

III-028 – PROBLEMA DO CARTEIRO CHINÊS APLICADO NA OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE COLETA CONVENCIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: 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). Doutora 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).

Antonio Clecio Fontelles Thomaz⁽³⁾

Graduado em Matemática pela Universidade Federal do Ceará (1969), mestrado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1973) e doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1986). Pós-Doutorado na Universidade *Joseph Fourier - Grenoble* França em 1995. Atualmente é Prof. Titular Aposentado da Universidade Federal do Ceará e Prof. adjunto da Universidade Estadual do Ceará.

Marcílio Luís Viana Correia⁽⁴⁾

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

A pesquisa tem o objetivo de minimizar as distâncias percorridas pelo veículo 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. 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. 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. O resultado foi bastante expressivo porque, geralmente, os municípios não possuem qualquer instrumento de controle de rotas para as coletas de lixo convencional, como é o caso do município em estudo, em se há uma sobreposição de percursos.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização, Problema do Carteiro Chinês, Coleta Convencional.

INTRODUÇÃO

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.

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 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - 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.

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, 2016). 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 Figura 1 mostra a disposição das ruas no mapa.



Fig. 1: Ruas dispostas no mapa

A Figura 1 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.

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.

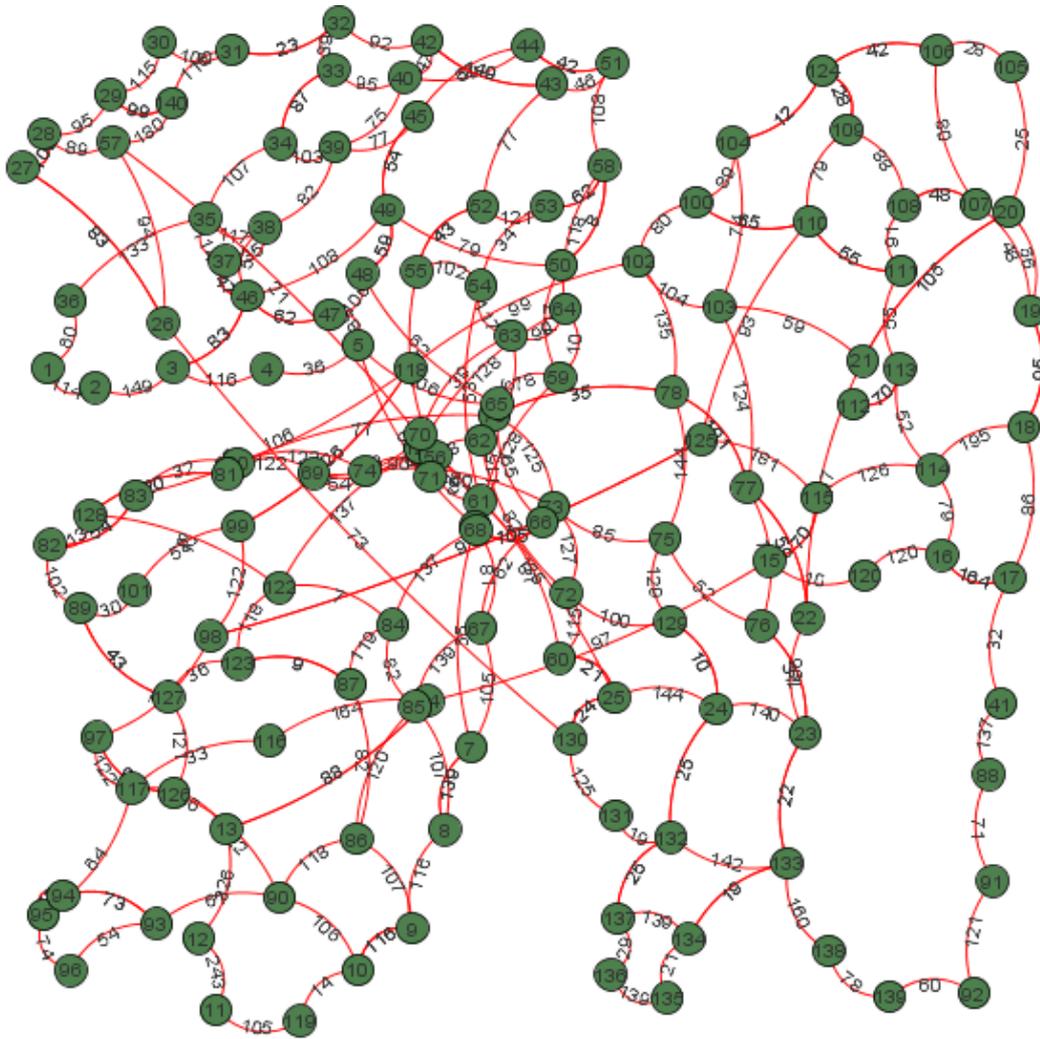


Fig. 2: Grafo Final do Estudo de Caso

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

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

Quadro 1: Resultados

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.

