OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO EM JOINVILLE-SC

Thober Coradi Detofeno
Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia; CP: 19081-CEP: 81531-990, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba, PR
e-mail: thober@gmail.com

Maria Teresinha Arns Steiner
Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia Coordenação de Engenharia de Produção
CP: 19081-CEP: 81531-990, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba, PR
e-mail: tere@ufpr.br

RESUMO

O trabalho apresenta uma metodologia para a obtenção de uma solução otimizada do problema de geração de rotas na coleta de resíduos urbanos. Este problema se caracteriza como sendo de cobertura de arcos e, para o seu desenvolvimento, foi utilizada uma combinação de técnicas da área de Pesquisa Operacional. Entre elas, está a utilização da heurística de Teitz e Bart para a obtenção das *p*-medianas necessárias para o problema. A partir da definição das *p*-medianas determina-se os grupos (*clusters*) de pontos a serem designados a cada mediana através do algoritmo de Gillett e Jonhson adaptado. Já o algoritmo do carteiro chinês foi utilizado para se obter, a partir da definição dos grupos, o roteamento em cada um dos grupos de atendimento. São apresentados os resultados obtidos de um estudo de caso da cidade de Joinville-SC, utilizando dados reais.

PALAVRAS-CHAVE. Otimização de Rota; Coleta de Resíduos Sólidos; Problema do Carteiro Chinês. (AL - Aplicações a Logística e Transportes)

ABSTRACT

This paper presents a methodology to get an optimized solution to the problem of generating routes in the collection of waste. This problem is characterized as coverage of arcs and for its development, a combination of techniques from the Operational Research area was used. Among them, there is the use of Teitz and Bart heuristic to get the *p*-medians for the problem. From the definition of *p*-medians, it is possible to determine the clusters of points to be assigned to each median through the adapted Gillett and Johnson algorithm. The Chinese Postman algorithm was used to get, from the definition of clusters, the routing in each cluster of the study area. This paper shows the results obtained from a case study of the city of Joinville-SC, using real data.

KEYWORDS. Route optimization; Solid waste collection; Chinese Postman Problem. (AL - Applications to Logistics and Transportation)

1. Introdução

A preocupação por parte do poder público está intimamente vinculada à aceitação da administração municipal por parte da população. Os serviços de limpeza absorvem entre 7% e 15% dos recursos de um orçamento municipal, dos quais 50% são destinados exclusivamente à coleta e ao transporte de resíduos. Certamente, a sua otimização leva a uma economia significativa dos recursos públicos (Carvalho, 2001).

Conforme mostrado na Figura 1, há uma grande tendência de aumento da geração de lixo domiciliar per capita em proporção direta com o número de habitantes. Nas cidades com até 200.000 habitantes, pode-se estimar a quantidade coletada, variando entre 450 e 780 gramas por habitante/dia; acima de 200.000 habitantes, esta quantidade aumenta para a faixa entre 800 e 1.290 gramas por habitante/dia.

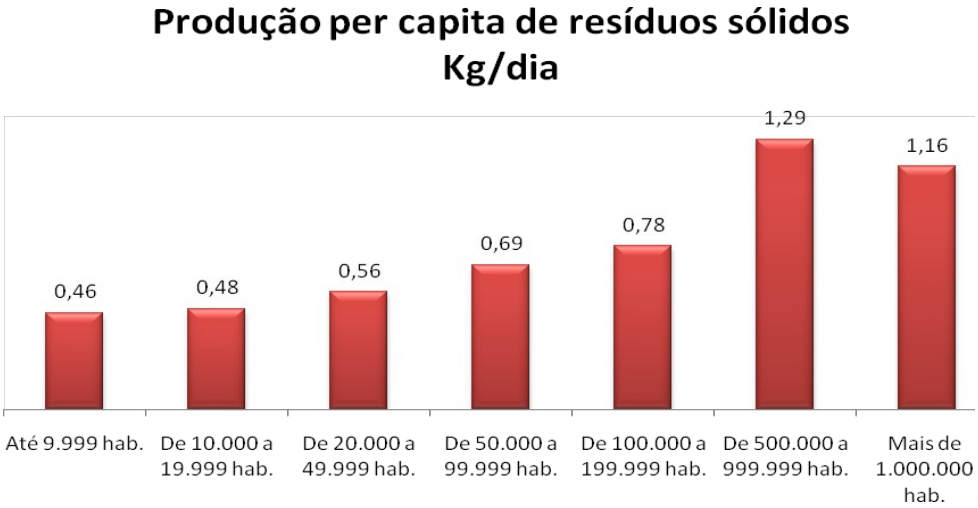


Figura 1- Produção per capita de resíduos sólidos Kg/dia (IBGE,2000)

