

III-054 – OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA MUNICIPAL DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTUDO DE CASO

Valquiria Melo Souza Correia⁽¹⁾

Administradora de Empresas pela Unice – Superior (UNICE), Assistente Social, Licenciada em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) e Tecnóloga em Gestão Ambiental pela Estácio de Sá. Mestre em Logística e Pesquisa Operacional (UFC). Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Marisete Dantas de Aquino⁽²⁾

Doutora em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela *École des Hautes Études em Sciences Sociales*, Paris, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Marcílio Luís Viana Correia⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Mestre em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Assistente I do Departamento Engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Oito de Setembro, 205 – Bairro Varjota – Fortaleza – CE – CEP: 60.175-210 – Brasil – Tel: (84) 99855-4382 – e-mail: valquiria@ufersa.edu.br

RESUMO

O estudo tem o objetivo de minimizar as distâncias percorridas pelo caminhão de coleta e de transporte dos resíduos sólidos urbanos pelos responsáveis de realizar a coleta de lixo, que devem percorrer todas as ruas (arcos) do bairro Centro, no município do Crato/CE. Apresentando um modelo de otimização para a melhoria do gerenciamento de coleta e transporte de resíduos sólidos. Para a realização desta pesquisa, foram consideradas as rotas dos caminhões de coleta convencional, que é realizado em dias e horários alternados da semana, pré-estabelecidos pela equipe de trabalho e, para isso, a empresa se utiliza de dois caminhões compactadores homogêneos (cada um com capacidade entre 9 a 12 toneladas). O processo heurístico do estudo de caso será desenvolvido pelo Problema do Carteiro Chinês Não Orientado, que possui como característica fazer o emparelhamento de nós de um grafo não direcionado. Conclui-se que as rotas otimizadas permitem verificar que uma redução de 10% na distância total percorrida pode proporcionar uma economia de R\$ 34.000,00/mês referente a gastos de manutenção e combustíveis dos veículos.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização, Problema do Carteiro Chinês, Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos.

INTRODUÇÃO

O caso da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é um serviço oferecido pela prefeitura de quase todas as cidades brasileiras. De acordo com os dados da ABRELPE (2017), o total de RSU gerados no Brasil aumentou cerca de 1,3% entre os anos de 2014 e 2015. Isto é, passou de 78,6 milhões de toneladas para 79,9 milhões de toneladas, de modo que, no mesmo período, a população cresceu 0,8% e o Produto Interno Bruto (PIB) retraiu 3,8%. De acordo com o documento esse aumento da natalidade e o consumo de materiais descartáveis são os dois principais fatores para o aumento no número de lixo produzido.

Em alguns municípios que possuem aterros sanitários, estes se situam bem distantes dos centros urbanos. Desse modo, o serviço passa a ser realizado em algumas etapas que, em geral, compreendem: a coleta domiciliar, o transbordo, o tratamento numa estação apropriadamente localizada, e o transporte para o destino final. Nesse aspecto, há uma complexidade, e consequentes gastos que envolvem este serviço. Em alguns outros municípios, os resíduos coletados pelos caminhões têm como destino final, após a rota realizada, o lixão.

A problemática relacionada à roteirização periódica em arcos capacitados consiste na teoria dos grafos. Segundo Ore (1990), essa teoria surgiu devido ao anseio de Euler em resolver o problema da ponte de

Königsberg, Assad e Golden (1995) consideram que Euler identificou a origem da teoria dos grafos ao clássico problema das sete pontes que atravessam o Rio Pregel em Königsberg, publicado por ele em 1736.

De acordo com Deluqui (1998), a otimização do processo de coleta de resíduos sólidos urbanos deve buscar a máxima satisfação da população com a prestação de serviços, através da adequada consideração dos aspectos de qualidade, custos, atendimento e proteção à saúde pública. Sendo assim, é fundamental que se estabeleça um controle operacional dos serviços prestados que permita a avaliação dos mesmos.

Portanto, com a aplicação da modelagem PCC (Problema do Carteiro Chinês), tendo como proposta a minimização do percurso, há uma economia financeira significativa que não se restringe somente ao bairro em estudo, mas também para a prefeitura e para a empresa que faz a coleta convencional, a qual terá a minimização das rotas percorridas pela equipe de trabalho, em relação ao tempo de duração da coleta dos resíduos sólidos e limpeza dos espaços públicos. Assim, com a minimização, poderá contabilizar menores gastos com o combustível, o desgaste do veículo e a mão de obra.

