nas quais o clima é quente, e as prefeituras não dispõem de recursos suficientes para tratar do problema. A ideia básica do método proposto é minimizar o efeito dos resíduos no ambiente, removendo a maior quantidade de lixo quanto antes possível, e o custo total do serviço. Diante dos testes, a nova estratégia para solucionar o problema se mostrou computacionalmente eficiente, e produz um conjunto de soluções que podem auxiliar autoridades locais na escolha daquela que melhor se adequa às necessidades da região.

Em Nuortio *et al.* (2006) é apresentada a otimização das rotas de veículos e planejamento para a coleta de RSD no leste da Finlândia. Foi utilizado uma metaheurística de vizinhança variável orientada, recém desenvolvida, adaptada para o problema de coleta de resíduos. O estudo de caso demonstrou uma redução significativa dos custos, que em média, foi de 12% se comparado às distâncias das rotas anteriores ao trabalho.

Vianna e Gomes (2006) propuseram a resolução do PRAC através metaheurística baseada em estratégia evolutiva. O algoritmo foi caracterizado também como híbrido, pois na fase de construção de uma solução, existe um parâmetro que determina a aleatoriedade dos vértices a serem inseridos na solução. Se o parâmetro for 3, por exemplo, será escolhido aleatoriamente um entre os possíveis vértices que esteja entre os 3 melhores para aquele nó. O algoritmo genético híbrido desenvolvido obteve bons resultados a partir da sua aplicação em instâncias disponíveis na literatura.

Em Bautista *et al.* (2007), foi descrita uma metodologia aplicada ao problema de coleta de lixo urbano na região metropolitana de Barcelona (Espanha), no qual o problema de roteamento em arcos capacitados foi transformado em um problema de roteamento em nós. Após a transformação, foi utilizada a heurística da colônia de formigas para obter as soluções factíveis. Segundo os autores, a melhoria obtida com a aplicação do trabalho chegou a 37% da rota praticada anteriormente.

Em Detofeno (2009), para resolver o problema de otimização de rotas de caminhões para coleta de resíduos, efetuou-se uma combinação de técnicas de otimização. O autor usou o algoritmo das p-medias de Teitz e Bart (TEITZ e BART, 1968) para a definir

as áreas de coleta de resíduos de cada veículo. Ao determinar as áreas, foi aplicado o algoritmo de Gillett e Johnson (GOLDEN *et al.*, 1977) adaptado para determinar a distribuição dos pontos a serem designados a cada uma dessas regiões. Por fim, foi resolvido o problema do carteiro chinês em cada um dos grupos que foram definidos. O resultado alcançado pela aplicação do algoritmo garantiu um percurso otimizado para coleta de resíduos urbanos.

Em Jacinto *et al.* (2014), o problema de roteirização foi resolvido utilizando o algoritmo do Carteiro Chinês Capacitado – Múltiplas Viagens, que inclui restrição de capacidade no PCC, e busca aumentar a quantidade de viagens feita por todos veículos a fim de reduzir a ociosidade de cada um deles. De abordagem mista, foram consideradas ruas de mão única, e ruas de mão e contramão na mesma instância de problema. Para encontrar uma solução aceitável, os autores propuseram uma heurística que resolve o problema de coleta em município de médio porte, baseados nos dados fornecidos pelos responsáveis pela coleta na cidade de Cariacica/ES. A partir da aplicação da heurística proposta, foi possível gerar roteiros incluindo múltiplas viagens para aproveitar a o máximo da capacidade de cada veículo. Como resultados, o novo plano proposto para recolhimento de resíduos gerou um ganho de 26,1 viagens por semana a mais por caminhão, e um adicional de 9,65% da capacidade em quilos por frota.

Em Pramudita (2013) o PRAC foi resolvido para buscar uma solução para o problema de coleta de destroços provenientes de desastres, aplicada na região metropolitana de Tokyo, Japão. Para resolver o problema, foi proposto um algoritmo metaheurístico baseado em busca tabu. Foram adicionadas algumas restrições ao problema clássico, que inclui a transformação do grafo que representa a instância estudada. Visto que possivelmente a capacidade do veículo seria excedida em algum arco com destroços acumulado, o trabalho propõe uma abordagem de uma frota que trabalhe em conjunto. Como resultado, a solução representa uma opção para aplicação em situações reais.

Em Konowalenko (2012) foi feito um estudo sobre a aplicação dos diferentes tipos de abordagens para o problema do carteiro chinês: direcionado, não direcionado e misto. Foi selecionada uma região onde foi aplicado via modelagem de programação linear inteira, cuja instância foi representada com arcos e arestas, caracterizando-se como aplicação do problema do carteiro chinês misto. Adicionalmente, foi gerada uma solução para o problema do carteiro chinês não direcionado, que pode solucionar problemas da natureza de roteamento, mas que não exija o uso de veículos. A aplicação da modelagem matemática se mostrou mais eficiente, reduzindo as rotas da região testada em 12,67%.

Em Oliveira (2016) elaborou-se uma metodologia baseada na heurística *relax-and-fix* para solucionar o PRPAC (Problema de Roteamento Periódico em Arcos Capacitados), que consiste em uma variação do PRAC em que são obtidas soluções para auxiliar na tomada de decisões de nível tático, ao verso de operacional, para horizontes de tempo maiores e com restrição de frequência a que uma determinada região deve ser atendida. Isto ocorre porque alguns arcos ou regiões têm necessidade de serem atendidos com maior frequência, devido ao volume de resíduos gerados em um período de tempo. A heurística *relax-and-fix* consiste em decompor um modelo de programação inteira mista em submodelos menores disjuntos, que são resolvidos mais rapidamente, porém sem assegurar que isto solucione o problema inicial de modo ótimo. No trabalho foram implementadas quatro estratégias diferentes para a heurística utilizada. Os testes mostraram um ganho computacional para resolução do problema de modo exato, porém em alguns casos os valores da função objetivo ficou distante da solução ótima. Foi proposto como trabalhos futuros a implementação de uma heurística para melhoria da solução.

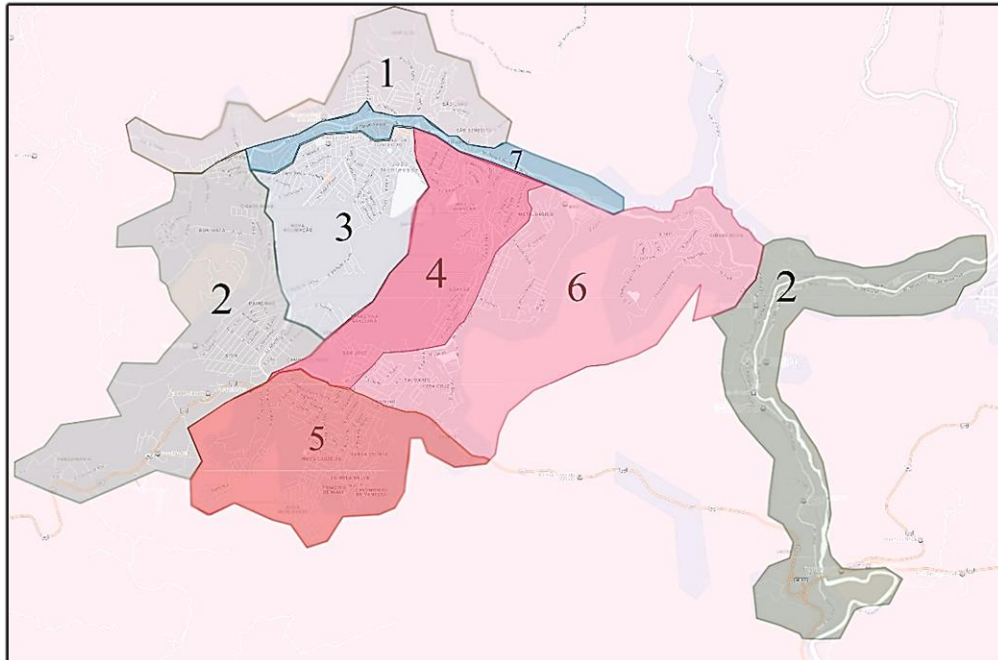
3 Metodologia

Nesta seção será descrito o problema da coleta de RSD da cidade de João Monlevade. Também serão abordados os métodos e procedimentos utilizados para obtenção dos resultados. O PCCC foi tratado com duas abordagens: resolução exata, por meio de resolvidores de Programação Inteira, e algoritmo baseado na fase construtiva da metaheurística *GRASP*.

Para efetuar a aplicação das abordagens definida neste trabalho, foi necessário coletar os dados com os responsáveis por realizar o serviço de recolhimento de RSD em JM. Todas as informações foram cedidas pela Liarth LTDA, empresa contratada pela Prefeitura Municipal de João Monlevade. Em posse dos dados, foi necessário definir um meio para representação da região para aplicação do estudo.

Para definir um padrão de coleta, foram marcados pontos nos cruzamentos das vias e no final de cada rua que compunha a área de interesse. Os pontos foram marcados com auxílio do Google Maps, e podem ser identificados por coordenadas georreferenciadas.

Após a marcação dos pontos, foi feita a medição da distância entre pontos adjacentes a partir do aplicativo Google Earth. Em trabalhos encontrados na literatura, o cálculo da distância entre os pontos é dado pela distância euclidiana. Todavia, a aplicação desta abordagem traz uma grande variação em relação ao tamanho real da distância entre os pontos, porque não considera as curvas existentes nas vias, impactando assim, nas soluções obtidas.

Figura 6 - Divisão para coleta JM

Adaptado de Google Maps

A Liarth dispõe de 3 caminhões compactadores cuja capacidade máxima é de 15 toneladas para cada veículo. Atualmente a cidade é dividida em sub-regiões, e cada região é atendida pelos veículos em dias alternados pré-determinados. No centro comercial da cidade, em que existe maior fluxo de trânsito, e também em razão da grande quantidade de resíduos gerados, a coleta é realizada em período noturno, todos os dias. Os horários de coleta são estabelecidos de 8:00 às 16:00hs no período diurno e de 18:00 às 2:00hs no período noturno. De acordo com informações fornecidas pela empresa, a Figura 6 e Quadro 1 representam como é determinada esta divisão.

Quadro 1: Serviço de coleta de resíduos domiciliares JM.

