

Nathália Battistella

**AVALIAÇÃO DE MODELO COMPUTACIONAL PARA
PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA
PARA CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Odacir Deonísio Graciolli

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Battistella, Nathália

Avaliação de modelo computacional para planejamento e otimização de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis / Nathália Battistella ; orientador, Armando Borges de Castilhos Jr. ; coorientador, Odacir Deonísio Graciolli. - Florianópolis, SC, 2014.

145 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Resíduos Sólidos Urbanos. 3. Catadores de Materiais Recicláveis. 4. Planejamento de Rotas. 5. Roteirização de Veículos. I. Castilhos Jr., Armando Borges de. II. Graciolli, Odacir Deonísio. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Nathália Battistella

**AVALIAÇÃO DE MODELO COMPUTACIONAL PARA
PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA
PARA CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Aprovado por:

Prof. William Gerson Matias, Dr.
(Coordenador)

Prof. Armando Borges de
Castilhos Jr., Dr.
(Orientador)

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Soares Pinto
Sant'Anna, Dr.

Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.

Prof.^a Claudia Weber Corseuil, Dr.^a

Florianópolis, 13 de março de 2014.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com contribuições diretas ou indiretas que possibilitaram o desenvolvimento do mesmo. Sendo assim, dedico meus agradecimentos:

Ao orientador Armando B. de Castilhos Jr. e ao coorientador Odacir D. Graciolli pelas ideias, dedicação, e incentivo.

A Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por proporcionarem a realização desse trabalho.

Aos membros da banca pela dedicação e contribuições dadas para a melhoria da dissertação.

Ao Instituto Pró-Cidadania de Curitiba (IPCC) pela permissão para realização do presente estudo.

Aos catadores membros do programa ECOcidadão pela colaboração no levantamento de dados.

Ao Marcio Bigolin e ao Vitor Somenzi pelo coleguismo no desenvolvimento do trabalho.

Às desde sempre e para sempre amigas e companheiras Claudia D. Pereira, Cristina M. Lalau e Sandra R. Ramos.

Aos colegas de laboratório Isabela Bonatto, Letícia Moratelli, Elivete C. Prim, Marlon Capanema, e em especial à Naiara F. Ramos por todo o apoio, dicas científicas, e pela amizade.

Aos demais colegas do departamento pelos momentos de descontração, trocas de experiências e informações, além das inúmeras conversas pelos corredores e escadarias do prédio.

Ao meu pai Joel e à minha mãe Loiri, pelos ensinamentos e educação dados ao longo de toda a minha jornada.

À minha irmã Fabiana, aos tios Jussara e Paulo, à prima Marina, ao namorado Alexandre pelas conversas, pelas dicas, pelo incentivo e pelo apoio.

À Deus por escrever tão certo apesar das linhas tortas, e à Nossa Senhora Aparecida pela aprovação no mestrado.

O lixo é matéria-prima fora do lugar.
(Sidney Grippi, 2001)

