

## I-310 – OTIMIZAÇÃO PARA ROTA DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES: ESTUDO DE CASO EM SANTO ANTÔNIO DE LEVERGER/MT

**Paulo Eduardo Gonçalves De Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestrando no Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos na Universidade Federal de Mato Grosso (PPGRH/UFMT).

**Stuart C. Bueno Da Silva<sup>(2)</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

**Welitom Ttatom Pereira Da Silva<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Ciências Florestais e Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Doutor em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH/UnB). Atualmente é Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (DESA/UFMT).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Fernando Corrêa da Costa, No. 2367 – Bairro Boa Esperança – Cuiabá – MT – CEP 78060-900 – Brasil – Tel: (65) 3615-8723 – e-mail: edupaulo89@gmail.com

### RESUMO

A operação de coleta e transporte de resíduos de uma cidade caracteriza-se por ser uma das etapas do gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que absorve uma parcela considerável do orçamento destinado para o setor. Ademais, para manter a cidade em funcionamento e atender a demanda populacional, é necessário que haja um planejamento logístico-operacional. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi otimizar uma área do perímetro urbano da rota de coleta de resíduos domiciliares da cidade de Santo Antônio de Leverger/MT, com a finalidade de minimizar a distância total percorrida pelo veículo coletor, utilizando o método do Problema do Carteiro Chinês Não Direcionado (PCCND). A metodologia do trabalho contou com as seguintes etapas: (i) revisão de literatura; (ii) reconhecimento da área de estudo e escolha do trecho a ser otimizado; (iii) mapeamento, cadastramento dos pontos e coleta dos dados geográficos; (iv) aplicação do modelo PCCND; e, (v) otimização da rota de coleta. O diagnóstico da rota atual demonstrou que o dimensionamento utilizado é insuficiente. Os resultados da implementação e aplicação PCCND indicaram uma roteirização com redução da distância total percorrida em 25%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Roteamento, carteiro chinês, grafo.

### INTRODUÇÃO

A coleta e transporte dos resíduos sólidos, particularmente nos centros urbanos, tem sido o principal ponto de sua gestão, é o que indica o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012). Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2014), foram coletados em 2014 um total de aproximadamente 71,26 milhões toneladas de resíduos. Outro ponto relatado pelo panorama foi que nos últimos anos a geração de resíduos tem sido superior a taxa de crescimento populacional no país.

A operação de coleta e transporte de resíduos de uma cidade caracteriza-se por ser uma das etapas do gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que absorve uma parcela considerável do orçamento destinado para o setor. Este serviço consiste em coletar e transportar os resíduos dos locais de onde estão acondicionados até um destino final adequado, envolvendo desde a o ponto de origem do veículo (garagem) e seu retorno. Para que este serviço prestado a população seja caracterizado como eficaz e eficiente, é necessário que haja um planejamento logístico-operacional que corresponda à realidade da cidade, operando em todo o perímetro urbano, onde os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmos locais, dias e horários (BRASILEIRO e LACERDA, 2002).

Em decorrência do processo de urbanização nas últimas décadas, as cidades vêm enfrentando cada vez mais dificuldades em gerenciar os serviços básicos de coleta e transporte dos resíduos sólidos para manter a cidade em funcionamento atendendo a demanda da população. Por conseguinte, o efeito desse processo de urbanização acarreta maiores quantidades de resíduos gerados, maiores custos para transporte do lixo coletado e menos acesso adequado da população a esse serviço prestado (BRASILEIRO e LACERDA, 2008).

A região Centro-Oeste é responsável por 8,1% dos RSU coletados no Brasil, sendo este valor correspondente a 15.826 toneladas por dia. Deste percentual, o Estado de Mato Grosso, é encarregado de por 3,175 toneladas dia (ABRELPE, 2014).

De acordo com Morais *et al.* (2015), grande parte dos municípios necessita de recursos humanos capacitados, de caráter técnico, econômico e social para lidar com o gerenciamento e gestão dos RSU, principalmente as de pequeno porte. Nesse contexto, a otimização do sistema de coleta e transporte dos RSU é uma ferramenta capaz de reduzir os custos relacionados à logística operacional das cidades, uma vez que boa parte dos municípios ainda utilizam de métodos de improviso, sem nenhum planejamento prévio.