Bairros	Equipamentos	Setor nº	Freq.	Horário
Ponte Funda, Nova Cachoeirinha, Recanto do Paraíso, Vale da Serra, Rosário, Vale do Sol, Mangabeiras, José Elói, São João, São Benedito, Castelo, Ipiranga, Industrial, Campo Alegre, Boa Vista, Cidade Nova.	Compactador	1	2ª, 4ª, 6ª	8:00 às 16:20 hs.
Novo Aclimação, Paineiras, Sion, Campos Eliseos, Terminal Rodoviário, Poso Marfim, Posto 5 Estrelas, Chácaras Burian, Tanquinho I e II, Centro Industrial, Tiete, Pedreira, Santa Cruz, Amazonas, Jacuí, Serra do Egito*.	Compactador	2	2ª, 4ª, 6ª	8:00 às 16:20 hs.
Novo Horizonte, Aclimação, República, Lourdes, Alvorada, N. S. Conceição, Nova Esperança	Compactador	3	2ª, 4ª, 6ª	8:00 às 16:20 hs.
Lucília, São José/Promorar, São Geraldo, Satélite, José de Alencar, Loanda/Miramar, Ernestina Graciana, Alto do Loanda.	Compactador	4	3ª, 5ª, Sab.	8:00 às 16:20 hs.
Santo Hipólito, Teresópolis, Cruzeiro Celeste (parte de cima), Pedrópolis, Nova Monlevade, Novo Cruzeiro, Santa Cecília, Estrela Dalva, 1º de Maio, Monte Sagrado, Corumbiara de Vanessa, ABM, Cruzeiro Celeste (parte de baixo), Palmares.	Compactador	5	3ª, 5ª, Sab.	8:00 às 16:20 hs.
Loanda/João Cândido Dias, Laranjeiras, Metalúrgico, Belmonte, Baú, Vila Tanque, Areia Preta	Compactador	6	3ª, 5ª, Sab.	8:00 às 16:20 hs.
Carneirinhos, (Av. Getúlio Vargas/Av. Wilson Alvarenga), Pinheiros/Sta. Bárbara, São Jorge, Monte Santo, Entorno da Prefeitura.	Compactador	7	Diário/Not.	18:00 às 2:20 hs.

Quadro elaborado segundo informações da Liarth LTDA.

Os dados foram salvos no formato de uma matriz de custo. A representação da instância como grafo foi sintetizada em 602 vértices e 952 arestas. A região representada pelo

grafo é correspondente à região na qual a coleta é realizada às segundas, quartas e sextas-feiras com exceção da extensão da região 2, mostrada à direita na Figura 6.

De acordo com a Liarth, cada habitante de JM produz cerca de 500g de resíduos diariamente. Todo resíduo coletado é conduzido para despejo em um aterro sanitário que localiza-se a 15 quilômetros de JM.

Além da carga horária de trabalho por dia, não existe nenhuma restrição quanto ao tempo máximo para realização da coleta em uma determinada região. As rotas praticadas atualmente são baseadas no conhecimento da empresa, adquirido ao longo do tempo de prestação de serviço. Todo planejamento, portanto, é feito de maneira empírica, desconsiderando a aplicação de técnicas que minimizem o trajeto necessário para a realização do serviço.

Conforme pode ser observado no Quadro 1, são designados os dias da semana aos quais os veículos passarão para recolher os resíduos, entretanto não é definido em qual horário cada região será atendida. Apesar de não haver horário definido para a coleta, é comum que os pontos sejam atendidos em horários padronizados.

A única restrição para atendimento de cada sub-regiões é que todos os pontos de coleta devem ser atendidos no dia para o qual o serviço foi designado, dentro do expediente dos profissionais de limpeza. Diante do exposto, a definição da ordem dos pontos que serão atendidos pode não ser fixa; não está restrita a horários; e é planejada de acordo com experiências anteriores.

Dado que foi informado pela própria empresa responsável pela coleta de resíduos em JM que não é aplicada nenhuma técnica de otimização durante o planejamento, é possível que se obtenha soluções que possam auxiliar em um melhor planejamento do serviço.

De acordo com Jacinto *et al.* (2014), a quantidade de lixo produzida por habitante ainda que estimada, é variável, e foi utilizado uma fórmula proposta em Carvalho (2001) para calcular a média de resíduos produzida em cada logradouro. Para tal, foi necessário calcular a quantidade de domicílios por rua através da fórmula:

$$N_{Dom} = \frac{ExtRua}{7,5} \quad (1)$$

Em que $NDom$ é o número de domicílios na rua; $ExtRua$ é a extensão de cada rua; e 7,5 é a média do comprimento (em metros) da frente de cada terreno. A partir do resultado da fórmula anterior, foi possível calcular a quantidade de resíduos produzida por logradouro através da fórmula:

$$Qtresiduo = NDom * NMha * Qliha \quad (2)$$

Em que $Qtresiduo$ é a quantidade total de resíduo produzida em um logradouro, $NDom$ é o número de domicílios que a rua possui, $NMha$ é o número médio de pessoas por domicílio e $Qliha$ é a quantidade média de lixo produzido por habitante por dia (JACINTO *et al.*, 2014). De acordo com o IBGE (2010), o número de pessoas por domicílio em João Monlevade é estimado em 3,56. Os dados de marcação dos pontos e a matriz de custo gerada conforme metodologia descrita podem ser verificados no Apêndice A.

3.1 Abordagem exata

Em posse do grafo em formato de matriz de custo que representa a região estudada, foi utilizada a interface de Linguagem Python do resolvidor Gurobi para gerar o arquivo modelo correspondente à instância. O modelo de Programação Inteira utilizado foi proposto em Golden e Wong (1981), e resolve o problema de roteamento em arcos capacitados ou PCCC, com a ressalva de que as vias são consideradas em sentido duplo. A seguir, a descrição do modelo.

Considerando os parâmetros:

- i) n é igual ao número de vértices;
- ii) K representa o número de veículos;
- iii) q_{ij} é a demanda do arco (i, j) ;
- iv) W é a capacidade do veículo ($W \geq \max q_{ij}$) ;
- v) c_{ij} é o tamanho da aresta (i, j) .

E as variáveis de decisão:

- i) $x_{ij}^p = 1$, se a aresta (i, j) é usada como caminho pelo caminhão p , 0 caso contrário;

- ii) $l_{ij}^p = 1$ se o veículo recolheu o resíduo da aresta (i, j) , 0 caso contrário;
- iii) f_{ij}^p é uma variável de fluxo que assume valores positivos se $x_{ij}^p = 1$.

$$\text{Minimizar: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^K c_{ij}^p x_{ij}^p \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k=1}^n x_{ki}^p - \sum_{k=1}^n x_{ik}^p = 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$p = 1, \dots, K,$$

$$\sum_{p=1}^K (l_{ki}^p + l_{ik}^p) = \left\lfloor \frac{q_{ij}}{W} \right\rfloor \quad \text{for } (i, j) \in E, \quad (5)$$

$$x_{ij}^p \geq l_{ij}^p \quad \text{for } (i, j) \in E, \quad (6)$$

$$p = 1, \dots, K,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}^p q_{ij}^p \leq W \quad \text{for } p = 1, \dots, K, \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^n f_{ik}^p - \sum_{k=1}^n f_{ki}^p = \sum_{j=1}^n l_{ij}^p \quad \text{for } i = 2, \dots, n \quad (8)$$

$$p = 1, \dots, K,$$

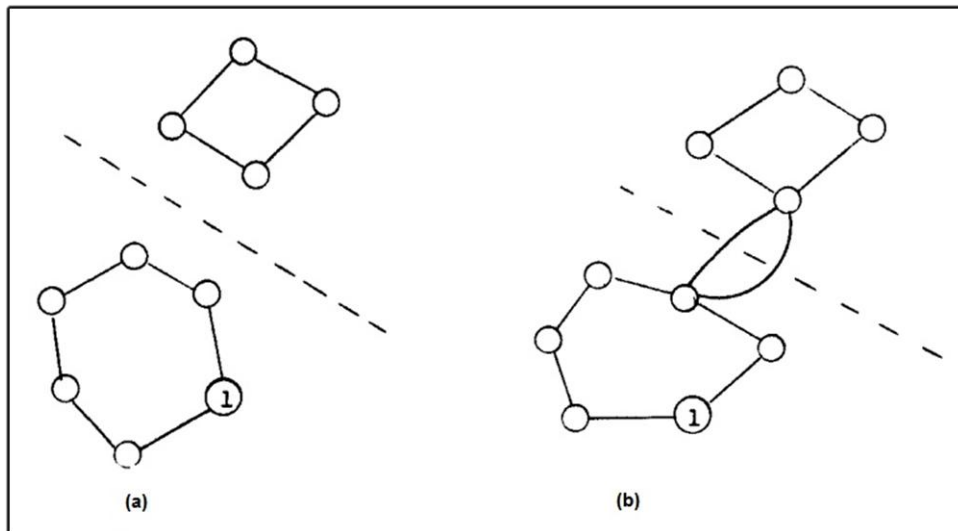
$$f_{ij}^p \leq n^2 x_{ij}^p \quad \text{for } (i, j) \in E, \quad (9)$$

$$p = 1, \dots, K,$$

$$f_{ij}^p \geq 0. \quad (10)$$

A equação (3), função objetivo, busca minimizar a distância total da rota. A equação (4) garante a continuidade da rota. A equação (5) garante que cada aresta com demanda positiva tenha o resíduo recolhido apenas uma vez. A equação (6) garante que a aresta (i, j) possa ter o resíduo recolhido apenas se o veículo p passa pelo arco (i, j) . A equação (7) garante que a capacidade do veículo não seja violada. As equações (8), (9) e (10) proíbem a formação de sub-rotas ilegais. As sub-rotas ilegais são rotas desconexas, que são exemplificadas pela Figura 7 (GOLDEN E WONG, 1981).

Figura 7- Sub-rotas ilegal (a) e sub-rotas legal (b)



Fonte: Golden e Wong (1981)

3.2 Abordagem Construtiva Heurística

O algoritmo desenvolvido como alternativa à resolução exata, foi baseado na fase construtiva da metaheurística *GRASP* (Procedimento de busca adaptativa gulosa e aleatória), que foi proposta em Feo e Resende (1995). A ideia principal do *GRASP* consiste em uma fase construtiva, e uma fase de busca local. Na fase construtiva, a solução é construída elemento por elemento adicionado randomicamente a partir de uma Lista Restrita de Candidatos (LRC). Na fase de busca local, são realizados movimentos na solução construtiva a fim de encontrar soluções melhores.

Como parâmetro, o *GRASP* recebe um número de iterações, e quando este número for atingido, o algoritmo retorna a melhor solução encontrada. Abaixo pode ser observado o pseudocódigo do *GRASP* genérico, proposto por Feo e Resende (1995).