Com o crescimento da população e o conseqüente acréscimo do consumo de bens de alimentação per capita e, de acordo com o Censo de Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), 81% da população brasileira concentra-se em áreas urbanas, ocasionando um crescente aumento do volume de resíduos produzido mostrando, assim, a importância do gerenciamento de resíduos em áreas urbanas.

De uma forma geral, em um município existem três tipos principais de coletas utilizadas para a captação de resíduos: a dos resíduos urbanos, a dos resíduos hospitalares e a coleta seletiva. A coleta de resíduos urbanos consiste no recolhimento e transporte do lixo doméstico e urbano produzido em residências, condomínios, instituições públicas, estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços.

O presente trabalho se atém à coleta de resíduos sólidos para a cidade de Joinville, SC, e, para isso, a metodologia utilizada neste trabalho consistiu basicamente das seguintes etapas: 1) estudo exploratório, onde o problema foi caracterizado e estruturado; 2) desenvolvimento da solução, através da identificação de algoritmos matemáticos capazes de resolver o problema; 3) desenvolvimento computacional da solução, utilizando-se de diversas tecnologias para o cadastramento dos pontos, cálculo das distâncias e, também, dos algoritmos matemáticos; 4) validação da solução, por intermédio de testes para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com a realidade observada.

Na 1ª. etapa, estudo e estruturação do problema, foram realizadas entrevistas com os responsáveis pela coleta de resíduos de Joinville, SC e, também, pesquisa bibliográfica dos

estudos realizados sobre técnicas da área de Pesquisa Operacional aplicadas a problemas semelhantes.

A 2ª. etapa consistiu na identificação dos algoritmos matemáticos capazes de apresentar uma solução para o problema de roteamento da coleta de resíduos em Joinville: algoritmos de Teitz e Bart; Gillett e Johnson e do Carteiro Chinês.

A 3ª. etapa do desenvolvimento computacional, ficou dividida em três fases:

Na 1ª. fase foram definidos os grupos de pontos para a coleta, utilizando-se a heurística de Teitz e Bart, onde ficaram definidas 5-medianas, cada uma das quais correspondendo a um caminhão de coleta de lixo. Nesta fase, os resultados do algoritmo foram comparados através de duas formas para se obter as distâncias entre os pontos geográficos, conforme apresentado na seção 2 deste trabalho. Além disso, utilizou-se o algoritmo de Teitz e Bart com uma pequena modificação de tal forma a se obter um menor tempo de processamento.

Na 2ª. fase ficaram definidos os 5 grupos de atendimento, constituídos de trechos de ruas, para cada caminhão. Isso foi obtido através do algoritmo de designação de Gillett e Johnson. No método proposto por Gillett e Johnson (GOLDEN *et al.*, 1977; BODIN e GOLDEN, 1983), os pontos de parada são designados aos depósitos (medianas; caminhões) de acordo com o algoritmo, considerando a restrição de capacidade.

Já na 3ª. fase, o roteamento dentro de cada um destes grupos, caracterizado como um problema de cobertura de arcos, foi resolvido utilizando o Algoritmo do Carteiro Chinês. Nesta 3ª. fase obtém-se, de forma rápida e eficiente, a rota otimizada que será percorrida pelo caminhão, com a menor distância total, para cada um dos 5 grupos (áreas), da região estudada.

Na 4ª. etapa, de validação da solução, foi definida uma área do município de Joinville conforme mostrado na Figura 2, localizado no norte do estado de Santa de Catarina, que compreende de aproximadamente 9 km² e uma população de 35.000 habitantes. Esta região é urbana, predominando casas e condomínios residenciais, que caracteriza homogeneidade para a definição dos 5-grupos de coletas. Na área escolhida ficaram definidos 2.128 pontos geográficos cadastrados no *Google Earth* (programa desenvolvido pelo *Google*, onde é possível obter as coordenadas geográficas). Tal região ficou definida como protótipo para o estudo, podendo ser estendida para toda a cidade.