O presente trabalho propõe a otimização da coleta dos resíduos sólidos de uma área do perímetro urbano da cidade de Santo Antônio de Leverger – MT, mais precisamente da região central, com o intuito de minimizar a distância total percorrida pelo veículo coletor, utilizando o método do Problema do Carteiro Chinês Não Direcionado (PCCND).

## **OBJETIVOS**

A presente pesquisa tem como objetivo geral otimizar a rota de coleta de resíduos sólidos de uma área do perímetro urbano da cidade de Santo Antônio de Leverger-MT, mais precisamente da região central, com a finalidade de minimizar a distância total percorrida pelo veículo coletor, utilizando o método do Problema do Carteiro Chinês Não Direcionado (PCCND).

Em particular, almeja-se: diagnosticar a rota de coleta de resíduos sólidos atual da cidade; modelar a rota de coleta de resíduos sólidos e determinar a eficiência da rota otimizada e comparar com a rota atual no trecho estudado;

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no município de Santo Antônio de Leverger-MT, localizado a cerca de 30 km da capital Cuiabá e contando com uma população estimada (em 2015) de 19.257 habitantes (IBGE, 2010). A Figura 1 apresenta a localização do município.

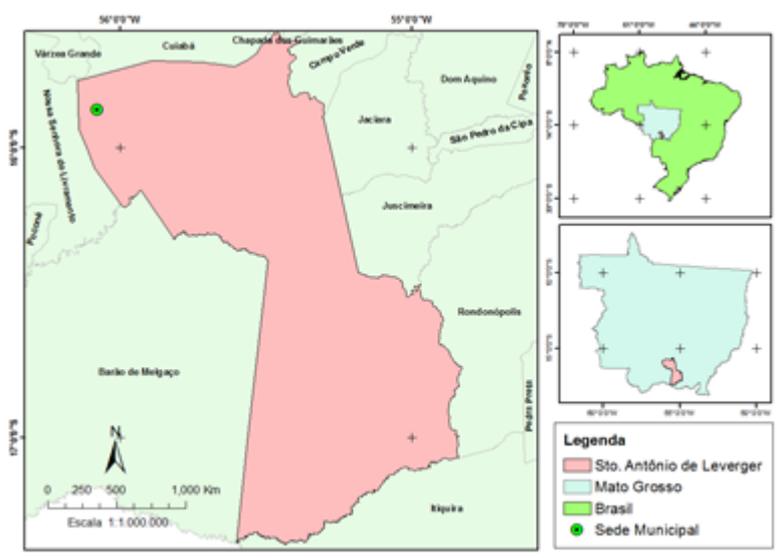
A elaboração e desenvolvimento do trabalho contaram com as seguintes etapas: (i) revisão de literatura; (ii) reconhecimento da área de estudo e escolha do trecho a ser otimizado; (iii) mapeamento, cadastramento dos pontos e coleta dos dados geográficos; (iv) aplicação do modelo PCCND; e, (v) otimização da rota de coleta.

A revisão de literatura foi realizada por meio de consultas a diversos materiais impressos e digitais como livros, artigos, dissertações e teses.

A segunda etapa, reconhecimento da área de estudo e escolha do trecho a ser otimizado, foi realizada através de visitas de campo ao município de Santo Antônio de Leverger, identificando e coletando dados pertinentes ao problema. A escolha do trecho foi baseada em função de uma parcela que fosse representativa da cidade

O mapeamento foi feito por meio do aplicativo *Google Earth Pro* (versão 7.1.2.2041). Com o mapeamento realizado, fez-se o cadastramento dos pontos (nós), ou seja, a locação dos vértices do grafo no mapa. Após isso foi efetuada a coleta das coordenadas geográficas em graus decimais de cada ponto da rede estabelecida, e posteriormente, a obtenção das distâncias entre os nós através da conversão das coordenadas decimais, com o auxílio do aplicativo Excel 2013.