Figura 8 - Pseudocódigo GRASP Genérico

```

procedimento GRASP( )
1  InserirInstancia( );
2  enquanto critério de parada não for satisfeito, faça:
3      ConstruirSoluçãoAleatóriaGulosa();
4      BuscaLocal(Solução);
5      AtualizaSolução(Solução, MelhorSoluçãoEncontrada);
6  fim enquanto;
7  retorna (MelhorSoluçãoEncontrada);
fim GRASP;

```

Adaptado (Feo e Resende, 1995)

Na Figura 8 é mostrado um pseudocódigo do algoritmo *GRASP* de modo genérico. Na linha 1 do pseudocódigo, temos o problema de entrada. A iteração do algoritmo que é representado das linhas 2 a 6 termina somente quando o critério de parada é satisfeito, que corresponde ao número máximo de iterações do algoritmo, ou quando a solução encontrada é satisfatória. A linha 3 consiste na fase de construção, enquanto a 4 é a fase de busca local. Se uma solução melhor for encontrada, na linha 5 ela é atualizada (FEO E RESENDE, 1995).

Na fase construtiva, uma solução é construída iterativamente. A cada iteração, a escolha do próximo elemento a estar apto é determinado através de uma lista ordenada por uma função gulosa. Esta função mede o benefício míope da seleção de cada elemento. A heurística é adaptativa porque os benefícios associados a cada elemento são atualizados a cada iteração da fase de construção para refletir a mudança da seleção do elemento anterior.

O componente probabilístico do *GRASP* é caracterizado pela escolha randômica de um dos melhores candidatos na lista, mas não necessariamente o melhor. A lista ordenada pelos melhores candidatos é chamada de LRC. Esta técnica de escolha permite diferentes soluções para cada iteração do algoritmo (FEO E RESENDE, 1995).

A Figura 9 representa o pseudocódigo do algoritmo proposto, considerando apenas a fase construtiva do *GRASP*. Como parâmetro, o algoritmo recebe uma variável alfa, que vai ser responsável por definir o tamanho da LRC. Como saída, o algoritmo retorna uma lista que representa a sequência de vértices incluídos na solução. Na linha 1, o vértice inicial é marcado como ponto de partida, e representa o depósito. Das linhas 2 a 3, no começo da execução, todas as arestas são marcadas como não visitadas, o custo da solução e a demanda são zerados.

Figura 9 – Pseudocódigo do Algoritmo Implementado

```

procedimento CONSTROISOLUCAO(double alfa)
Entrada:
    alfa - define o tamanho da LRC;
Saída:
    s - solução construída;
Início
1  vAtual = 1; {ponto inicial, depósito}
2  custoSolucao = 0;
3  demandaAtual = 0;
4  Enquanto existir arestas não visitadas, faça:
5      Ordenar arestas por custo, priorizando não visitadas;
6      Se não existir aresta não visitada partindo do vAtual, então:
7          sorteia( 0 ou 1);
8          Se sorteio = 1, então:
9              vAuxiliar = sorteio vizinho(vAtual);
10             inserir aresta;
11             custoSolucao = custoSolucao + custo(vAtual, vAuxiliar)
12             vAtual = vAuxiliar;
13         Senão:
14             Lista vertices com arestas pendentes;
15             Calcula distancia de vértice atual a não visitados;
16             vAuxiliar = vertice com aresta pendente mais próximo;
17             insere arestas do caminho;
18             vAtual = vAuxiliar;
19             custoSolucao = custoSolucao + custo(caminho(vAtual,vAuxiliar))
20         Fim Se
21     Senão:
22         vAuxiliar = sorteio entre alfa primeiras arestas(vAtual) não visitadas;
23         Se demandaAtual é menor que Capacidad do veículo, então:
24             insere arestas na rota;
25             custoSolucao = custoSolucao + custo(vAtual, vAuxiliar);
26             demandaAtual = demandaAtual + demanda de (vAtual, vAuxiliar);
27             marcar aresta como visitada;
28             vAtual = vAuxiliar;
29         Senão:
30             calcular menor caminho(vAtual,1);
31             demandaAtual = 0;
32             vAtual = 1;
33         Fim Se
34     Fimse
35 Fim Enquanto
36 Retorne rota;
Fim CONSTROISOLUÇÃO

```

Na linha 4, enquanto existir aresta com demanda não atendida, executar ações como se segue. Na linha 5, as arestas incidentes ao vértice corrente são ordenadas de acordo com o seu custo, construindo a LRC de acordo com o valor de alfa.

Se o vértice não possuir arestas pendentes para atender, então é feito um sorteio entre 0 e 1 (linhas 6 e 7). Na linha 8, se o sorteio for 1, então será sorteado aleatoriamente uma das arestas incidentes ao vértice atual, na linha 10 a aresta é inserida, na linha 11 o custo da solução será atualizado com a inclusão da nova aresta e na linha 12 o novo vértice corrente será o destino da aresta inserida por último.

Se o resultado do sorteio na linha 7 for 0, então na linha 14 todos os vértice do grafo que ainda possuem arestas não atendidas são agrupados em uma lista, na linha 15 é calculada a menor distância entre o vértice corrente e cada um dos vértices que foram agrupados na lista gerada na linha 14. Para calcular o caminho mínimo, foi utilizado o algoritmo de Dijkstra (CORMEN *et al.* 2002). Na linha 16, o vértice auxiliar é atualizado com o melhor vértice, de acordo com a distância mínima. O custo da solução é atualizado com a função objetivo aplicada ao caminho. As arestas que compõem o caminho mínimo até o vértice são incluídas na solução, e o novo vértice corrente se torna o vértice de destino do caminho calculado.

No caso em que o vértice corrente ainda possua arestas não visitadas, então o vértice auxiliar recebe um valor aleatório, que é resultante do sorteio de um dos elementos da LRC (linhas 21 e 22). Na linha 23 é feita uma verificação se a demanda ocasionada pela inclusão da aresta na solução excede a capacidade do veículo, e se não exceder, na linha 24 a aresta é inserida na rota, na 25 o custo é atualizado incluindo o custo da nova aresta inserida na solução, na linha 26 a demanda do veículo é atualizada e o novo vértice corrente se torna o último inserido, na linha 27 a aresta é marcada como atendida. Caso a capacidade do veículo se exceda com a inclusão do novo vértice, então na linha 30 é calculada a menor distância entre o vértice corrente e o depósito, e este caminho é inserido na solução na linha 31, na linha 32 a demanda do caminhão é zerada, e na linha 33 o vértice atual se torna o depósito. Na linha 37 a solução gerada é retornada na forma de uma lista de vértices que compõem a rota.

4 Apresentação e Análise dos Resultados

Nesta seção serão discutidos os resultados experimentais obtidos pelas duas abordagens, individualmente. Entretanto, antes será feita uma breve descrição dos aspectos comuns das duas abordagens.

Após gerado o modelo para a instância, foram utilizados 3 resolvidores diferentes para resolver o problema, no qual ficaram executando por 72 horas, para retornarem os melhores resultados obtidos dentro deste tempo. Será analisada a qualidade da solução encontrada por meio de cada um deles. Os resolvidores usados foram o Gurobi, CPLEX e CBC.

O Gurobi e o CPLEX são pacotes comerciais de software que podem ser usados para solucionar problemas de otimização combinatória. Os resolvidores proveem suporte a várias linguagens de programação e possuem licenças gratuitas para uso acadêmico. O CBC (*Coin-or branch and cut*), por outro lado, é um resolvidor de código aberto.

Os testes computacionais foram realizados em um Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz, 16 GB de RAM e Sistema Operacional Ubuntu 14.04 de 64bits. A versão do CPLEX foi a 12.7, do Gurobi 7.02 e do CBC 2.9.

Nos resultados obtidos, serão analisados o limite superior, que é a melhor solução encontrada pelo resolvidor; o limite inferior, que é uma solução obtida a partir da relaxação do problema, e o gap, é o quão distante a melhor solução encontrada está do limite inferior. O gap pode ser calculado pela fórmula $Gap = (UB - LB)/UB$ em que UB é o limite superior, LB o limite inferior.

Tabela 1 - Resultados Obtidos pela abordagem exata

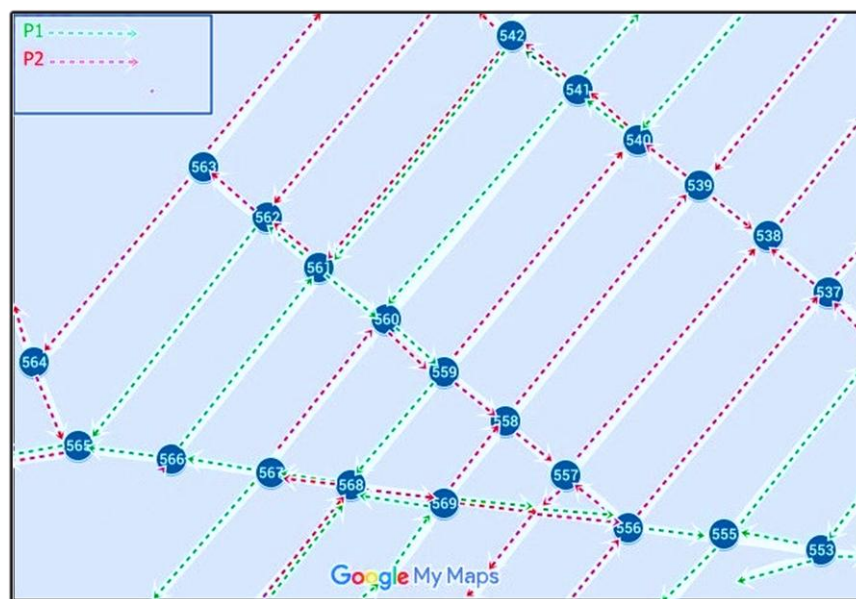
Resolvidores	Upper Bound	Lower Bound	Gap	Tempo (s)
Gurobi	148672	135374	8,94%	259200
CPLEX	164784	132458	19,61%	259200
CBC	-	120625	-	259200

Após 72 horas executando os resolvedores, o Gurobi apresentou a melhor solução entre os resolvedores testados. O CPLEX apresentou uma solução com um custo maior, enquanto o CBC não conseguiu encontrar nenhuma solução factível.

A partir dos resultados, conclui-se que o tamanho da instância para qual foi feita a modelagem do problema elevou a complexidade de resolução a ponto de inviabilizar a busca pela solução ótima. Uma possível alternativa para busca de soluções em um tempo de execução é a aplicação de um algoritmo de p-medianas, como foi feito em Detofeno e Steiner (2009). Com a subdivisão da região estudada, o tamanho da instância possivelmente impactaria menos para a resolução do problema.

A Figura 10 ilustra o que seria uma parte da solução gerada pelo resolvedor Gurobi, que apresentou a melhor solução nos experimentos. Os caminhões P1 e P2, representados pelas linhas tracejadas verde e vermelha, respectivamente, podem usar a mesma via como caminho, entretanto apenas um dos veículos fará a coleta.

Figura 10 - Demonstração de cobertura da Rota



Elaborada com o Google Maps

Uma outra alternativa para buscar uma solução em um tempo melhor, é aplicar uma abordagem heurística, como foi feito ao desenvolver o algoritmo baseado na fase construtiva da metaheurística *GRASP*. A heurística foi executada no mesmo computador no

qual os testes da abordagem exata ocorreram. O algoritmo foi implementado na linguagem Java, e a versão do Java na máquina de teste era OpenJdk 1.8.0.