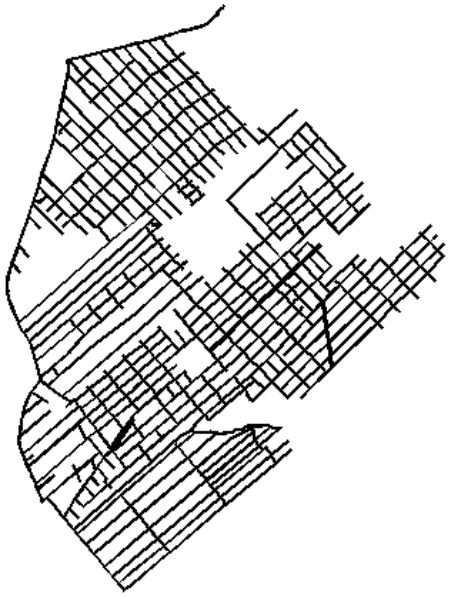


Figura 2- Mapa da região analisada da cidade de Joinville, SC

2. Algoritmos Matemáticos utilizados para o Desenvolvimento do Trabalho

2.1 Algoritmo de Teitz e Bart

Para a determinação das áreas de coleta de lixo a serem percorridas por cada um dos caminhões, na área analisada, utilizou-se, inicialmente, o algoritmo das *p*-medianas de Teitz e Bart (TEITZ e BART, 1968) para a determinação das 5 medianas. Esta heurística é baseada na substituição de vértices e o seu objetivo é, a partir de uma solução inicial, melhorar o valor da função objetivo a cada iteração.

Esta heurística é fácil de ser implementada e produz boas soluções, mas foi necessário modificações no algoritmo de Teitz e Bart para o problema das 5-medianas com o objetivo de diminuir o tempo de processamento sem alterar o resultado final.

O procedimento básico do algoritmo das *p*-medianas de Teitz e Bart é descrito a seguir.

Passo 0 - Selecione, aleatoriamente, um conjunto $V_p \subset V$, com $|V_p| = p$ para formar uma solução inicial para o problema.

Passo 1 - Rotule todos os vértices $v_i \in \{V - V_p\}$ como "não analisados".

Passo 2 - Enquanto existirem vértices não analisados em $\{V - V_p\}$ faça o seguinte:

Selecione um vértice não analisado $v_i \in \{V - V_p\}$, e calcule a redução Δ_{ij} do número de transmissão, para todos os vértices v_j pertencentes a V_p, ou seja:
$\Delta_{ij} = \sigma(V_p) - \sigma(V \cup \{v_i\} - \{v_j\}), \forall\, v_j \in V_p$

Faça $\Delta_{ij_máximo}$ = máximo$\lfloor \Delta_{ij} \rfloor$, para todo Δ_{ij} calculado anteriormente.

Se $\Delta_{ij_máximo} > 0$ então:

Faça $V_p = (V_p \cup \{v_i\} - \{v_j\})$ e insira v_j em $\{V - V_p\}$

Rotule v_j como "analisado".

Caso contrário continue.

Passo 3 – Se durante a execução do Passo 2, houver alguma modificação no conjunto V_p, então:

Volte ao Passo 2 e continue a execução do algoritmo.

Caso contrário, PARE e apresente o conjunto V_p como uma solução aproximada para o problema das *p*-medianas.

O algoritmo de Teitz e Bart encontra a solução através do método exaustivo que, quando aplicado a problemas de maior porte, provoca uma explosão combinatorial.

Por este motivo para resolver o problema das 5-medianas na região de analisada de Joinville, foi feita uma alteração no Passo 2, que consiste em testar inicialmente a distância entre cada um dos vértices v_j pertencentes a V_p com os vértices $v_i \in \{V - V_p\}$. Caso os vértices da nova formação $V \cup \{v_i\} - \{v_j\}$ estejam muito próximos, conclui-se que o algoritmo está realizando uma combinação de *p*-medianas desnecessária.