Todas as etapas seguintes foram desenvolvidas no programa Excel 2013 do pacote Office e baseadas no trabalho de Godinho e Junqueira (2005), porém há diversos trabalhos na literatura que também abordam essas etapas de forma bem usuais, diferenciando apenas em algumas notações e conotações matemáticas utilizadas no desenvolver do problema.



**Figura 1: Localização do Município de Santo Antônio de Leverger-MT.**  
**Fonte: acervo próprio.**

A quarta etapa do trabalho é a aplicação do modelo. Porém antes da aplicação é necessário verificar se o grafo possui um circuito Euleriano. Caso a verificação for negativa, deve-se fazer a transformação do grafo em um grafo Euleriano, encontrando o emparelhamento entre os nós de grau ímpar. Este processo é fundamental para a minimização das distâncias e poder ser realizado de duas formas: manual ou baseado em programação matemática, fazendo o uso de algoritmos. Depois de feita esta averiguação, efetuou-se a aplicação o modelo do Problema do Carteiro Chinês Não Direcionado (PCCND). Esta parte do trabalho é primordial para que o modelo forneça resultados corretos, exigindo atenção na elaboração da planilha.

A última etapa da estruturação do trabalho foi realizar a roteirização da coleta, ou seja, otimizar a rota dentro do grafo que foi delimitado. Essa otimização foi realizada por meio da implementação de uma rotina computacional em linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) do Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta e transporte dos resíduos sólidos da cidade na atualidade é realizada de maneira convencional, através da Secretaria de Obras do Município, onde o resíduo coletado é levado até a estação de transbordo, localizada a 5 km da cidade. A coleta atualmente é feita por dois caminhões: um basculante, de propriedade da prefeitura, com capacidade para 2 toneladas e um compactador, alugado, com capacidade para 5 a 6 toneladas (COSTA, 2015).

Um ponto importante a ser relatado no diagnóstico da rota de coleta, é que o motorista do caminhão nem sempre segue o roteiro de coleta, uma vez que, como existe mais de um motorista, às vezes cada um percorre um trajeto diferente quando julga necessário. Esse fator pode ser associado com o que Brasileiro e Lacerda (2002) relatam em seu trabalho, em que cidades de pequeno porte planejam e operam seus sistemas de limpeza pública de forma empírica, baseando-se em improvisações e na experiência do funcionário. Segundo Costa (2015), o dimensionamento da rota utilizado em Santo Antônio de Leverger atualmente é insuficiente, uma vez que grandes quantidades de resíduos foram encontradas espalhadas pela cidade.

A escolha do trecho a ser otimizado se baseou na necessidade da obtenção de uma parte representativa da cidade. Dessa forma, foi escolhida uma parte que compreende a região central da cidade, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2: Grafo da rota.**  
**Fonte: Google Earth Pro.**

Após definido o trecho a ser analisado, foi realizado o cadastramento dos nós com suas respectivas coordenadas geográficas em planilha eletrônica. O cadastramento de todos os nós (vértices) no mapa corresponde ao grafo ou rede do problema a ser otimizado. A Figura 2 apresenta o cadastramento e mapeamento realizado. Cunha (2000) aponta que a obtenção do grafo é um aspecto pouco discutido, mas de fundamental importância para a aplicação dos modelos matemáticos em problemas de roteirização reais, uma vez que a representação do grafo reflete diretamente na qualidade dos resultados, assim como na viabilidade do roteiro otimizado.

Inicialmente o grafo da rota ( $G = N, A$ ) contava com 94 vértices (N0 a N94) e 270 arcos (ruas), sendo o nó N94 o ponto de origem e chegada. Entretanto, o grafo do problema não apresentou um *Circuito Euleriano* ( $G' = N, A'$ ). Dessa forma, o grafo então passou a ter 94 nós e 318 arcos. Esse aumento na quantidade de arcos é devido aos vértices duplicados (nós ímpares) que foram incorporados.

O algoritmo utilizado nesta etapa foi implementado em linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*) do aplicativo Microsoft Excel 2013. Já o emparelhamento dos nós ímpares foi realizado manualmente, por se tratar de um problema de pequeno porte. Para Morábito (1996) *apud* Godinho e Junqueira (2005) resolver este tipo de problema manualmente, com grande quantidade de vértices, se torna inviável em função no número de combinações.