Os testes foram executados por meio da variação do parâmetro alfa. O número de iterações foi fixado em 20. Para cada execução, foram realizadas 10 execuções e calculadas as médias e os desvios. O parâmetro alfa varia de 0.1 a 1, incrementado em 0.1 a cada iteração. Abaixo pode ser conferido o resultado dos testes na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados obtidos pela abordagem aproximada

alfa	Objetivo		Tempo (s)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
0,10	209465,10	211,97	4807,6	461,64
0,20	209162,30	1464,34	5125,24	613,65
0,30	209130,10	1601,41	4801,37	513,14
0,40	210941,80	1481,23	5024,5	517,27
0,50	210577,60	1861,54	4730,76	600,23
0,60	209622,30	1536,42	4842,99	535,06
0,70	209567,80	1679,75	5203,67	715,20
0,80	207838,90	1498,57	4939,71	438,34
0,90	209446,20	1850,97	4834,79	706,15
1,00	210234,00	2039,91	3126,58	117,97

A melhor solução obtida foi com alfa = 0,8, com o custo da distância de 205805 metros. A heurística foi executada novamente, apenas com alfa = 0,8, com 200 iterações. Entretanto a solução não melhorou.

O resultado da abordagem exata se mostra melhor, visto que a primeira solução factível apontada pelo Gurobi de 168934 metros, e em 55 minutos e pelo CPLEX 164784 em 76 minutos, se mostram superiores à melhor solução encontrada pela abordagem aproximada. Vale ressaltar que os dois resolvedores são de uso comercial, sendo necessário adquirir suas licenças. O resolvedor CBC é de uso gratuito, porém não obteve nenhuma solução viável durante sua execução. Desse modo, a heurística pode ser usada como uma alternativa à impossibilidade de aquisição das licenças dos resolvedores comerciais.

Conclui-se então, que o tamanho da instância influenciou elevando tempo necessário para a obtenção de soluções viáveis. A escolha entre a abordagem exata ou heurística está condicionada à disponibilidade de tempo e de recursos. Além disso, é preciso analisar os benefícios envolvidos na escolha entre melhor desempenho e melhor qualidade.

5 Conclusões

Embora neste trabalho o esforço tenha sido para traçar um paralelo entre o problema de coleta de resíduos, e a otimização como uma opção para poupar recursos públicos, a aplicação vai muito além do que foi proposto. O Problema de Roteamento em Arcos Capacitados que é uma das bases deste trabalho, pode ser aplicado para roteamento em serviços como entrega de cartas, varredores de rua, que não utilizam veículos, ou para os que utilizam veículos em regiões nas quais todas as vias são de sentido duplo.

Para buscar soluções de boa qualidade em termos da distância percorrida pelos caminhões e com baixo tempo computacional, foram implementadas duas estratégias: modelagem matemática por meio de Programação Inteira, e por heurística construtiva baseada em *GRASP*.

A solução obtida pela modelagem matemática foi a melhor entre as duas abordagens, entretanto, não foi possível encontrar a solução ótima. Os testes com a aplicação dos resolvedores restringia a execução por um período de 3 dias, e depois deste tempo o gap ainda era de 8,94%. O alto tempo de execução deve-se ao tamanho da instância.

Na tentativa de obter uma solução em um tempo computacional melhor, a mesma instância foi subordinada ao algoritmo heurístico. O tempo de execução para geração de uma solução factível se mostrou menor, em média 237 segundos, dependendo do parâmetro alfa que foi definido. Entretanto, as soluções obtidas possuem qualidade inferior àquelas obtidas pela abordagem exata.

A partir dos resultados, conclui-se que para a obtenção de uma solução ótima do problema, antes é necessário tratar o problema do tamanho da instância. A abordagem heurística é capaz de encontrar uma solução factível, entretanto, devido às restrições do problema, os métodos para refinamento da rota obtida se mostram difíceis.

Como o tamanho da instância impactou significativamente na obtenção de bons resultados, a subdivisão da região em partes menores e a posterior resolução do problema de roteamento feito por partes, se mostra como uma alternativa de trabalhos futuros. Como neste trabalho todas as rotas foram consideradas de mão dupla, os resultados são aplicáveis apenas em regiões em que esta regra se aplica. Para uma abrangência maior da aplicação,

propõe-se também como trabalhos futuros a resolução do Problema do Carteiro Chinês Capacitado Misto.

Considerando também que a periodicidade do recolhimento de resíduos é um fator importante, propõe-se também como trabalhos futuros a abordagem do problema de roteamento que inclua restrições que tratem desta questão.

Referências

- AMPONSAH, S. K.; SALHI, S..The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries. **Waste Management**, 24, 711-721, janeiro,2004.
- BARAO, Fábio Roberto; KRIPKA, Moacir; KRIPKA, Rosana Maria Luvezute: **Determinação da rotaótima para a coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo – RS**, 2008.
- BAUTISTA, Joaquín; FERNÁNDEZ, Elena; PEREIRA, Jordi. Solving na urban waste collection problema using ants heuristics. **Computers & Operations Research**, v35, 3020-3033, 2008.
- BRASIL. Lei Federal nº. 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. [Diário Oficial da União]. Brasília, 3 ago. 2010.
- CARVALHO, L.E.X. **Desenvolvimento de solução integrada de sistemas de limpeza urbana em ambiente SIG**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes), Rio de Janeiro–RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,240 p. 2001.
- CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L.; STEIN, C. **Algoritmos**. Rio de Janeiro: Editora Campus, Segunda edição. 2002.
- CUNHA, Valeriana; Filho, José Vicente: **Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas**, 2002.
- DETOFENO, Thober Coradi; STEINER, Maria Teresinha Arns. **Otimização das Rotas de Coleta de Resíduos Urbanos utilizando Técnicas de Pesquisa Operacional**,2009.
- DROR, Moshe. **ARC ROUTING: Theory Solutions and Applications**. New York: Springer
- FEO, T. A, RESENDE, M.G.C. Greedy randomized adaptive search procedures. **Journal of Global Optimization**, 6: 109 – 133, 1995.
- GOLDEN B.L., WONG R.T.(1981) Capacited arc routing problems. **Networks**, 11: 305-315.
- GOLDEN, B. L.; MAGNANTI, T. L.;NGUYEN, H. Q. Implementing Vehicle Routing Algorithms. **American Newspaper Publishers' Association and Department of Transportation**, 113-145, 1977.

GRACIOLLI, Odacir Deonísio. **Otimização de Roteiros de Veículos Coletores de Resíduos de Serviço de Saúde**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia. Florianópolis, 1994.

GUAN, M. Graphic Programming Using Odd and Even Points, **Chinese Mathematics**, 1, 273 – 277, 1962

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo 2010.

JACINTO, Janine Pereira; ROSA, Rodrigo de Alvarenga; BANOS, Rafael Silva: **Heurística para solução do problema da coleta de resíduos sólidos domiciliares (RSD) com base no problema do carteiro chinês capacitado com múltiplas viagens(PCCC-MV)**,2014.

KONOWALENKO, Flávia. **Problema do Carteiro Chinês não-orientado e misto para a otimização de rotas na cidade de Irati/PR**. 2012 Dissertação – Departamento de Construção Civil e Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012

LAPORTE, Gilbert. The Vehicle Routing Problem: A overview of exact and approximate algorithms. **European Journal of Operational Research**, 59, 345-358, Maio, 1991

NUORTIO, Teemu; KYTÖJOKI, Jari; NISKA, Harri; BRÄYSY, Olli. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. **Expert System with Applications**, v30, 223-232, 2006.Science and Business Media, LCC. 2000.

OLIVEIRA, Jailson Domingos de. Estratégia relax-and-fix na solução de um problema de roteamento periódico em arcos capacitados. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, VI, Ponta Grossa/PR. ABREPRO: 2016.

PAES, Frederico Galaxe. **Otimização para a coleta do lixo doméstico: Um tratamento Grasp do Problema do Carteiro Chinês Misto (PCCM)**. Dissertação – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2004.

PRAMUDITA, A. **Capacitated Arc Routing Problems in Opening Access by Debris Collection Operation in Disasters**. 2013. Dissertação – Kyoto University, Kyoto, 2013.

SARUWATARI, Yasufumi; HIRABAYASHI, Ryuichi; NISHIDA, Naonori. Node Duplication Lower Bounds For The Capacitated Arc Routing Problem. **Journal of the Operations Research of Japan** v35, 2, 119-133, junho, 1992.

TEITZ, M. B.; BART, P.Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. **Operations Research**, v.16, p.955-961, 1968.

VIANNA, D. S; GOMES, R. C. B. P. Um Algoritmo Evolutivo para o Problema de Roteamento em Arcos Capacitados. **Sistemas & Gestão**, 2, 116-131, maio, 2006.

APÊNDICE A – Dados da Instância

Ponto	Longitude	Latitude	Ponto	Longitude	Latitude
1	-431593931	-198071154	51	-431658357	-198071356
2	-431621933	-198090837	52	-431661415	-198077463
3	-431623971	-198084478	53	-431652725	-198074586
4	-431626868	-198094976	54	-431651008	-198071406
5	-431628263	-198095581	55	-43165428	-198078775
6	-431640065	-198106483	56	-431716937	-198070043
7	-431650364	-198104565	57	-431711787	-198052328
8	-431648755	-198110217	58	-431707227	-19804718
9	-431650901	-198101941	59	-431716615	-198044051
10	-431645054	-198115063	60	-431717205	-198038751
11	-431651652	-198113599	61	-43171581	-198033604
12	-431653959	-198105978	62	-431703794	-198037187
13	-431658143	-198108703	63	-431697088	-198036783
14	-431659591	-198110571	64	-431689686	-198026285
15	-431662917	-198093007	65	-431688291	-198031231
16	-43166973	-198095329	66	-431693226	-198036632
17	-431659055	-198091392	67	-431695265	-198042234
18	-431660771	-198091443	68	-431698215	-198045868
19	-431661415	-198087809	69	-431690007	-198045111
20	-431678098	-198097903	70	-431691402	-198049199
21	-4317002	-198086497	71	-431693172	-198054094
22	-43171404	-198088516	72	-43168003	-198027446
23	-431714898	-198085033	73	-43167091	-198020077
24	-431723803	-198085538	74	-4316715	-198033099
25	-431714684	-198079582	75	-431666833	-198013011
26	-431716025	-198073223	76	-431671178	-198008014
27	-431719619	-198073829	77	-431660289	-197997465
28	-431727505	-198083519	78	-431678689	-198013414
29	-431708086	-198070649	79	-431685609	-198015989
30	-431705672	-198076403	80	-431681156	-198003471
31	-431696981	-198072668	81	-431668657	-198005743
32	-431694889	-198078018	82	-43170197	-198031231
33	-431693441	-198072062	83	-431707603	-198029515
34	-431690758	-198067419	84	-431713504	-198027749
35	-43169328	-19806005	85	-431698805	-198024064
36	-431686199	-198063785	86	-431707388	-198013717
37	-431684911	-198059293	87	-431698751	-198010033
38	-431687808	-198057224	88	-431693119	-198011698
39	-431681103	-198059596	89	-431700897	-198015736
40	-431681585	-198063987	90	-431694943	-198018411
41	-431674773	-198063836	91	-431686789	-198037893
42	-431670052	-198051571	92	-431726754	-198080541
43	-431667799	-198061867	93	-431740433	-198077513
44	-431654656	-198051672	94	-431751645	-198073425
45	-431665492	-198062523	95	-431751081	-198069614
46	-431662703	-198056114	96	-431727666	-198070775
47	-43166002	-198063987	97	-431721711	-198054953
48	-431659859	-198054347	98	-431721336	-198049502
49	-431655514	-198065804	99	-431720531	-198043698
50	-431658196	-198059596	100	-431720799	-198031887