O sistema de coleta de RSU apresenta complexidade, importância e custo, sendo esta uma tarefa essencial da administração pública (BARROS, 2012). Contudo, na maioria das vezes, a preocupação da administração municipal está somente em afastar os RSU da fonte geradora, necessariamente, não se importando com uma destinação final sanitariamente adequada. Isso em virtude da ausência de dados e informações contundentes que especifiquem e caracterizem os resíduos sólidos municipais e possibilitem uma gestão eficiente deles.

A proposta deste trabalho é minimizar as distâncias percorridas pelo caminhão de coleta e de transporte dos resíduos sólidos urbanos quanto às distâncias percorridas pelos responsáveis pela limpeza de rua, que devem percorrer todas as ruas (arcos) do bairro Centro, no município do Crato/CE.

MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta dos resíduos sólidos no município do Crato, terceira cidade mais desenvolvida do estado do Ceará em número de residentes e o 9º maior PIB do Estado (IBGE, 2010). Com uma população de 121.428 habitantes, dividida da seguinte forma: 100.937 na zona urbana e 20.525 na zona rural, distribuídos em uma área total de 1.176,467 km², com densidade demográfica de 94,05 hab./km².

Para a realização desta pesquisa, foram consideradas as rotas dos caminhões de coleta convencional no bairro Centro da cidade. Este trabalho é realizado em dias e horários alternados da semana, pré-estabelecidos pela equipe de trabalho e, para isso, a empresa se utiliza de dois caminhões compactadores homogêneos (cada um com capacidade entre 9 a 12 toneladas).

O processo heurístico do estudo de caso será desenvolvido para o Problema do Carteiro Chinês Não Orientado, que possui como característica fazer o emparelhamento de nós de um grafo não direcionado.

O estudo foi realizado quanto à coleta de RSU no bairro Centro do município do Crato, em que o caminhão de coleta passa por todos os pontos de coleta de resíduos que estão situados nas ruas, de modo que há mais de um ponto de coleta em uma determinada rua, conforme a Tabela 1. A Figura 1 mostra a disposição das ruas no mapa.

Tabela 1: Ruas do bairro Centro a serem percorridas

1	R. ZACARIAS GONCALVES
2	R. MADRE ANA COUTO
3	TRAV. JUAZEIRO DO NORTE
4	R. ALMIRANTE ALEXANDRINO
5	R. MONS. ESMERALDO TEIXEIRA
6	R. PADRE FROTA
7	R. BARBARA DE ALENCAR
8	R. MONS. FRANCISCO ASSIS FEITOSA
9	R. JOSE DE ALENCAR
10	AV. DUQUE DE CAXIAS
11	R. PADRE SUCUPIRA
12	BECO PADRE LAURO
13	R. VICENTE LEMOS
14	TRAV. IDA BILHAR
15	R. RODOLFO TEOFILO
16	R. JOAO BACURAU
17	R. MONS. SOTTER
18	R. CORONEL SEGUNDO
19	R. RUI BARBOSA
20	R. DA PENHA
21	R. ARARIPE
22	AV. JOSE ALVES DE FIGUEIREDO
23	R. RATISBONA
24	R. NELSON ALENCAR
25	R. MONS. TAVARES
26	R. CURSINO BELEM
27	R. DR. JOAO PESSOA
28	R. MIGUEL LIMA VERDE
29	R. SENADOR POMPEU
30	R. TRISTAO GONCALVES
31	R. SANTOS DUMONT
32	R. JOSE CARVALHO
33	R. DOM PEDRO II
34	R. LOIOLA ALENCAR
35	R. AUGUSTO BACURAU
36	R. DOM QUINTINHO
37	R. JOSE MARROCOS
38	R. LEANDRO BEZERRA
39	R. SONIA
40	R. CORONEL TEOFILO SIQUEIRA
41	VILA SANTA HELENA
42	R. CORONEL LUIS TEIXEIRA
43	PRAÇA JUAREZ TÁVORA.
44	PRAÇA DA SÉ
45	PRAÇA SIQUEIRA CAMPOS
46	R. BRUNO DE MENESES
47	R. CAROLINA SUCUPIRA
48	R. HERMENEGILDO FIRMEZA
49	R. GETÚLIO VARGAS
50	R. TEODORICO TELES
51	R. MONS. JOVINIANO BARRETO
52	R. CORONEL RAIMUNDO LOBO
53	R. ANDRÉ CARTAXO
54	PRAÇA FRANCISCO SÁ
55	R. HORÁCIO JACOME