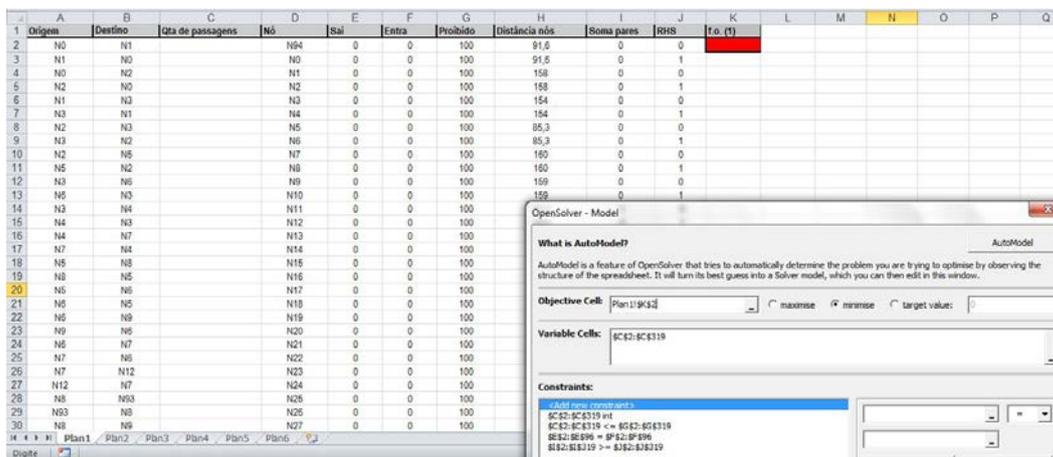
O Problema do Carteiro Chinês Não Orientado (PCCND) foi modelado em Programação Linear Inteira através do solver COIN-OR CBC do software OpenSolver versão 2.7.1. A Figura 3 mostra a planilha do Excel e a janela do OpenSolver.

As duas primeiras colunas (origem e destino) correspondem à interação entre os vértices, formando assim os arcos do grafo, ou seja, as ruas da rede. A coluna C (qta de passagens) representa a quantidade de vezes que o caminhão passa pelo arco. A coluna D (nó) somente faz a identificação dos 94 nós do problema. As colunas E e F (sai e entra) correspondem a quantidade de vezes que o caminhão entra e sai de um nó.

A coluna G (proibido) representa a orientação dos arcos. Ela recebe o valor de 100 por que os arcos possuem duplo sentido, caso existisse um arco com alguma restrição de sentido, esta deveria ter assumido valor nulo. A coluna H corresponde à distância em metros entre os vértices do grafo. A coluna I (soma pares) deve apresentar as células intercaladas, admitindo valor nulo ou o resultado correspondente da quantidade de vezes que caminhão passa pelo arco.

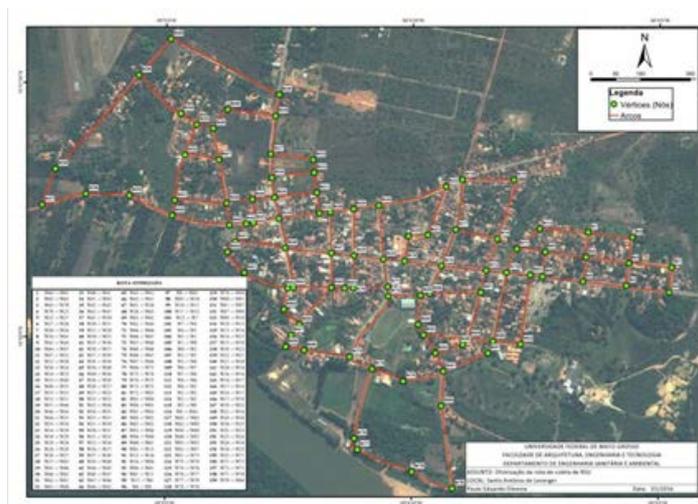
A coluna J (RHS) é para certificar que o caminhão passe pelo menos uma vez por cada rua, não importando o sentido. E por último a célula K2, em vermelho, que corresponde à função objetivo do problema, isto é, a função SOMAPRODUTO, que indica o somatório da quantidade de vezes que o caminhão passou por cada arco multiplicado pelo comprimento do mesmo.