RESUMO

A coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos é uma ferramenta integrante do mecanismo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Atualmente, os catadores de materiais recicláveis são importantes agentes de coleta que excluídos do mercado formal de trabalho passaram a trabalhar e sobreviver dessa profissão (MAGERA, 2005). Entretanto, esta classe de trabalhadores ainda sofre de muitas carências, sendo indispensável à promoção de ações que contribuam para sua inclusão social, além do desenvolvimento de mecanismos que melhorem suas condições de trabalho. O objetivo da pesquisa foi avaliar as funcionalidades de um modelo computacional de otimização e planejamento de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis. Participaram do estudo membros de associações de catadores de materiais recicláveis localizadas no município de Curitiba – PR. Acompanharam-se as rotas de coleta realizadas por eles, que por sua vez foram otimizadas pelo modelo proposto e então aplicadas em campo, o que permitiu analisar a eficiência do sistema em relação aos parâmetros tempo e distância. Concomitantemente a estas ações, o modelo foi submetido a testes baseados nos conceitos da engenharia de software. Verificou-se que o tempo médio para a realização do percurso correspondente a uma rota de coleta realizada pelos catadores é de 1h28min33s. Ao analisar as rotas em termos da distância percorrida, obteve-se uma média de 5,33 km. Na otimização de rotas obteve-se como principal resultado a redução de 6,95% do tempo e 8,44% na distância de uma rota de coleta de materiais recicláveis, antes realizada empiricamente por um catador, resultados estes condizentes com a aplicação de outros modelos de roteirização encontradas na literatura. No planejamento de rotas obteve-se como principal resultado a redução de 13,77% do tempo e 31,70% na distância, demonstrando que a visualização em mapa da rota atual, aliada a um olhar crítico de um planejador, pode ser um grande diferencial para o trabalho do catador, o que representa uma importante aplicação do modelo. Por fim, tem-se um modelo computacional em estado satisfatório para implantação em associações e cooperativas de catadores, a ser utilizado em conjunto com outras ações no gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Coleta de RSU; Catadores; Materiais recicláveis; Planejamento de rotas; Roteirização de veículos.

ABSTRACT

Selective collection of municipal solid waste is a part of the solid waste management mechanism. Currently, the waste pickers are important collection agents, which were excluded from the formal labor market and began to work and survive with this profession (MAGERA, 2005). However, these workers still suffer from many needs, being necessary to promote actions that contribute to their social inclusion and improve their working conditions. The aim of this research is to evaluate the functionalities of a computational model of optimization and planning collection routes for waste pickers. Members of associations of waste pickers located in Curitiba - PR participated in the study. First of all, the collection routes made by them were followed, then were optimized in the computational model developed, and finally applied in the field, allowing to analyze the efficiency of the system based on distance and time parameters. Concurrent with these actions, the proposed model was tested based on the concepts of software engineering. The results showed that the average time of a route collection made by pickers is one hour, twenty eight minutes and thirty three seconds. Analyzing the routes in terms of distance, we obtained an average of 5.33 km. In route optimization was obtained as main result a reduction of 6.95% of the time and 8.44% of the distance of a route for collecting recyclable materials by a waste picker. In route planning was obtained as main result the reduction of 13.77% of the time and 31.70% of the distance, showing that the view of the current route in a map combined with a critical eye of a planner can be a great advantage for the work of the waste pickers, which is an important application of the proposed model. At last, there is a suitable computational model for deployment in waste pickers associations and cooperatives, to be used in conjunction with other actions in the integrated management of municipal solid waste.

Keywords: Collection of MSW; Waste pickers; Recyclable materials. Route planning; Routing (Routeing).