Ponto	Longitude	Latitude
201	-4319291	-198125055
202	-431930494	-198131717
203	-431952274	-198134342
204	-431949592	-198140095
205	-431969011	-198143325
206	-431972551	-198150189
207	-431960964	-198151804
208	-431947231	-198145142
209	-431945515	-198137874
210	-431981564	-198159878
211	-431977165	-198161191
212	-431982958	-198162301
213	-431987143	-198161393
214	-43198446	-198187131
215	-432005167	-198162604
216	-432013857	-198158465
217	-432086813	-198173202
218	-432014501	-198191168
219	-432024372	-198197527
220	-432028234	-19819571
221	-432025659	-198189553
222	-432040572	-198204088
223	-432041752	-198198133
224	-432039928	-198190764
225	-432050121	-198206611
226	-432039821	-198211658
227	-432033277	-198206207
228	-432028449	-198211254
229	-432033169	-198215695
230	-432038963	-198220237
231	-432044113	-198216099
232	-43203392	-198224779
233	-432028985	-198219126
234	-43202405	-19821519
235	-432021153	-198203078
236	-432050979	-198251424
237	-431937146	-198137168
238	-431930494	-198137471
239	-431945622	-198155538
240	-431952488	-198155336
241	-431946266	-198158566
242	-431940901	-198159374
243	-431926739	-198137471
244	-431925666	-198141407
245	-431932211	-19815463
246	-431921697	-198144435
247	-431913114	-198172394
248	-431918585	-198173606
249	-431925559	-198178804
250	-431919229	-198178955

Ponto	Longitude	Latitude
251	-431925505	-198192632
252	-431933123	-198190815
253	-431939185	-198188847
254	-431946373	-198188544
255	-431945622	-198179359
256	-431939185	-198180065
257	-431919765	-198192177
258	-432007313	-198200454
259	-431991863	-198202473
260	-431995082	-198212465
261	-431949162	-198208327
262	-43195281	-198215493
263	-431945622	-198209235
264	-431923896	-198211102
265	-431946588	-198219328
266	-431950343	-198223668
267	-431935751	-198222154
268	-431923091	-19822488
269	-431927383	-198224274
270	-431938326	-19825637
271	-431959462	-19823901
272	-431941223	-198262829
273	-431955278	-198247791
274	-431966114	-198284327
275	-431969225	-198267573
276	-431985211	-19828251
277	-431979954	-198243047
278	-431966329	-198254351
279	-432003987	-198241836
280	-432042074	-19827595
281	-432014126	-19822276
282	-432008278	-19823144
283	-43199712	-198225485
284	-431915259	-198221549
285	-43190496	-198171991
286	-431895304	-198168155
287	-431900239	-198163108
288	-431896484	-19815362
289	-43189348	-198147564
290	-431887472	-19815029
291	-43188082	-19815251
292	-431885755	-198165531
293	-431877816	-198162503
294	-431866658	-198158163
295	-431874382	-198155437
296	-431863332	-19814706
297	-431868696	-198121926
298	-431857324	-198152712
299	-431876206	-198116476
300	-431867409	-198138581

Ponto	Longitude	Latitude
201	-4319291	-198125055
202	-431930494	-198131717
203	-431952274	-198134342
204	-431949592	-198140095
205	-431969011	-198143325
206	-431972551	-198150189
207	-431960964	-198151804
208	-431947231	-198145142
209	-431945515	-198137874
210	-431981564	-198159878
211	-431977165	-198161191
212	-431982958	-198162301
213	-431987143	-198161393
214	-43198446	-198187131
215	-432005167	-198162604
216	-432013857	-198158465
217	-432086813	-198173202
218	-432014501	-198191168
219	-432024372	-198197527
220	-432028234	-19819571
221	-432025659	-198189553
222	-432040572	-198204088
223	-432041752	-198198133
224	-432039928	-198190764
225	-432050121	-198206611
226	-432039821	-198211658
227	-432033277	-198206207
228	-432028449	-198211254
229	-432033169	-198215695
230	-432038963	-198220237
231	-432044113	-198216099
232	-43203392	-198224779
233	-432028985	-198219126
234	-43202405	-19821519
235	-432021153	-198203078
236	-432050979	-198251424
237	-431937146	-198137168
238	-431930494	-198137471
239	-431945622	-198155538
240	-431952488	-198155336
241	-431946266	-198158566
242	-431940901	-198159374
243	-431926739	-198137471
244	-431925666	-198141407
245	-431932211	-19815463
246	-431921697	-198144435
247	-431913114	-198172394
248	-431918585	-198173606
249	-431925559	-198178804
250	-431919229	-198178955

Ponto	Longitude	Latitude
251	-431925505	-198192632
252	-431933123	-198190815
253	-431939185	-198188847
254	-431946373	-198188544
255	-431945622	-198179359
256	-431939185	-198180065
257	-431919765	-198192177
258	-432007313	-198200454
259	-431991863	-198202473
260	-431995082	-198212465
261	-431949162	-198208327
262	-43195281	-198215493
263	-431945622	-198209235
264	-431923896	-198211102
265	-431946588	-198219328
266	-431950343	-198223668
267	-431935751	-198222154
268	-431923091	-19822488
269	-431927383	-198224274
270	-431938326	-19825637
271	-431959462	-19823901
272	-431941223	-198262829
273	-431955278	-198247791
274	-431966114	-198284327
275	-431969225	-198267573
276	-431985211	-19828251
277	-431979954	-198243047
278	-431966329	-198254351
279	-432003987	-198241836
280	-432042074	-19827595
281	-432014126	-19822276
282	-432008278	-19823144
283	-43199712	-198225485
284	-431915259	-198221549
285	-43190496	-198171991
286	-431895304	-198168155
287	-431900239	-198163108
288	-431896484	-19815362
289	-43189348	-198147564
290	-431887472	-19815029
291	-43188082	-19815251
292	-431885755	-198165531
293	-431877816	-198162503
294	-431866658	-198158163
295	-431874382	-198155437
296	-431863332	-19814706
297	-431868696	-198121926
298	-431857324	-198152712
299	-431876206	-198116476
300	-431867409	-198138581

Ponto	Longitude	Latitude
301	-431875026	-198138884
302	-431882322	-198138783
303	-43188951	-198138632
304	-431878245	-198129093
305	-431882966	-19812445
306	-4318717	-198131213
307	-431874812	-198125863
308	-431852818	-198139893
309	-431850886	-198134846
310	-431853676	-19812879
311	-43185668	-198123339
312	-431859684	-198117889
313	-431849384	-19811264
314	-431846649	-198117687
315	-431867838	-198106382
316	-431873122	-198118495
317	-431863761	-198111025
318	-431846112	-198095329
319	-431834149	-198089222
320	-431843805	-198100931
324	-431839728	-198108401
325	-431836939	-198112842
326	-431833506	-198118898
327	-431843162	-198123339
328	-431833291	-198128992
329	-431840587	-198129598
330	-431826639	-19812879
331	-43182621	-198118494
332	-431819558	-198118394
333	-431819344	-198126771
334	-431813121	-198117889
335	-431812477	-198121724
336	-431825781	-198136209
337	-431828624	-198139691
338	-431833291	-19813848
339	-431839085	-198136865
340	-431833398	-198133433
341	-431833613	-19814494
342	-431842303	-19815463
343	-431844878	-198141912
344	-431847238	-198140448
345	-431857324	-198138278
346	-431861722	-198178047
347	-431855178	-198172294
348	-431840587	-198156043
349	-431835866	-198160181
350	-431829536	-198153923
351	-431825781	-198148271
352	-431829965	-198144536
353	-431812906	-198134846

Ponto	Longitude	Latitude
354	-431814945	-198128084
355	-431810009	-198122532
356	-431842303	-19816755
357	-431833076	-198166944
358	-431840372	-198175422
359	-431824923	-198157961
360	-431821382	-198154933
361	-431810009	-198172394
362	-431817198	-198150088
363	-431812263	-198144738
364	-43180958	-198140903
365	-431804967	-198136562
366	-431807005	-198148372
367	-431801963	-198143527
368	-4317981	-198147262
369	-431796974	-198156447
370	-431786084	-198155235
371	-431794024	-198146858
372	-431783938	-19815251
373	-431780076	-198147111
374	-431790805	-198141811
375	-431797671	-198138783
376	-431801641	-198128891
377	-431805825	-198120816
379	-431799388	-198118393
380	-431796491	-198123037
381	-431794989	-198125358
382	-431797671	-198130607
383	-431787157	-198136158
384	-431783778	-198130607
385	-431780505	-198125156
386	-431792629	-198116476
387	-43177954	-198122027
388	-431777179	-198119605
389	-431776428	-198117384
390	-43177439	-19811476
391	-431760657	-198120715
392	-431762373	-198127983
393	-431763661	-198135048
394	-431770098	-198131818
395	-431772888	-19813636
396	-431777072	-198141508
397	-431767523	-19813959
398	-43177557	-198152813
399	-431769776	-19815029
400	-431762159	-198145949
401	-431754863	-198146454
402	-431748104	-198156245
403	-431754863	-198160484
404	-431761515	-198164017