Incluindo um parâmetro que determine uma distância mínima entre as *p*-medianas, diminui-se o número de combinações para o cálculo do Δ_{ij} e, desta forma, o algoritmo de Teitz e Bart

não gera tal explosão combinatorial. Esta é uma modificação bastante importante ao tratar-se com problemas maiores, ou seja, com um número grande de pontos.

Para a definição dos pontos geográficos utilizaram-se duas formas para gerar a matriz de distâncias.

A primeira forma, a mais utilizada entre os trabalhos pesquisados, foi gerar a matriz de distâncias entre os pontos geográficos utilizando o cálculo da distância euclidiana ($d_e(x, y) = \|x - y\|$). O principal ponto negativo na utilização deste cálculo, para o problema de roteamento da coleta de resíduos, é que as distâncias entre os pontos não consideram o trajeto (sentido das vias) executado pelo caminhão influenciando, portanto, no resultado das *p*-medianas.

A segunda forma utilizada, para a definição das distâncias entre os pontos, foi utilizar o cálculo do menor trajeto entre as ruas. Esta forma simula a menor distância entre dois pontos, considerando os sentidos das ruas. Para obter estes valores, foi desenvolvido um programa computacional utilizando a *API* (*Application Programming Interface* - é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um *software* para a utilização das suas funcionalidades por programas aplicativos, acessíveis somente por programação) do *Google Maps*.

2.2 Algoritmo de Gillett e Johnson Modificado

Obtidas as medianas deve-se, então, determinar qual será o grupo de pontos a serem atendidos por cada um dos caminhões (em "torno" de cada uma das medianas). Isso é obtido a partir do algoritmo de designação proposto por Gillett e Jonhson (G&J) (GOLDEN *et al.*, 1977), descrito a seguir, com uma adaptação que inclui a restrição de capacidade (BODIN e GOLDEN, 1983).

Passo 1 - Calcule a distância entre cada nó *i* ainda não designado, até cada uma das medianas (caminhões), cujos caminhões correspondentes ainda possuam "capacidade" que, neste trabalho, é a distância a ser percorrida pelo caminhão. A capacidade média de cada caminhão é dada por: *Capacidade= (distância total / 5)*; neste trabalho será de aproximadamente 70 km.

Passo 2 - Para cada nó *i* do passo anterior, obter t_i^1 como sendo o depósito mais próximo de *i* e t_i^2 como sendo o segundo depósito mais próximo de *i,* com distâncias iguais a c_i^1 e c_i^2, respectivamente.

Passo 3 – Para todos os nós *i* dos passos anteriores calcule a razão $r_i = c_i^1 / c_i^2$. Ordene os nós *i* de acordo com os valores r_i, em ordem crescente. Esta lista determina a ordem em que os nós serão designados a cada uma das medianas; aqueles nós relativamente próximos a uma mediana serão considerados primeiro.

Passo 4 – Percorra a lista do passo anterior, designando os nós *i* às medianas mais próximas, até que a "capacidade" de alguma delas fique esgotada. Neste caso, retire todos os nós *i* já designados, assim como a mediana (caminhão) com "capacidade" esgotada, e volte ao Passo 1.

Através da designação dos pontos a cada uma das 5-medianas, é obtido o resultado para as áreas de atendimento, ou seja, os grupos de pontos a serem atendidos por cada caminhão.

2.3 Problema do Carteiro Chinês

Na última etapa do trabalho, cada uma dos arcos dos *clusters* de atendimento correspondente a cada caminhão, deverá ser percorrido de maneira a formar um circuito euleriano. O Problema

do Carteiro Chinês (PCC) é um problema de otimização que objetiva cobrir com um passeio a todos os arcos de um grafo, minimizando a distância total percorrida.