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Etapas básicas de um GIRSU. | 29 |
| Figura 2 - Valores médios por habitante/ano correspondentes aos recursos aplicados na coleta de RSU e nos demais serviços de limpeza urbana. | 36 |
| Figura 3 - Canais de distribuição dos bens descartáveis. | 45 |
| Figura 4 - Evolução do número de municípios com coleta seletiva no Brasil. | 47 |
| Figura 5 - (a) Grafo não orientado; (b) Grafo orientado; (c) Grafo misto. | 60 |
| Figura 6 - Seleção das organizações e dos catadores colaboradores. | 70 |
| Figura 7 - Levantamento, planejamento e otimização de rotas. | 73 |
| Figura 8 - Site do <i>Open Street Map</i> : www.osm.org | 78 |
| Figura 9 - Seleção da área a ser exportada. | 78 |
| Figura 10 - Carregamento dos dados da área selecionada. | 79 |
| Figura 11 - Tela inicial do sistema. | 79 |
| Figura 12 - Edição de rotas, com destaque para os vértices que podem ser movidos para outro ponto qualquer do mapa. | 81 |
| Figura 13 - Apresentação dos dados da rota. | 81 |
| Figura 14 - Visualização topológica da rede implantada no sistema. | 81 |
| Figura 15 - Definir cor para a rota nova. | 82 |
| Figura 16 - Demarcação de pontos de coleta no mapa. | 82 |
| Figura 17 - Detalhes do ponto de coleta. | 83 |
| Figura 18 - Seleção dos pontos de coleta em que o catador irá passar (pontos em azul). | 83 |
| Figura 19- Escolha do tipo da rota a ser gerada. | 84 |
| Figura 20 - Rota otimizada gerada pelo sistema. | 85 |
| Figura 21 - Visualização da sequência de pontos a ser percorrida. | 85 |
| Figura 22 - Cadastro de catador no sistema. | 86 |
| Figura 23 - Modelo de carrinho elétrico utilizado pelos catadores ligados ao programa EcoCidadão, Curitiba - PR. | 91 |
| Figura 24 - Tempo de percurso na realização de rotas de coleta por catadores de materiais recicláveis. | 93 |
| Figura 25 - Distância percorrida na realização de rotas de coleta por catadores de materiais recicláveis. | 94 |
| Figura 26 - Rota 1. | 97 |
| Figura 27 - Rota 2. | 97 |
| Figura 28 - Rota 3. | 98 |
| Figura 29 - Rota 4. | 99 |
| Figura 30 - Rota 5. | 99 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31 - Encontro entre caminhão de coleta da prefeitura e catador. | 100 |
| Figura 32 - Rota 6. | 101 |
| Figura 33 – Catador coletando em um supermercado que confia a coleta de seus resíduos a ele. | 102 |
| Figura 34 - (a) Rota 7; (b) Rota 8..... | 102 |
| Figura 35 - Rota 9. | 104 |
| Figura 36- Rota 10. | 104 |
| Figura 37 - (a) Rota 11; (b) Rota 12..... | 106 |
| Figura 38 - Rota 15. | 107 |
| Figura 39 - Rota 16. | 107 |
| Figura 40 - Pontos de coleta da rota 10 e rota gerada pelo sistema. ... | 109 |
| Figura 41 - Representação gráfica dos tempos obtidos no acompanhamento das rotas empírica e otimizada. | 109 |
| Figura 42 - Rotas após planejamento. (a) Rota 13; (b) Rota 14..... | 110 |
| Figura 43 - Rota ótima gerada pela função "Gerar TSP"..... | 112 |
| Figura 44 - Desenho da rota no Google™ <i>Earth</i> para comparação das distâncias obtidas. | 112 |
| Figura 45 - Apresentação da sequência de pontos a serem percorridos na rota gerada..... | 113 |
| Figura 46 – Situação hipotética de sobreposição de roteiros. | 114 |
| Figura 47 - Rotas empíricas a serem planejadas. | 114 |
| Figura 48 - Alternativa de planejamento de rotas para mais de um catador..... | 115 |
| Figura 49 - Cadastro de informações referente aos catadores no sistema. | 116 |
| Figura 50 - Cadastro de informações referentes às associações e cooperativas. | 116 |
| Figura 51 - Cadastro de tipos de veículos. | 116 |
| Figura 52 - Compilação de dados para a geração de relatórios..... | 117 |
| Figura 53 - Relatório mostrando todos os pontos de coleta do sistema. | 117 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Crescimento índice de geração X Crescimento índice de coleta..... | 35 |
| Tabela 2 - Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos..... | 49 |
| Tabela 3 - Perfil socioeconômico dos catadores de materiais recicláveis..... | 51 |
| Tabela 4 - Relação das organizações contatadas, que apresentaram potencial negativo para participação na pesquisa..... | 88 |
| Tabela 5 - Relação das organizações contatadas que apresentaram potencial positivo para participação na pesquisa..... | 90 |
| Tabela 6 - Resumo das rotas realizadas..... | 92 |
| Tabela 7 - Tempo total, de coleta, e em percurso da rota 9..... | 103 |
| Tabela 8 - Tempo total, de coleta, e em percurso da rota 10..... | 104 |
| Tabela 9 - Dados coletados no acompanhamento das rotas empírica e otimizada..... | 109 |
| Tabela 10 - Dados coletados no acompanhamento das rotas empíricas e planejadas..... | 110 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| AFNOR | Association Française de Normalisation |
| CEMPRE | Compromisso Empresarial para Reciclagem |
| Centcoop | Cooperativas de Catadores de Materiais Recicláveis |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| € | Pertence |
| EPI | Equipamentos De Proteção Individual |
| G | Grafo |
| GIRSU | Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPCC | Instituto Pró-Cidadania de Curitiba |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| IPTU | Imposto Predial e Territorial Urbano |
| LARESO | Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos |
| MNCR | Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis |
| M-PCV | Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes |
| NBR | Norma Brasileira |
| PCC | Problema do Carteiro Chinês |
| PCCM | Problema do Carteiro Chinês Misto |
| PCCNO | Problema do Carteiro Chinês Não Orientado |
| PCCO | Problema do Carteiro Chinês Orientado |
| PCV | Problema do Caixeiro Viajante |
| PET | Politereftalto de Etileno |
| PEV's | Postos de Entrega Voluntária |
| PMC | Prefeitura Municipal de Curitiba |
| PMF | Prefeitura Municipal de Florianópolis |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| PPGEA | Pós-Graduação em Engenharia Ambiental |
| RECESA | Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| SEBRAE | Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas |
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |

UCS
UFSC

Universidade de Caxias do Sul
Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 25 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 27 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 27 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos..... | 27 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 29 |
| 2.1 | GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RSU | 29 |
| 2.2 | COLETA E TRANSPORTE DE RSU | 33 |
| 2.3 | A CADEIA DA RECICLAGEM..... | 36 |
| 2.3.1 | Coleta Seletiva, Reciclagem e Catadores | 36 |
| 2.3.2 | A Viabilidade da Reciclagem..... | 42 |
| 2.3.3 | Cadeia Produtiva e Logística Reversa..... | 43 |
| 2.3.4 | A Coleta Seletiva e a Reciclagem no Brasil..... | 46 |
| 2.3.5 | A Coleta Realizada Por Catadores | 48 |
| 2.4 | ROTEIROS DE COLETA DE RSU..... | 53 |
| 2.4.1 | Sistemas de Informações Geográficas..... | 55 |
| 2.4.2 | Parâmetros de Dimensionamento de Rotas de Coleta.. | 57 |
| 2.4.3 | Modelos de Roteamento de Veículos..... | 59 |
| 2.4.4 | Estudos correlatos: Roteirização de veículos na coleta de RSU | 63 |
| 2.5 | ENGENHARIA DE SOFTWARE: DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE | 64 |
| 3 | METODOLOGIA | 69 |
| 3.1 | LEVANTAMENTO DE DADOS | 69 |
| 3.1.1 | Seleção das organizações e dos catadores colaboradores | 69 |
| 3.1.2 | Levantamento, planejamento e otimização de rotas..... | 72 |
| 3.2 | FUNCIONALIDADES DO SISTEMA E TESTES | 76 |
| 3.2.1 | Descrição das funcionalidades do modelo | 77 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 87 |
| 4.1 | SELEÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES E CATADORES COLABORADORES | 87 |
| 4.2 | LEVANTAMENTO DE ROTAS REALIZADAS EMPÍRICAMENTE | 92 |
| 4.2.1 | As associações e sua participação na pesquisa..... | 94 |
| 4.2.2 | Descrição das rotas realizadas e discussões | 96 |
| 4.3 | ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE ROTAS | 108 |
| 4.4 | TESTES DAS PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES DO SISTEMA | 111 |
| 4.4.1 | Roteirização (Otimização de rotas) | 111 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.4.2 | Planejamento de rotas | 113 |
| 4.4.3 | Cadastros e Relatórios..... | 115 |
| 4.5 | VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO MODELO COMPUACIONAL PELAS ASSOCIAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS REICLÁVEIS E OUTRAS DISCUSSÕES | 118 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 121 |
| 5.1 | CONCLUSÕES..... | 121 |
| 5.2 | RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES | 122 |
| | REFERÊNCIAS..... | 124 |
| | APÊNDICE A – Questionário aplicado para seleção das organizações e dos catadores colaboradores..... | 137 |
| | ANEXO A - Desenvolvimento de um protótipo para apoio ao planejamento de rotas para catadores de material reciclável. | 138 |
| | ANEXO B – Princípios de sustentabilidade específicos para a gestão dos resíduos sólidos urbanos..... | 145 |