Ponto	Longitude	Latitude
405	-431767416	-198166944
406	-431773424	-198170275
407	-431781793	-198155841
408	-431787157	-198158667
409	-431778896	-198173202
410	-431785011	-198176533
411	-431791556	-198165228
412	-431795633	-198171991
413	-431791127	-198179359
414	-431781149	-198195407
415	-431785226	-198189049
416	-431779325	-198186525
417	-431772995	-198184607
418	-431763768	-198185617
419	-431760657	-198179561
420	-431765163	-198170376
421	-431757224	-198166338
422	-431756151	-198172092
423	-431751108	-198173707
421	-431784582	-198198486
422	-431784797	-198200101
423	-431800085	-198234518
424	-431802016	-198235982
425	-431783509	-198258843
426	-431795472	-198248598
427	-431804645	-198243451
428	-431791878	-198257934
429	-431809312	-198246327
430	-431799281	-198256925
431	-431805503	-198256774
432	-431811029	-198259398
433	-431813067	-198248245
434	-431811565	-198251121
435	-43182385	-198256067
436	-431820899	-198258287
437	-431829321	-198261113
438	-431852067	-198269087
439	-43184858	-198276909
440	-431857002	-19827055
441	-431854641	-19828791
442	-43186065	-198272417
443	-43185963	-19827817
444	-431858611	-19828029
445	-431875348	-198277514
446	-431872934	-198283419
447	-43187272	-198287506
448	-431873095	-198291291
449	-431885701	-198280441
450	-431754434	-198140398
451	-431750679	-198132121

Ponto	Longitude	Latitude
452	-431753254	-198129396
453	-431756794	-198124652
454	-431760979	-19812344
455	-431751966	-198111933
456	-431743705	-198104868
457	-431739843	-198109713
458	-431747139	-198116476
459	-431752074	-198121018
460	-43174628	-198127175
461	-431743169	-198120513
462	-431736946	-198126771
463	-431737697	-198116879
464	-431732869	-198120917
465	-43172847	-198123037
466	-431731689	-198127175
467	-431724179	-198127983
468	-431729221	-198115466
469	-431717527	-198128588
470	-43171801	-198126216
471	-43171919	-198113801
472	-431724769	-198114003
473	-431720585	-198104666
474	-431726968	-198108148
475	-431716186	-198114962
476	-431714898	-198109915
477	-431714201	-198105372
478	-431709373	-198111479
479	-431709909	-198105827
480	-431702774	-198107543
481	-431691778	-198113397
482	-431697893	-198124349
483	-431711733	-198118242
484	-431710714	-198125409
485	-431700951	-198130052
486	-431710178	-198131919
487	-431703955	-198135149
488	-431707174	-198141003
489	-431716561	-198136764
490	-431699234	-198145293
491	-431693226	-198141003
492	-431690222	-198135401
493	-431687325	-1981299
494	-431683946	-198124298
495	-431692636	-19812667
496	-431689525	-198121674
497	-431694782	-198118949
498	-431686574	-198116072
499	-431680888	-198119201
500	-431677723	-198113195
501	-431669891	-198123895

Ponto	Longitude	Latitude
502	-431672949	-198129547
503	-431677669	-198133938
504	-431681263	-198134745
505	-431665922	-198128891
506	-431669784	-1981352
507	-431674933	-198145697
508	-431676757	-198150794
509	-431776321	-198205097
510	-43170256	-198150138
511	-431710339	-198146101
512	-431728846	-198130254
513	-431766772	-198194903
514	-431852925	-198105625
515	-431952971	-198188493
516	-431952596	-198178652
378	-431806898	-19811698
517	-431911182	-198294016
518	-431909895	-198300072
519	-431907964	-19830643
520	-431894124	-198294218
521	-431892836	-198300173
522	-431880069	-19829331
523	-431878674	-198299971
524	-431879854	-198306329
525	-431882	-198306228
526	-431888223	-19830532
527	-431896484	-19830643
528	-431906784	-198309861
529	-431924272	-198315614
530	-431898952	-198335496
531	-431904423	-19833156
532	-43191011	-198327624
533	-431915152	-198323285
534	-431921375	-198319348
535	-431916332	-198354773
536	-431921268	-19835114
537	-431926417	-1983468
538	-431931674	-198342258
539	-431937683	-19833802
540	-431943047	-198334386
541	-431948304	-198330248
542	-431954098	-198325707
543	-431959033	-198321468
544	-431964397	-198317532
545	-431945729	-19830209
546	-431914508	-198275546
547	-431905603	-198273629
548	-43190378	-198263536
549	-431904209	-19824769
550	-43189702	-19824123
551	-431896484	-198254856

Ponto	Longitude	Latitude
552	-431920302	-198368801
553	-431927061	-198367994
554	-431921053	-19836103
555	-431935537	-198366682
556	-431943905	-198366278
557	-431949377	-198361938
558	-431954419	-198357548
559	-431959731	-198353486
560	-431965041	-198349121
561	-431970566	-198345286
562	-431975448	-198340644
563	-431981027	-198336506
564	-431995833	-198352553
565	-431991971	-198359516
566	-431983817	-198360626
567	-431975126	-198361736
568	-431968153	-198362645
569	-431959999	-198364159
570	-432023621	-198372737
571	-431931782	-198310265
572	-431936932	-198306228
573	-431917083	-198314504
574	-431941545	-198374251
575	-431951201	-198377884
576	-431961286	-198377077
577	-431969762	-198375462
578	-431977916	-198374251
579	-431915474	-198372031
580	-431905603	-198387976
581	-431958389	-19839171
582	-431950021	-198391407
583	-431998622	-198412903
584	-431979203	-198408665
585	-4319924	-198409573
586	-432013965	-198422894
587	-431925237	-198306329
588	-431911182	-198367287
589	-43190378	-198360828
590	-431896698	-198360626
591	-431903994	-19835447
592	-431899273	-198349424
593	-431895304	-198344781
594	-431891763	-198355378
595	-431887364	-198350635
596	-431883287	-198345488
597	-431890476	-198340038
598	-431895733	-198367287
599	-43189863	-198341754
600	-431889617	-19833156
601	-431886399	-198334487
602	-431878889	-19834024

Origem	Destino	Custo	Demanda
1	2	367	87.101
2	5	86	20.411
2	3	80	18.987
4	5	487	115.581
5	6	228	54.112
6	10	110	26.107
6	7	110	26.107
7	9	39	9.256
7	8	58	13.765
10	11	72	17.088
11	14	98	23.259
11	12	88	20.885
12	13	53	12.579
12	15	168	39.872
13	16	186	44.144
13	14	25	5.933
14	20	241	57.197
15	16	76	18.037
15	18	33	7.832
16	20	90	21.36
17	18	20	4.747
18	19	49	11.629
20	21	266	63.131
21	22	150	35.6
21	30	163	38.685
22	23	34	8.069
22	24	110	26.107
23	25	65	15.427
23	24	93	22.072
24	28	47	11.155
25	26	75	17.8
25	30	105	24.92
26	27	41	9.731
26	56	40	9.493
26	29	91	21.597
27	92	99	23.496
27	56	48	11.392
28	93	158	37.499
28	92	36	8.544
29	30	69	16.376
29	56	98	23.259
29	31	166	39.397
30	31	100	23.733
31	33	41	9.731
31	32	63	14.952
33	34	160	37.973
34	35	111	26.344
34	36	65	15.427
36	40	52	12.341
36	37	54	12.816

Origem	Destino	Custo	Demanda
1	2	367	87.101
2	5	86	20.411
2	3	80	18.987
4	5	487	115.581
5	6	228	54.112
6	10	110	26.107
6	7	110	26.107
7	9	39	9.256
7	8	58	13.765
10	11	72	17.088
11	14	98	23.259
11	12	88	20.885
12	13	53	12.579
12	15	168	39.872
13	16	186	44.144
13	14	25	5.933
14	20	241	57.197
15	16	76	18.037
15	18	33	7.832
16	20	90	21.36
17	18	20	4.747
18	19	49	11.629
20	21	266	63.131
21	22	150	35.6
21	30	163	38.685
22	23	34	8.069
22	24	110	26.107
23	25	65	15.427
23	24	93	22.072
24	28	47	11.155
25	26	75	17.8
25	30	105	24.92
26	27	41	9.731
26	56	40	9.493
26	29	91	21.597
27	92	99	23.496
27	56	48	11.392
28	93	158	37.499
28	92	36	8.544
29	30	69	16.376
29	56	98	23.259
29	31	166	39.397
30	31	100	23.733
31	33	41	9.731
31	32	63	14.952
33	34	160	37.973
34	35	111	26.344
34	36	65	15.427
36	40	52	12.341
36	37	54	12.816

Origem	Destino	Custo	Demanda
37	38	39	9.256
37	39	42	9.968
39	40	61	14.477
39	42	155	36.787
40	41	78	18.512
41	42	143	33.939
41	43	82	19.461
42	44	187	44.381
43	45	29	6.883
45	46	80	18.987
45	47	62	14.715
45	51	151	35.837
47	50	53	12.579
47	49	49	11.629
48	50	73	17.325
49	51	78	18.512
49	50	286	67.877
51	52	78	18.512
51	53	68	16.139
53	54	44	10.443
54	55	45	10.68
56	57	200	47.467
57	59	102	24.208
57	58	77	18.275
58	60	170	40.347
58	62	113	26.819
59	99	46	10.917
59	60	58	13.765
60	61	60	14.24
61	62	128	30.379
61	100	55	13.053
61	84	70	16.613
62	82	71	16.851
62	63	77	18.275
63	66	42	9.968
63	64	166	39.397
64	66	141	33.464
64	65	71	16.851
64	79	126	29.904
66	91	73	17.325
66	67	68	16.139
67	68	60	14.24
67	69	67	15.901
68	70	84	19.936
68	71	224	53.163
69	70	45	10.68
69	91	90	21.36
70	71	58	13.765
71	72	408	96.832
72	73	120	28.48
72	75	230	54.587

Origem	Destino	Custo	Demanda
73	74	188	44.619
73	75	113	26.819
75	76	74	17.563
76	78	105	24.92
76	81	36	8.544
76	77	166	39.397
78	91	315	74.76
78	79	80	18.987
79	80	170	40.347
82	83	62	14.715
82	85	89	21.123
83	84	68	16.139
83	89	166	39.397
84	86	168	39.872
86	87	100	23.733
87	88	59	14.003
87	89	64	15.189
89	90	71	16.851
92	93	158	37.499
93	94	127	30.141
94	95	43	10.205
95	96	260	61.707
95	121	295	70.013
96	97	190	45.093
96	117	498	112.375
97	98	65	15.427
97	107	280	66.453
98	108	261	61.944
98	99	66	15.664
99	101	304	72.149
99	102	127	30.141
99	100	138	32.752
100	137	671	159.251
101	103	114	27.056
101	102	165	39.16
102	104	110	26.107
103	104	62	14.715
103	105	208	49.365
104	108	73	17.325
105	110	135	32.04
105	118	89	21.123
105	106	61	14.477
106	109	162	38.448
106	107	83	19.699
107	108	61	14.477
110	111	84	19.936
110	115	30	7.12
111	112	152	36.075
111	113	129	30.616
112	126	177	42.008
112	127	70	16.613