O seu estudo é destacado por alguns pesquisadores como, por exemplo, Costa *et al.*(2001) que propõem uma solução para o problema de entrega de correspondências realizada pelos serviços postais, onde o Algoritmo do Carteiro Chinês é comparado com vários algoritmos de cobertura de nós. Já Stern e Dror (1978) aplicam o Algoritmo do Carteiro Chinês no estudo das rotas dos leituristas de medidores elétricos; Eglese e Murdock (1991) apresentam um *software* para otimizar o serviço de limpeza de ruas com veículos vassoura. Ghiani e Improta (2000) apresentam uma variante do clássico problema do Carteiro Chinês, o problema do Carteiro Chinês Hierárquico, cujos arcos são divididos em agrupamentos (*clusters*) e a relação precedente é definida nos *clusters*; sua aplicação prática pode ser vista nos controles de neve e gelo nas ruas e estradas.

A formulação matemática do PCC, segundo Bodin e Golden (1983), é apresentada a seguir:

$$Minimizar \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \qquad \text{(a)}$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 0, \qquad i = 1,....,n \qquad \text{(b)}$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1, \qquad \forall\, (i,j) \in A \qquad \text{(c)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ inteiras e binárias} \qquad \text{(d)}$$

onde a função objetivo (a) minimiza o custo total, ou seja, a distância total a ser percorrida. As restrições em (b) garantem a continuidade da rota; as restrições em (c) que nenhuma aresta deixará de ser considerada e, em (d), tem-se que as variáveis do problema são não negativas, inteiras e binárias (serão iguais a "1", se o arco (x_i, x_j) for transpassado pelo carteiro chinês e "0", caso contrário).

O passeio do carteiro diferencia-se do circuito euleriano por nele ser permitida, se necessário, a repetição de arestas (GOLDBARG e LUNA, 2005). A seguir, tem-se o algoritmo de forma resumida.

Passo 1. Seja [c_{ij}] a matriz de custos das arestas do grafo *G*. Usando o algoritmo de Floyd forme a matriz $D = [d_{ij}]$ de dimensão $|X^-|$ x $|X^-|$, onde d_{ij} é o custo do caminho mínimo entre os vértices $x_i \in X^-$ e $x_j \in X^-$.

Passo 2. Ache o "*matching*" *M** entre os vértices de X^-, de forma a produzir o mínimo custo segundo a matriz *D* (este procedimento será feito exaustivamente analisando todas as combinações).

Passo 3. Se um vértice x_α é associado a um vértice x_β, identifique o caminho de mínimo custo $\mu_{\alpha\beta}$, correspondente ao custo $d_{\alpha\beta}$ do Passo 1. Introduza arestas artificiais em *G*, correspondentes às arestas de $\mu_{\alpha\beta}$, repetindo este procedimento para todos os outros caminhos do "*matching*" *M**, a fim de obter o *s*-grafo $G^-(M^*)$.

Passo 4. A soma dos custos da matriz [c_{ij}] para todas as arestas em $G^-(M^*)$, tomando o custo das arestas artificiais como sendo igual ao custo associado a aresta real em paralelo, é o mínimo custo do problema do Carteiro Chinês. O número de vezes que uma aresta (x_i, x_j) é

"atravessada" pelo circuito é igual ao número de arestas em paralelo entre x_i e x_j existentes em $G^-(M^*)$.

3. Obtenção dos Dados (Coordenadas dos Pontos e Distâncias)

Para a obtenção dos dados (coordenadas dos pontos e distâncias entre os mesmos) utilizados no desenvolvimento da solução para o estudo de caso da cidade de Joinville, foi utilizado o programa *Google Earth* onde foram cadastrados os pontos geográficos de duas maneiras distintas.

Na primeira maneira, conforme apresentado na figura 3, mais adiante, os pontos foram cadastrados com o objetivo de calcular a matriz das menores distâncias entre os pontos através das distâncias euclidianas. Para atender a área desejada foi necessário cadastrar 2.128 pontos.

A principal característica deste método é que entre as quadras foram cadastrados um ou mais pontos, dependendo da distância de um cruzamento ao outro, de tal forma que a distância entre os pontos não fosse maior do que o tamanho de uma quadra a outra. Uma das desvantagens deste método é o aumento do risco de cadastrar pontos inválidos de difícil identificação pelos algoritmos utilizados.

No detalhe da figura 3, verifica-se que a distância entre as quadras são de 78,92 e 68,97 metros e as distâncias entre os pontos cadastrados são de 48,42 e 48,92 metros. Desta maneira ao se utilizar o cálculo da distância euclidiana tem-se garantido o fato de que a distância entre dois pontos é viável para o trajeto do caminhão.