O algoritmo utilizado para realizar a otimização do trecho estudado foi baseado no algoritmo descrito por Godinho e Junqueira (2005), porém com algumas modificações inseridas na rotina, tendo em vista a dificuldade de se escrevê-la. O algoritmo adaptado também foi implementado na linguagem de programação VBA.



**Figura 3: Planilha do Excel e janela do OpenSolver.**  
Fonte: Acervo próprio

A rotina computacional implementada compreende uma série de comandos que proporciona uma rota na qual seja percorrido um circuito que pode se iniciar em qualquer um dos nós, passando exatamente uma vez por cada arco e retornando ao nó de origem. No problema analisado, o nó de origem corresponde ao nó *N94*, ponto este que representa a garagem do caminhão. A Figura 4 apresenta o mapa da área estudada na cidade de Santo Antônio de Leverger/MT, com a tabela da rota otimizada.



**Figura 4. Mapa da área estudada e rota otimizada.**  
Fonte: Acervo próprio.

A rota otimizada verificada no mapa caracteriza-se por apresentar um grafo *Euleriano fortemente conectado*, ou seja, percorre todos nós do grafo, os quais possuem cardinalidade par. O caminho percorrido pelo caminhão visita 159 arcos de um total de 318, comprovando que o caminhão passa exatamente uma vez por cada arco,

uma vez que um arco corresponde na verdade a “dois arcos”, pois este possui sentido duplo, sendo esta a principal característica do PCCND.

O algoritmo utilizado resolveu o problema num tempo de processamento considerado razoável, 03 minutos e 55 segundos percorrendo um total de 20.172,36 m. Konowalenko (2012) encontrou diferentes tempos de processamento inferiores utilizando o PCCND modelado em programação linear aplicados na cobertura de arcos para varredores de rua, carteiros, medidores e entregadores de faturas de água e energia. Foram utilizados também diversos aplicativos de otimização: CBC, GLPK, Gurobi, Mosek e XPress. Os respectivos tempos de processamento e distâncias percorridas foram: 0,010s e 29.356,28m; 0,012s e 28.486,24m; 0,006s e 30.362,93m; 0,012s e 28.915,65m; e, 0,007s e 29.749,57m.

Ao observar os resultados obtidos por Konowalenko (2012), percebemos que, apesar de as distâncias encontradas pelo autor serem maiores, o problema foi resolvido em um tempo de processamento muito inferior ao deste trabalho. Pode-se atribuir este fato ao programa em que o algoritmo foi implementado, assim como a própria construção e formulação do algoritmo usado na otimização.

Uma observação importante a ser destacada no resultado obtido pela otimização, é a presença de manobras especiais tais como marcha ré e retorno numa mesma via. A solução encontrada pelo algoritmo apresenta oito situações em que o caminhão é obrigado a utilizar esses recursos.

Esse é um problema que praticamente não possui solução, se for considerado a redução da distância percorrida como objetivo principal do problema, uma vez que para evitar tais manobras, o motorista será obrigado a realizar percursos mais extensos. Os estudos apresentados por Konowalenko (2012) e Sherafat (2004) também relatam tais problemas.

Como o objetivo do trabalho não era otimizar toda a rota da coleta de resíduos de toda a cidade, julgou-se necessário apenas observar a distância percorrida pelo caminhão no trecho de estudo. Entretanto, por não existir uma rota que compreendesse somente o trecho analisado, uma vez que esse trecho escolhido não possui uma rota definida na realidade, a distância percorrida pelo caminhão para posteriormente comparação com a distância da rota otimizada, foi elaborada por meio de uma associação das rotas dos setores e roteiros que passassem pelo trecho escolhido.