Origem	Destino	Custo	Demanda
112	113	70	16.613
113	114	73	17.325
113	125	173	41.059
114	116	69	16.376
114	122	49	11.629
114	124	177	42.008
115	116	63	14.952
115	118	79	18.749
116	117	120	28.48
117	118	55	13.053
119	122	62	14.715
119	121	93	22.072
119	120	99	23.496
122	123	174	41.296
123	147	73	17.325
123	146	176	41.771
123	124	70	16.613
124	144	135	32.04
124	125	77	18.275
125	143	117	27.768
125	126	69	16.376
126	142	105	24.92
126	130	208	49.365
127	129	127	30.141
127	128	72	17.088
128	130	194	46.043
128	131	200	47.467
129	130	70	16.613
130	131	67	15.901
131	132	30	7.12
132	142	269	63.843
132	133	190	45.093
133	135	320	75.947
133	134	196	46.517
135	137	60	14.24
135	136	59	14.003
137	139	185	43.907
137	138	293	69.539
139	140	83	19.699
139	141	175	41.533
142	143	71	16.851
143	144	85	20.173
144	145	46	10.917
147	149	35	8.307
147	148	170	40.347
149	151	40	9.493
149	150	92	21.835
151	152	105	24.92
152	153	82	19.461
153	154	60	14.24
153	155	46	10.917

Origem	Destino	Custo	Demanda
154	156	111	26.344
154	155	73	17.325
156	158	154	36.549
156	157	179	42.483
158	161	66	15.664
158	159	120	28.48
159	160	72	17.088
160	162	255	60.52
160	161	134	31.803
161	162	83	19.699
162	163	59	14.003
163	164	1002	237.808
164	179	156	37.024
164	201	187	44.381
164	165	81	19.224
165	178	141	33.464
165	166	76	18.037
166	174	33	7.832
166	167	151	35.837
167	168	175	41.533
167	173	221	52.451
168	173	44	10.443
168	169	46	10.917
169	172	133	31.565
169	170	86	20.411
170	172	180	42.72
170	171	141	33.464
172	173	212	50.315
174	175	73	17.325
175	177	38	9.019
175	176	97	23.021
177	180	93	22.072
177	178	66	15.664
178	179	47	11.155
179	201	47	11.155
180	200	50	11.867
180	181	66	15.664
181	182	63	14.952
181	191	164	38.923
181	197	70	16.613
182	190	83	19.699
182	183	105	24.92
183	184	65	15.427
184	185	78	18.512
184	190	76	18.037
185	188	79	18.749
185	189	90	21.36
186	188	86	20.411
187	192	116	27.531
187	188	123	29.192
187	189	186	44.144

Origem	Destino	Custo	Demanda
112	113	70	16.613
113	114	73	17.325
113	125	173	41.059
114	116	69	16.376
114	122	49	11.629
114	124	177	42.008
115	116	63	14.952
115	118	79	18.749
116	117	120	28.48
117	118	55	13.053
119	122	62	14.715
119	121	93	22.072
119	120	99	23.496
122	123	174	41.296
123	147	73	17.325
123	146	176	41.771
123	124	70	16.613
124	144	135	32.04
124	125	77	18.275
125	143	117	27.768
125	126	69	16.376
126	142	105	24.92
126	130	208	49.365
127	129	127	30.141
127	128	72	17.088
128	130	194	46.043
128	131	200	47.467
129	130	70	16.613
130	131	67	15.901
131	132	30	7.12
132	142	269	63.843
132	133	190	45.093
133	135	320	75.947
133	134	196	46.517
135	137	60	14.24
135	136	59	14.003
137	139	185	43.907
137	138	293	69.539
139	140	83	19.699
139	141	175	41.533
142	143	71	16.851
143	144	85	20.173
144	145	46	10.917
147	149	35	8.307
147	148	170	40.347
149	151	40	9.493
149	150	92	21.835
151	152	105	24.92
152	153	82	19.461
153	154	60	14.24
153	155	46	10.917

Origem	Destino	Custo	Demanda
189	190	81	19.224
189	196	66	15.664
192	193	127	30.141
193	210	250	59.333
193	194	94	22.309
193	215	350	83.067
194	195	132	31.328
194	205	218	51.739
195	196	58	13.765
195	203	194	46.043
195	205	75	17.8
196	197	210	49.84
197	198	70	16.613
198	203	38	9.019
198	199	70	16.613
199	200	93	22.072
199	202	123	29.192
200	201	194	46.043
201	202	70	16.613
202	243	78	18.512
203	204	64	15.189
204	205	210	49.84
204	208	63	14.952
204	209	56	13.291
205	206	104	24.683
207	208	187	44.381
208	209	118	28.005
209	237	92	21.835
210	211	54	12.816
210	212	44	10.443
212	213	45	10.68
212	214	290	68.827
215	218	375	89
215	216	107	25.395
218	219	134	31.803
218	258	149	35.363
219	227	135	32.04
219	235	75	17.8
219	220	47	11.155
220	222	173	41.059
220	221	71	16.851
222	231	197	46.755
222	226	90	21.36
222	223	69	16.376
223	224	90	21.36
223	225	131	31.091
224	525	21	4.984
226	231	66	15.664
226	227	93	22.072
227	228	68	16.139
228	229	70	16.613

Origem	Destino	Custo	Demanda
228	235	117	27.768
228	234	60	14.24
229	230	81	19.224
229	233	61	14.477
230	232	69	16.376
230	231	69	16.376
232	236	364	86.389
232	233	78	18.512
232	281	227	53.875
233	234	70	16.613
234	235	163	38.685
237	238	70	16.613
237	239	216	51.264
238	243	36	8.544
238	242	264	62.656
239	240	75	17.8
239	241	35	8.307
243	244	41	9.731
244	246	52	12.341
244	245	196	46.517
246	303	396	93.984
246	247	433	102.765
246	285	385	91.373
247	248	64	15.189
247	285	87	20.648
248	250	58	13.765
248	249	134	31.803
249	250	69	16.376
249	251	149	35.363
250	257	144	34.176
251	257	60	14.24
251	252	85	20.173
251	264	210	49.84
252	253	71	16.851
252	256	173	41.059
253	256	100	23.733
253	254	79	18.749
254	256	108	25.632
254	515	78	18.512
255	256	72	17.088
255	516	76	18.037
257	284	350	83.067
258	281	268	63.605
258	259	185	43.907
258	573	105	24.92
259	260	154	36.549
259	261	457	108.461
261	263	36	8.544
261	262	99	23.496
263	264	236	56.011
263	265	115	27.293

Origem	Destino	Custo	Demanda
264	268	155	36.787
265	267	115	27.293
265	266	55	13.053
266	268	356	84.491
266	270	500	118.667
268	269	46	10.917
270	271	327	77.608
270	272	71	16.851
272	273	229	54.349
272	274	386	91.611
274	275	200	47.467
274	276	233	55.299
276	277	571	135.517
276	545	793	188.205
277	278	250	59.333
277	279	276	65.504
279	280	552	131.008
279	282	136	32.277
281	282	136	32.277
282	283	137	32.515
285	286	110	26.107
286	287	80	18.987
286	292	109	25.869
286	290	222	52.688
287	288	117	27.768
288	289	105	24.92
289	290	72	17.088
289	303	108	25.632
290	291	84	19.936
290	302	142	33.701
291	296	78	18.512
291	295	77	18.275
291	301	165	39.16
291	292	154	36.549
292	293	93	22.072
293	294	131	31.091
293	295	87	20.648
294	295	86	20.411
294	298	115	27.293
294	296	146	34.651
295	300	205	48.653
296	300	105	24.92
296	298	91	21.597
297	316	61	14.477
297	312	111	26.344
297	307	81	19.224
298	308	260	61.707
299	305	118	28.005
299	316	40	9.493
299	315	151	35.837
300	301	80	18.987

Origem	Destino	Custo	Demanda
300	306	95	22.547
300	310	200	47.467
300	345	105	24.92
301	302	81	19.224
302	303	75	17.8
302	304	119	28.243
303	305	174	41.296
304	307	55	13.053
304	305	72	17.088
306	307	65	15.427
306	311	181	42.957
306	307	65	15.427
308	345	55	13.053
308	344	58	13.765
309	345	86	20.411
309	310	76	18.037
309	329	122	28.955
310	311	70	16.613
310	327	127	30.141
311	312	65	15.427
311	314	105	24.92
312	313	124	29.429
312	317	86	20.411
313	314	61	14.477
313	324	115	27.293
313	317	203	48.179
313	320	191	45.331
313	514	83	19.699
314	327	73	17.325
314	325	127	30.141
315	317	70	16.613
315	318	249	59.096
316	317	129	30.616
317	514	120	28.48
318	320	73	17.325
318	319	156	37.024
320	514	104	24.683
320	324	92	21.835
324	325	55	13.053
325	326	74	17.563
326	328	114	27.056
326	331	80	18.987
326	327	114	27.056
327	329	72	17.088
328	329	79	18.749
328	330	72	17.088
328	340	52	12.341
330	336	78	18.512
330	331	114	27.056
331	332	74	17.088
332	334	64	15.189

Origem	Destino	Custo	Demanda
332	333	103	24.445
334	335	44	10.443
335	355	36	8.544
335	336	210	49.84
335	338	86	20.411
336	337	55	13.053
336	335	214	50.789
337	338	45	10.68
337	341	84	19.936
338	339	67	15.901
338	340	60	14.24
339	344	97	23.021
339	340	74	17.563
341	342	140	33.227
341	343	123	29.192
342	346	331	78.557
342	348	73	17.325
342	343	141	33.464
343	344	33	7.832
346	347	96	22.784
347	348	238	56.485
347	356	217	51.501
348	349	67	15.901
348	352	168	39.872
349	356	108	25.632
349	350	94	22.309
350	359	63	14.952
350	351	77	18.275
351	353	206	48.891
351	352	56	13.291
352	354	244	57.909
353	364	73	17.325
353	354	73	17.325
354	355	83	19.699
355	368	304	72.149
355	365	166	39.397
355	357	51	12.104
355	377	52	12.341
356	357	101	23.971
357	358	129	30.616
357	359	130	30.853
359	360	54	12.816
360	361	538	127.685
360	362	70	16.613
362	363	84	19.936
362	369	370	87.813
363	366	66	15.664
363	364	57	13.528
364	365	72	17.088
365	367	86	20.411
366	367	65	15.427