Figura 3 – Primeiro método para obtenção dos pontos geográficos

No segundo método utilizado para obter os pontos geográficos, exemplificado na figura 4, o principal objetivo foi utilizar a *API* do *Google Maps* para calcular a menor distância entre dois

pontos. Desta maneira, não é necessário cadastrar os pontos entre os cruzamentos, diminuindo a quantidade de pontos necessários (de 2.128) para 560 pontos.

Figura 4 – Segundo método para obtenção dos pontos geográficos.

O *Google Earth* gera um arquivo *.KML (*Keyhole Markup Language*) (linguagem de marcação de *Keyhole*), com formato de arquivo e uma gramática XML, que serve para modelar e armazenar características geográficas para exibição no *Google Earth* no *Google Maps* e em outros aplicativos. Neste trabalho, tais potencialidades foram utilizadas para a obtenção dos pontos geográficos (Latitude e Longitude), cadastrados para alimentar os algoritmos implementados.

4. Implementação dos Algoritmos ao Problema e Obtenção dos Resultados

Os algoritmos apresentados na seção 2 deste trabalho foram implementados na tecnologia Oracle Database 10G Express, distribuídos gratuitamente no site do fornecedor.

4.1 Resultados da Implementação do Algoritmo Teitz e Bart

Na Tabela 1 (auto-explicativa), a seguir, tem-se os resultados da implementação computacional do algoritmo de Teitz e Bart.

Matriz de distância	*No. de Pontos*	*Teitz e Bart Clássico*		*Teitz e Bart Modificado*		*Resultado 5-Medianas*
		Tempo	Iterações	Tempo	Iterações	
Euclidiana	2128	05:50:16	12	00:35:59	12	216;777;877; 1009;1455
Menor distância entre os pontos	560	00:04:12	9	00:02:24	9	71;477;560; 229;300

Tabela 1- Comparativo entre os desempenhos dos algoritmos (Teitz e Bart Clássico e Teitz e Bart Modificado)

As 5-medianas encontradas pelo algoritmo de Teitz e Bart, utilizando as distâncias euclidianas (Tabela 1), estão na Figura 5 (pontos em vermelho), onde se verifica que existem dois

pontos muito próximos (777-877). Já na Figura 6, utilizando as menores distâncias entre os pontos, as 5-medianas ficaram mais espaçadas, ou seja, ficaram mais bem distribuídas.

Figura 5 – Obtenção das p-medianas (dist. euclid.)

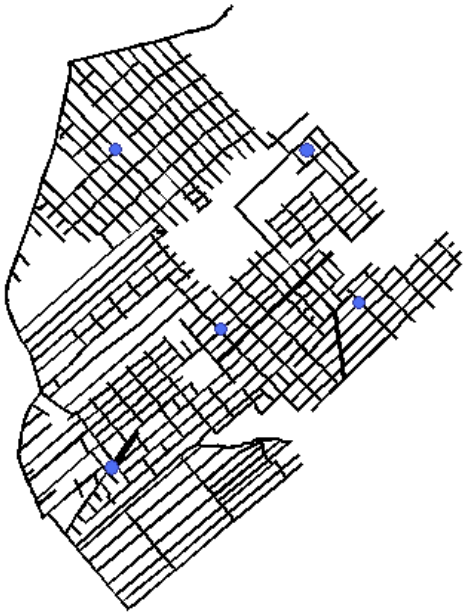
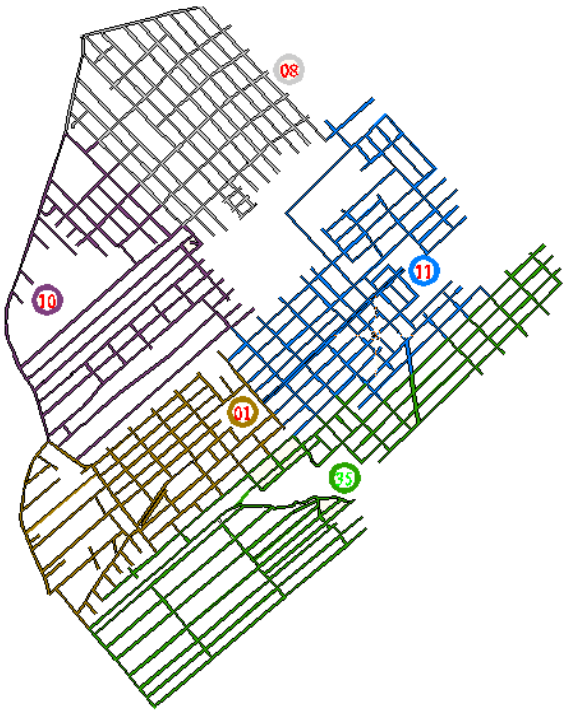