Ainda que na literatura a maioria dos trabalhos expõem um estudo de rota já existente, aqui neste trabalho julgou-se pertinente apresentar uma proposta de otimização de um setor que não corresponde com a realidade, em função de que o município, mesmo informando um roteiro de coleta, nem sempre o cumpre de forma eficaz e eficiente como relatado por Costa (2015), demonstrando assim que muitas vezes o trajeto definido não é executado pelos motoristas, que se baseiam de algumas improvisações na prestação do serviço.

A Tabela 1 apresenta as distâncias percorridas pela rota atual do município e sua respectiva otimização, assim como a eficiência obtida na realização do trabalho.

**Tabela 1: Comparação entre rota atual e otimizada.**

Situação	Distância percorrida (m)	Eficiência Obtida
Rota atual	27.212,04	25%
Rota otimizada	20.172,36	

**Fonte: Acervo próprio**

Ao analisarmos a tabela acima, percebemos que a otimização da rota proporcionou uma economia de 25% em relação à rota atual da cidade, correspondendo a um valor de 7.039,68 m.

Em seus estudos, Sherafat (2013) desenvolveu um software que assegurou uma economia de aproximadamente 15%, o que segundo ele, justificaria uma aplicação real, tendo em vista que o programa desenvolvido apresentou parâmetros desejáveis na solução de problemas de roteamento em arcos.

Já Brasileiro e Lacerda (2008), encontraram reduções percentuais na ordem de 41% na distância total percorrida, utilizando como ferramenta de roteirização o software *TransCAD*, um Sistema de Informação Geográfica para Transportes (SIG-T).

O autor relata que como vantagens na utilização desse software pode-se citar: solução de roteirização em menor tempo; possibilidade de análise de mudança dos valores das variáveis, dentre outros.

Outros trabalhos presentes na literatura utilizando como modelo o Problema do Carteiro Chinês, como o de Moro (2014) e Rigonatti e Souza (2011), também apresentaram reduções entre as faixas citadas.

Observando o resultado obtido pela otimização da rota, percebemos que os valores obtidos estão em conformidade com os encontrados na literatura. Podemos observar também que valor da economia obtido, apesar de se tratar de um estudo preliminar, pode ser mais expressivo se considerarmos uma rede maior, de porte médio a grande. Porém é necessário realizar mais testes e considerar outros fatores intervenientes na roteirização, como capacidade do caminhão, tempo de realização da coleta, penalização de percurso em marcha ré, dentre outros.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando a otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos um estudo relevante em função da possibilidade de redução com gastos operacionais na coleta e transportes dos resíduos, um estudo foi realizado no município de Santo Antônio de Leverger-MT.

O PCCND foi modelado em programação linear inteira através do solver COIN-OR CBC do aplicativo OpenSolver. Os resultados alcançados com a aplicação do modelo foram satisfatórios, uma vez que possibilitaram a otimização da rota.

Os resultados obtidos pela rota otimizada proporcionaram uma redução na faixa de 25% na distância total percorrida pelo caminhão. Os valores obtidos corroboram com os resultados encontrados por diversos autores na literatura, mostrando assim que o estudo realizado pode ser uma alternativa de planejamento logístico-operacional para a cidade de Santo Antônio de Leverger.

Dentre as sugestões que se pode citar para melhorar o estudo realizado, estão:

- Realizar a calibração do modelo;
- Considerar maiores restrições na resolução do problema, como capacidade do caminhão, tempo de realização da coleta, redução de manobras especiais, dentre outros;
- Realizar um estudo de roteirização visando a implementação do mesmo no município estudado;
- Considerar outros modelos e formas de resolução do problema, assim como a utilização de algoritmos mais robustos para obtenção da solução mais próxima da otimalidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2015.
2. BRASILEIRO, L. A.; LACERDA, M. G. Análise de Uso de Sig no roteamento dos Veículos de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares. Engenharia Sanitária e Ambiental. Nota Técnica, v. 13, n. 4, p. 356-360, out/dez 2008.
3. BARBOSA, I. p. Análise da Roteirização em uma Empresa de Transporte e Logística do Distrito Federal. Relatório Final de Estágio Supervisionado. Universidade de Brasília. Faculdade UNB Planaltina. Planaltina-DF, 2013.