Origem	Destino	Custo	Demanda
366	369	144	34.176
367	369	150	35.6
368	371	44	10.443
368	369	109	25.869
369	370	119	28.243
370	408	48	11.392
370	372	36	8.544
371	372	114	27.056
371	374	67	15.901
371	375	97	23.021
372	373	75	17.8
372	407	50	11.867
373	396	71	16.851
373	374	119	28.243
374	383	71	16.851
374	375	82	19.461
375	376	120	28.48
376	377	100	23.733
376	382	41	9.731
377	379	77	18.275
377	378	40	9.493
379	380	65	15.427
380	381	30	7.12
380	386	87	20.648
381	384	133	31.565
381	382	68	16.139
382	383	130	30.853
383	396	123	29.192
383	384	82	19.461
384	395	130	30.853
384	385	71	16.851
385	394	134	31.803
385	387	36	8.544
386	387	149	35.363
387	388	38	9.019
388	392	185	43.907
388	389	28	6.645
389	390	35	8.307
390	391	159	37.736
391	454	35	8.307
391	455	128	30.379
392	393	70	16.613
392	454	51	12.104
393	397	70	16.613
393	394	64	15.189
393	452	148	35.125
394	395	63	14.952
395	397	67	15.901
395	396	75	17.8
397	398	173	41.059
397	400	92	21.835

Origem	Destino	Custo	Demanda
398	399	72	17.088
398	407	66	15.664
398	405	180	42.72
399	400	89	21.123
399	404	177	42.008
400	401	72	17.088
400	404	196	46.517
401	403	146	34.651
401	402	191	45.331
401	450	72	17.088
403	404	83	19.699
403	422	303	71.912
404	405	74	17.563
405	406	72	17.088
405	420	36	8.544
406	409	74	17.563
406	418	202	47.941
406	407	185	43.907
407	408	68	16.139
408	409	185	43.907
408	411	87	20.648
409	410	69	16.376
409	417	146	34.651
410	411	152	36.075
410	413	74	17.563
410	416	126	29.904
411	412	78	18.512
412	421	345	81.88
413	412	97	23.021
413	415	128	30.379
414	415	80	18.987
415	416	69	16.376
416	417	74	17.563
416	513	223	52.925
417	418	94	22.309
417	513	123	29.192
418	419	80	18.987
418	513	111	26.344
419	420	110	26.107
419	422	105	24.92
420	421	100	23.733
421	422	15	3.56
421	509	135	32.04
422	423	468	111.072
423	424	28	6.645
423	425	327	77.608
424	426	161	38.211
424	427	95	22.547
427	428	223	52.925
427	429	55	13.053
429	431	131	31.091

Origem	Destino	Custo	Demanda
429	433	48	11.392
430	431	96	22.784
431	432	66	15.664
433	434	34	8.069
433	435	134	31.803
435	436	66	15.664
435	437	82	19.461
437	439	269	63.843
437	438	264	62.656
438	439	97	23.021
438	440	57	13.528
440	441	230	54.587
440	442	38	9.019
442	443	67	15.901
442	445	169	40.109
443	444	22	5.221
443	446	63	14.952
445	449	114	27.056
445	446	69	16.376
446	447	51	12.104
446	522	105	24.92
447	448	50	11.867
448	517	294	69.776
448	522	143	33.939
448	517	294	69.776
448	522	143	33.939
450	451	106	25.157
450	512	302	71.675
451	452	36	8.544
451	462	161	38.211
452	453	65	15.427
453	454	53	12.579
453	459	64	15.189
455	458	70	16.613
455	456	120	28.48
456	457	63	14.952
457	463	107	25.395
458	459	70	16.613
458	461	63	14.952
459	460	90	21.36
461	463	72	17.088
461	462	93	22.072
462	464	70	16.613
463	464	65	15.427
464	465	45	10.68
464	468	78	18.512
465	466	60	14.24
465	467	72	17.088
467	469	78	18.512
467	512	55	13.053
468	470	165	39.16

Origem	Destino	Custo	Demanda
468	474	84	19.936
469	470	26	6.171
469	486	95	22.547
469	489	85	20.173
470	471	142	33.701
471	472	60	14.24
471	475	35	8.307
471	473	105	24.92
473	474	75	17.8
473	477	63	14.952
475	483	55	13.053
475	476	60	14.24
476	478	59	14.003
476	477	55	13.053
477	479	46	10.917
479	480	78	18.512
480	481	131	31.091
481	497	69	16.376
481	498	64	15.189
482	495	65	15.427
482	483	159	37.736
482	485	67	15.901
483	484	78	18.512
484	485	118	28.005
484	486	69	16.376
485	487	65	15.427
485	492	129	30.616
486	487	79	18.749
487	488	76	18.037
487	491	130	30.853
488	489	103	24.445
488	490	94	22.309
488	511	62	14.715
489	511	141	33.464
490	491	87	20.648
490	510	64	15.189
490	508	262	62.181
491	492	75	17.8
491	507	208	49.365
492	506	223	51.264
492	493	70	16.613
493	494	80	18.987
493	495	67	15.901
493	503	115	27.293
494	496	72	17.088
494	502	128	30.379
494	499	70	16.613
495	496	69	16.376
496	497	66	15.664
497	482	67	15.901
499	501	121	28.717

Origem	Destino	Custo	Demanda
499	500	83	19.699
500	501	181	42.957
501	502	71	16.851
502	503	75	17.8
502	505	70	16.613
503	504	39	9.256
505	506	68	16.139
505	507	292	69.301
506	507	124	29.429
507	508	62	14.715
510	511	96	22.784
511	512	265	62.893
515	516	112	26.581
517	518	69	16.376
517	586	282	66.928
517	518	69	16.376
517	586	282	66.928
517	587	287	68.115
518	519	70	16.613
518	587	165	39.16
518	520	181	42.957
518	519	70	16.613
518	587	165	39.16
518	520	181	42.957
519	528	40	9.493
519	521	177	42.008
519	587	210	49.84
519	528	40	9.493
519	521	177	42.008
519	587	210	49.84
520	521	60	14.24
520	522	148	35.125
520	521	60	14.24
520	522	148	35.125
521	523	130	30.853
522	523	74	17.563
523	524	74	17.563
524	600	297	70.488
524	525	21	4.984
524	600	297	70.488
524	525	20	4.747
525	526	66	15.664
525	530	369	87.576
525	526	66	15.664
525	530	369	87.576
526	527	88	20.885
526	531	337	79.981
526	527	88	20.885
526	531	337	79.981
527	528	114	27.056
527	532	270	64.08

Origem	Destino	Custo	Demanda
527	528	114	27.056
527	532	270	64.08
528	533	170	40.347
529	540	280	66.453
529	573	76	18.037
529	534	55	13.053
529	533	70	16.613
529	540	280	66.453
529	573	76	18.037
529	534	55	13.053
529	533	70	16.613
529	571	68	16.139
530	535	270	64.08
530	599	119	28.243
530	535	270	64.08
530	599	119	28.243
530	531	70	16.613
531	536	270	64.08
531	532	70	16.613
532	537	280	66.453
532	533	70	16.613
533	538	280	66.453
533	534	70	16.613
534	539	287	68.115
534	573	70	16.613
535	536	65	15.427
535	554	80	18.987
535	536	65	15.427
535	554	80	18.987
536	537	70	16.613
536	555	220	52.213
536	537	70	16.613
536	555	220	52.213
537	556	270	64.08
537	538	70	16.613
537	556	270	64.08
537	538	70	16.613
538	539	70	16.613
538	557	280	66.453
538	539	70	16.613
538	557	280	66.453
539	540	70	16.613
539	558	70	16.613
539	540	70	16.613
539	558	70	16.613
540	559	270	64.08
540	541	70	16.613
540	559	270	64.08
540	541	70	16.613
541	542	80	18.987
541	560	270	64.08

Origem	Destino	Custo	Demanda
541	571	280	66.453
541	542	80	18.987
541	560	270	64.08
541	571	280	66.453
542	543	70	16.613
542	561	270	64.08
542	572	280	66.453
542	543	70	16.613
542	561	270	64.08
542	572	280	66.453
543	544	69	16.376
543	562	270	64.08
543	572	282	66.928
543	544	69	16.376
543	562	270	64.08
543	572	282	66.928
544	545	289	68.589
544	563	270	64.08
544	545	289	68.589
544	563	270	64.08
545	546	443	105.139
546	547	96	22.784
547	548	109	25.869
547	551	270	64.08
547	548	109	25.869
547	551	270	64.08
548	549	175	41.533
548	551	105	24.92
549	550	142	33.701
550	551	169	40.109
552	553	80	18.987
552	579	70	16.613
552	554	82	19.461
552	553	80	18.987
552	579	70	16.613
552	554	82	19.461
553	555	80	18.987
553	554	90	21.36
553	555	80	18.987
553	554	90	21.36
555	574	100	23.733
555	556	80	18.987
555	574	100	23.733
555	556	80	18.987
556	575	191	45.331
556	557	75	1.78
556	575	191	45.331
556	557	75	1.78
557	569	133	31.565
557	558	80	18.987
557	569	133	31.565

Origem	Destino	Custo	Demanda
557	558	80	18.987
557	576	210	49.84
558	559	74	17.563
558	569	90	21.36
558	559	74	17.563
558	569	90	21.36
559	560	70	16.613
559	568	105	24.92
560	561	70	16.613
560	567	170	40.347
561	566	210	49.84
561	562	70	16.613
562	563	70	16.613
562	565	266	63.131
562	563	70	16.613
562	565	266	63.131
563	564	230	54.587
564	565	80	18.987
565	566	80	18.987
565	570	345	81.88
565	566	80	18.987
565	570	345	81.88
566	567	90	21.36
567	568	75	1.78
567	578	210	49.84
568	578	162	38.448
568	569	70	16.613
569	577	160	37.973
571	572	70	16.613
574	575	111	26.344
574	579	315	74.76
575	576	100	23.733
576	577	80	18.987
577	578	80	18.987
579	580	200	47.467
579	588	69	16.376
579	599	396	93.984
579	580	200	47.467
579	588	69	16.376
579	599	396	93.984
580	582	503	119.379
581	582	90	21.36
581	584	287	68.115
581	582	90	21.36
581	584	287	68.115
583	585	45	10.68
583	586	192	45.568
583	585	45	10.68
583	586	192	45.568
584	585	130	30.853
588	589	108	25.632

Origem	Destino	Custo	Demanda
588	591	166	39.397
588	589	108	25.632
588	591	166	39.397
589	590	74	17.563
589	598	155	36.787
589	590	74	17.563
589	598	155	36.787
590	598	68	16.139
590	591	96	22.784
590	594	73	17.325
590	598	68	16.139
590	591	96	22.784
590	594	73	17.325
590	598	70	16.613
591	592	72	17.088
592	594	105	24.92
592	593	72	17.088
592	594	105	24.92
592	593	72	17.088
593	595	105	24.92
593	599	41	9.731
593	597	78	18.512
593	595	105	24.92
593	599	41	9.731
593	597	78	18.512
594	595	72	17.088
595	596	72	17.088
596	597	105	24.92
596	602	80	18.987
596	597	105	24.92
596	602	80	18.987
597	601	72	17.088
599	600	146	34.651
600	601	45	10.68
601	602	105	24.92