Figura 6 - Obtenção das p-medianas (menor dist.)

4.2 Resultados da Implementação do Algoritmo de Gillett e Johnson Modificado

A Figura 7, a seguir, mostra como é atualmente á área de atendimento de cada caminhão na região analisada e, na Figura 8, tem-se o resultado da designação após a implementação do algoritmo de Gillett e Johnson Modificado.



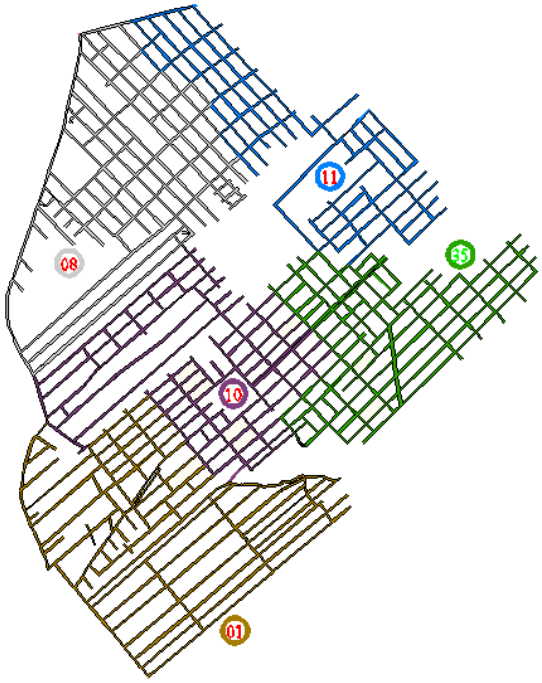


Figura 7 - Divisão atual para a coleta de resíduos *Figura 8 - Resultado do Algoritmo G&J*

4.3 Resultados da Implementação do Algoritmo do Carteiro Chinês

O algoritmo do carteiro chinês foi aplicado na Rota 08 (cinza claro) da Figura 7, ou seja, da divisão feita atualmente pela empresa responsável na coleta de resíduos em Joinville. O custo total (em termos de distância) para percorrer este percurso é de 19.355 metros. A figura 9 apresenta o resultado obtido. Verificou-se que o melhor ponto para iniciar a coleta é pela rua Santos Dumont esquina com a rua Valdemar Medeiros (ponto em vermelho na figura

9), pois após a coleta, o caminhão deve ir ao aterro sanitário descarregar os resíduos sólidos.

Figura 9- Trajeto obtido pelo Algoritmo do Carteiro Chinês para a Rota 08

A tabela 2, a seguir, apresenta um comparativo entre a média de 17 coletas registradas na Rota 08 entre os meses de março e abril de 2009 e o resultado alcançado com o algoritmo do Carteiro Chinês. O trajeto considerado foi desde a saída do caminhão da garagem, o percurso para descarregar os resíduos no aterro sanitário até o seu retorno à garagem.