4. BATTISTELLA, Nathália. Avaliação de Modelo Computacional para Planejamento e Otimização de Rotas de Coleta para Catadores de Materiais Recicláveis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis –SC, 2014.
5. CAMPOS, G. G.; YOSHIDA, H. T. Y.; BELFIORE, P. P. Algoritmos Genéticos e Computação Paralela para Problemas de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas. *Gestão e Produção*, v.13, n.2, maio-ago, p. 271-281, 2006.
6. COSTA, K. U. D. Técnica de Cenarização de Auxílio a Índice de Qualidade de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos – IQGIR. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá-MT, 2015
7. CUNHA, C. B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. *Transportes*, v. 8, n. 2, p. 51-74, 2000.
8. EISELT, H. A.; GENDREAU, M.; Laporte, G. Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem. *Operations Research*, Vol. 43, No. 2, 1995.
9. FRANCATO, L. A. Otimização Multiobjetivo para a Operação de Sistemas urbanos de Abastecimento de Água. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 2002.
10. GODINHO FILHO, M.; JUNQUEIRA, R. A. R. Um Algoritmo para Auxiliar na Escolha de Métodos de Solução para o Problema do Carteiro Chinês: Proposta e Aplicação em uma Grande Cidade do Interior Paulista. XII SIMPEP. Bauru-SP, 2005.
11. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Santo Antônio de Leverger. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510780&search=mato-grosso|santo-antonio-do-leverger>>. Acesso em: 01 jan. 2016.
12. LIMA, R. S.; LIMA, J. P.; SILVA, T. V. V. Roteirização em Arcos com um Sistema de Informações Geográficas para Transportes: Aplicação em Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos. *Journal of Transport Literature*. Vol. 6, n. 2, p. 180-196, apr 2012.
13. MEDEIROS, J. C. G.; OLIVEIRA, J. R.; SANTOS, H. T. A.; SALDANHA, A. S. L.; SILVA, W. A. Modelagem Matemática para Programação e Roteirização das Ordens de Serviços de Verificação de Leitura em uma Distribuidora de Energia Elétrica. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP. Fortaleza-CE, 2015.
14. MORO, F. M. O Problema do Carteiro Chinês Aplicado na Otimização de Rotas Usadas na Coleta de Lixo Reciclável: um Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Tecnológica do Paraná. Medianeira-PR, 2014.
15. PAES, F. G. Otimização de Rotas para a Coleta do Lixo Doméstico: um Tratamento Grasp do Problema do Carteiro Chinês Misto (PCCM). Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Campos dos Goytacazes-RJ, 2004.
16. PRESTES, A. N. Uma Análise Experimental de Abordagens Heurísticas Aplicadas ao Problema do Carteiro viajante. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2006.
17. KONOWALENKO, Flávia. Problema do Carteiro Chinês Não-Orientado e Misto para a Otimização de Rotas na Cidade de Irati/PR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2012.
18. REINA, C. D. Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo Utilizando Algoritmo Genético. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2012.
19. RIGONATTI, A.; SOUZA, L. D. Otimização de Rotas de Caminhões de Coleta Lixo Urbano. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo-SP, 2011.
20. SHERAFAT, Hassan. Algoritmos Heurísticos de Cobertura de Arcos. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2004.
21. SHERAFAT, Hassan. Sistema Construtor de Circuitos e sua Aplicação na Roteirização de Coleta de Lixo Domiciliar. *Revista GEINTEC*, v. 3, n. 5, p. 329-347, 2013.
22. SILVA, F. C. B.; HABERLAND, N. T.; PASCOAL JUNIOR, A.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Avaliação de Rotas de Coleta de Lixo Doméstico com Utilização de Ferramentas de Rede em Ambiente de Sistemas de Informações Geográficas. XIX Encontro Anual de iniciação Científica-EAIC. Irati-PR, 2010.
23. WU, Luciele; CUNHA, C. B. O Problema de Roteirização Periódica de Veículos. *Transportes*. Vol. XVI, n. 1, p. 5-16, jun. 2008)