56	R. SAGRADA FAMILIA
57	R. DESEMB. EDMILSON CRUZ NEVES
58	R. CORONEL ANTONIO LUIZ
59	R. CORONEL SIQUEIRA



Figura 1: Ruas dispostas no mapa

A Figura 2 demonstra o grafo após a animação do percurso que foi tomado para resolver o problema. Trata-se de um grafo não euleriano, de modo que será necessário realizar as devidas operações para determinar um percurso ótimo para o grafo.

A empresa que realizou o trabalho de coleta de resíduos sólidos urbanos gastou em 2016, aproximadamente, R\$ 340.000,00/mês.

RESULTADOS

Após o trajeto com o caminhão a solução da rota é composta por rotas ótimas, uma para cada viagem/dia. Cada rota realizada tem início na garagem, mas ela de fato se inicia na entrada do bairro (nó 1) e término na saída do bairro (nó 140) com destino ao lixão que se encontra a aproximadamente 6 km de distância do nó número 36.

O grafo que constitui a rota pesquisada é composto por 140 nós e 270 arestas, que são percorridas pelo caminhão de coleta de resíduos sólidos urbanos, perfazendo uma distância de 19.241 m.

Todos os pontos de coleta foram visitados e todo resíduo disposto coletado (por um único caminhão em cada dia e horário), como não há balança na entrada do lixão, o quantitativo estimado de coleta de RSU por viagem é pela capacidade do caminhão compactador.

Na Figura 2 pode-se observar as rotas geradas pelo caminhão no bairro Centro, através do grafo.