Trajeto	**Média Atual (Metros)**	**Resultado (Metros)**	**Diferença (Metros)**	**Diferença do Resultado %**
Rua Barra Velha (Saída) até a rua Santos Dumont	14.500	14.500	0	0,00 %
Roteamento da coleta de resíduos sólidos	**21.000**	**19.355**	**-1.645**	**7,83 %**
Rua Santos Dumont até a rua	12.000	10.300	-1.700	14,17 %

Bororós (Aterro Sanitário)				
Rua Bororós a rua Barra Velha (Chegada)	18.500	14.500	-4.000	21,62 %
Total ≈	**66.000**	**58.655**	**-7.345**	**11,13 %**

Tabela 2 - Comparativo entre a média atual para a coleta de resíduos e o resultado alcançado pelo algoritmo do carteiro chinês para a rota 08

Com a implementação do algoritmo do Carteiro Chinês obteve-se um ganho de 1.645 metros que equivale a 2,49% (1.645/66.000) do ganho total, e um ganho de 7,83% (1.645/21.000), se considerarmos apenas o roteamento da coleta de resíduos sólidos. Pode-se observar que se adotado um processo de otimização no roteamento desde a saída do caminhão até o início da coleta; do final da coleta até o aterro sanitário e, também, no roteamento do retorno do caminhão à garagem, pode-se ter um ganho de aproximadamente 5.700 metros (7.345-1.645) que equivale a 8,6% (5.700/66.000) do ganho total.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia, composta de algoritmos matemáticos e implementação computacional, para a otimização de rotas em um problema de cobertura de arcos. A utilização do algoritmo de Teitz e Bart forneceu uma solução satisfatória para a determinação de 5-medianas, principalmente quando utilizada a opção de buscar a menor distância entre os pontos x e y respeitando o trajeto das ruas. A alteração no algoritmo de Teitz e Bart, incluindo um parâmetro para comparar as distâncias entre as combinações geradas, possibilitou que o problema possa ser expandido atendendo a uma área maior.

Através da adaptação do algoritmo de Gillett e Jonhson, obteve-se um resultado satisfatório na formação das áreas (grupos de arcos) a serem atendidas por cada um dos caminhões. Pode-se verificar a diferença existente, entre as áreas utilizadas pela empresa responsável e as áreas obtidas através da heurística de Gillett e Jonhson (Figuras 7 e 8 contidas no texto, respectivamente).

A tabela 2 mostra que antes de se implementar o algoritmo do carteiro chinês à área de coleta dos resíduos sólidos, seria interessante a empresa otimizar os seus trajetos: desde a saída até o início da coleta; do fim da coleta até o aterro sanitário e deste até a garagem. Com a implantação deste procedimento pode-se obter um ganho aproximado de 8,6% no percurso total gasto diariamente para a Rota 08.

A utilização do algoritmo do carteiro chinês garante um roteamento otimizado. O resultado atingido fornece a solução ótima para o problema, de mínima distância, na coleta de resíduos urbanos. Esta metodologia pode ser utilizada em problemas análogos como, por exemplo, de leituristas de luz, de água (SMIDERLE, 2001), gás, dentre outras situações.

6. Referências

Bodin, L. e Golden B. (1983), A. Assad e M. Ball, Routing and Scheduling of vehicles and crews : the state of the art. England, Pergamon Press, vol. 10. n. 2.

Carvalho L. E. X. (2001) , Desenvolvimento de solução integrada de sistemas de limpeza urbana em ambientes SIG, Dissertação de Mestrado, UFRJ.

Costa D.M.B. e Steiner M.T.A., Carnieri C., Zamboni L.V.S. e da Silva A.C.L. (2001), Técnicas da Pesquisa Operacional na Otimização dos Serviços Postais, Gestão & Produção, 8, No. 1, 37-55.
Eglese R.W. e Murdock H. (1991), Routing Road Sweepers in a Rural Area, JORS, 4, 281-288.
Ghiani G. e Improta G. (2000), An Algorithm for the Hierarchical Chinese Postman Problem, JORS, 26, 27-32.
Goldbarg M. C. e Luna H.P., "Otimização combinatória e programação linear", Elsevier, Rio de Janeiro, 2005.
Golden B. L., Magnanti T.L. e Nguyen H.Q. (1977), Implementing vehicle routing algorithms, Networks, v. 7, pp. 113-148, 1977.
IBGE (2000), Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB).
Smiderle A. (2004), Técnicas da pesquisa operacional aplicadas a um problema de cobertura de arcos, TEMA, No. 2, pp. 347-356.
Stern H.I. e Dror M. (1978), Routing Eletric Meter Readers, Computers & Operations Research, 6, 209-223.
Teitz M.B. e Bart P. (1968), Heuristics Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph, Operations Research,v. 16, pp. 955-961.