Quanto aos dados da distância atual da rota se tem 36.680 metros, aproximadamente 40 km em um percurso realizado pelo caminhão de coleta convencional de resíduos sólidos urbanos. Enquanto à distância otimizada 19.241 metros, aproximadamente 20km. Assim, para a economia entre a distância otimizada e a distância atual é de aproximadamente 48%.

Fazendo uma simulação de valores, segue o seguinte raciocínio: considerando o preço médio de venda do diesel por litro de R\$ 4,02 segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo entre os dias 20/05 a 26/05/2018, no município do Crato tem-se:

Item	Atual	Otimizado
Rota (Km)	36,68	19,24
Consumo (Km/L)	4	4
Preço do Diesel dia (R\$) *	4,02	4,02
Valor da rota dia (R\$)	589,81	309,38
Valor da rota ano (R\$) ***	215.280,65	112.923,70

* ANP; ** 30 dias; *** 365 dias

Tabela 1: Simulação do Consumo de Combustível da Rota Centro

O resultado foi bastante expressivo porque, geralmente, os municípios não possuem qualquer instrumento de controle de rotas para as coletas de lixo convencional, como é o caso do município em estudo, em se há uma sobreposição de percursos.

Desse modo, por meio da metodologia do PCC, se otimiza a rota para passar o mínimo de vezes em cada rua.

CONCLUSÕES

O modelo do PCC, baseado no modelo de Edmonds (1973), construiu uma arborescência, em que o circuito euleriano consiste uma 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 o modelo se tornou não-dirigido. Quanto as rotas otimizadas ao serem comparadas com a atual proporcionam uma redução na distância total percorrida pelo veículo, o que pode acarretar uma economia aos cofres públicos, ao meio ambiente e a sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE (2017) – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*, Disponível em http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2017/key_stats_2017.pdf. Acesso em: 27 dez 2017.
2. ANP (2018) – Agência Nacional do Petróleo. *Sistema de Levantamento de Preços*, Disponível em http://anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Municipio_Posto.asp. Acesso em: 30 de maio 2018.
3. ASSAD, A. A.; GOLDEN, B. L. (1995) Arc routing methods and applications. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, v. 8, p. 375 – 483.
4. BARROS, R.T.V. (1999) Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: *Apostila da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais*.
5. BODIN, L. D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. *Computers and Operations Research*, v.10, n.2, p.63-211, 1983.
6. DAS, S.; BHATTACHARYYA, B. K. (2015) Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, n.43, p. 9-18.
7. DEJAX, P., HAOUARI, M. (1991). La résolution des problèmes complexes de tournées de véhicules. In: *Congrès International de Génie Industriel*, 3., 1991, Tours Actes, p. 897-906.
8. DELUQUI, K.K. (1998) *Roteirização para veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares utilizando*



- um sistema de informação geográfica – SIG*. Dissertação de Mestrado Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 218 p. São Carlos.
9. EDMONDS, J.; JOHNSON, E. L. (1973). *Matching, Euler Tours and the Chinese Postman Problem*, *Math. Program.* n.5, p. 88-124.
 10. GHOSE, M. K.; DIKSHIT, A. K.; SHARMA, S. K. A (2006). Gis based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality. *Waste Management*, v.26, n11, p. 1287-1293.
 11. GOLDBARG, M. C; LUNA, H. P. L. (2000). *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. Rio de Janeiro, RJ: Campus.
 12. GOLDBERG, D.E.; HOLLAND, J.H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, Springer, v. 3, n.2, p. 95-99.
 13. Golden, B.L.; Ball, M.; Bondin, L. (1981). Current and Future Research Directions in Network Optimization. *Computers & Operations research*, v. 8, n. 2, p. 71-81.
 14. GREDMAIER, L.; RILEY, K.; VAZ, F.; HEAVEN, S. (2013). Seasonal yield and fuel consumed for domestic, organic collections in currently operational door-to-door and bring-type collection systems. *Waste and Biomass Valorization*, v.4, n.3, p. 683-693.
 15. HIRAMATSU, A.; HARA, Y.; SEKIYAMA, M.; HONDA, R.; CHIEMCHAI SRI, C. (2009). Municipal solid waste flow and waste generation characteristics in an urban-rural fringe area in Thailand. *Waste Management & Research*. v.27, n.10, p. 951–960.
 16. IBGE (2016). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014/ 2016)*. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 nov. 2016.
 17. KHAN, D.; SAMADDER, S.R. (2016). Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City, India. *Waste Management & Research*, v.34, n.7, p.666-676.
 18. KIM, B.; KIM, S.; SAHOO, S. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*. v.33, n.12, p. 3624-3642.
 19. LAPORTE, G. (1992). The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms,
 20. ORE, O. (1990). *Graphs and their Uses* 2 ed.. Washington: The Mathematical Association of America.