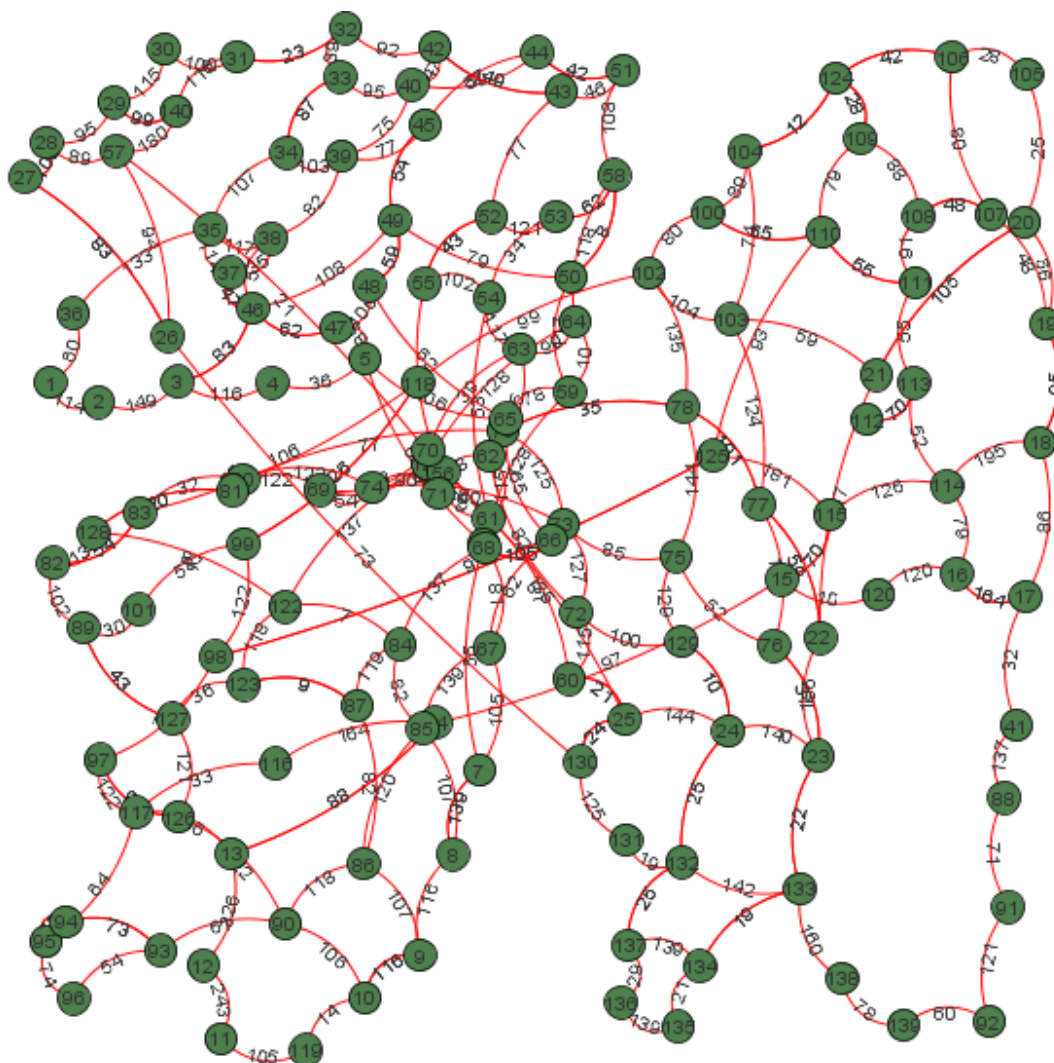


Figura 2: Grafo Final do Estudo de Caso

O grafo possui todos os vértices e arestas coloridos, pois todos foram visitados durante o percurso do caminhão de coleta dos RSU. Todavia, ao executar o algoritmo, foram obtidos os resultados mostrados no Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 - Resultados

Tipo de PCC	Não Dirigido
Método de Resolução	Modelo de Programação Linear
Arestas Duplicadas	{(3,46), (6,66), (7,8), (9,10), (13,14), (15,115), (16,17), (18,19), (20,21), (22,77), (23,76), (23,133), (24,132), (24,129), (25,60), (25,130), (26,27), (27,28), (29,140), (31,32), (33,34), (37,46), (42,43), (44,51), (45,49), (46,47), (48,49), (50,58), (52,55), (53,58), (70,71), (77,78), (78,79), (81,128), (82,83), (87,123), (89,127), (93,94), (94,95), (97,126), (98,125), (99,118), (100,110), (104,124), (106,124), (107,108), (109,124), (110,111), (112,113), (132,137), (133,134)}
Soma das Arestas Duplicadas	2.829
Número de Arestas do Grafo	270
Soma das Arestas do Grafo	21.168
Tempo de Execução (s)	0,018

Os números representam os vértices e arestas que formam os arcos a serem atravessados pelo veículo de coleta de resíduos sólidos no bairro Centro, Município do Crato.

CONCLUSÕES

O modelo do PCC, baseado no modelo de Edmonds (1973), construiu uma arborescência, em que o circuito euleriano consiste numa tarefa trivial, embora com abordagem diferente de Euler. O resultado obtido é oriundo da associação do trabalho de campo e do modelo do PCC, cuja limitação da quantidade de nós e arestas do modelo se tornou não-dirigido. Quanto às rotas otimizadas ao serem comparadas com as realizadas, proporcionam uma redução na distância total percorrida pelo veículo de 20%, o que pode acarretar uma economia de R\$ 68.000,00/mês.

Logo, os resultados demonstram economia aos cofres públicos, assim como ao meio ambiente e ao município como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2010. Disponível em http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf. Acesso em: 27 dez 2017.
2. ASSAD, A. A.; GOLDEN, B. L. Arc routing methods and applications. Handbooks in Operations Research and Management Science, v. 8, p. 375 – 483, 1995.
3. DELUQUI, K.K. Roteirização para veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares utilizando um sistema de informação geográfica – SIG. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 218 p. São Carlos. 1998.
4. EDMONDS, J.; JOHNSON, E. L. (1973), Matching, Euler Tours and the Chinese Postman Problem, Math. Program. 5, Pag: 88-124.
5. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014/ 2016). Acesso em 30 nov. 2016, disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>.
6. ORE, O. Graphs and their Uses. Washington: The Mathematical Association of America, 2ª edição, 1990.