1 INTRODUÇÃO

A transformação da matéria e a geração de resíduos integram a vida e a atividade humana em toda a sua existência. Primeiramente os resíduos gerados eram basicamente excrementos e restos de comida. Foi com o início da atividade agrícola e da produção de ferramentas de trabalho e de armas que houve uma modificação do tipo de resíduos gerados (BIDONI e POVINELLI, 1999). Com a forte industrialização ocorrida e o aumento da densidade populacional, modificou-se o estilo de vida de grande parte da população mundial. O modelo capitalista que rege a sociedade atual, incentiva o consumo crescente de bens, que desencadeia o aumento da geração de resíduos. Visto isso, o gerenciamento dos resíduos gerados passou a ser uma questão de suma importância na manutenção da qualidade de vida humana (BARÃO et al., 2008).

O processo de coleta de resíduos representa, geralmente, a maior preocupação dos órgãos de gerenciamento dos serviços de limpeza pública brasileiros, devido ao seu alto custo e o grau de dificuldade de realização. Segundo CEMPRE (2010), os serviços de limpeza absorvem entre 7 e 15% dos recursos de um orçamento municipal, dos quais 50 a 70% são destinados exclusivamente à coleta e ao transporte de resíduos. Quanto aos materiais recicláveis, seu processamento propiciaria às prefeituras brasileiras uma economia na ordem de 5 a 12% do seu orçamento anual (MAGERA, 2005), o que demonstra uma compensação dos gastos com um serviço pelos ganhos com o outro. Além disso, a atividade realizada por catadores de materiais recicláveis auxilia na viabilidade da coleta seletiva urbana, reduzindo a demanda para os caminhões coletores municipais.

No Brasil, a reciclagem iniciou com o trabalho dos catadores de materiais recicláveis, que excluídos do mercado formal de trabalho passaram a trabalhar e sobreviver dessa profissão (MAGERA, 2005). Como uma forma de reação ao desemprego e à exclusão, os catadores passaram a se agrupar em organizações (cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis), como alternativa de trabalho, renda, autonomia, resgate da cidadania e reconhecimento social (OLIVEIRA et al., 2012). Aos poucos conseguiram conquistar espaço na sociedade com o reconhecimento de seu trabalho. Em 2011, no município de Curitiba, cerca de 300 catadores recolheram 4,7 mil toneladas de materiais recicláveis, que garantiram renda e qualidade de vida para esses trabalhadores (PMC, 2013).

No geral, ao coletarem materiais recicláveis, os catadores realizam rotas aleatórias, normalmente coletando nos arredores da associação (61% dos catadores). Existe um percentual de catadores que realizam a mesma rota de coleta diariamente (39% dos catadores) (RAMOS, 2012). De qualquer forma, nenhum deles trabalha com um planejamento prévio da organização como um todo, o que resulta em improdutividade no trabalho, e demonstra a importância da utilização de um sistema que auxilie no planejamento de roteiros, como o modelo computacional utilizado no presente trabalho.

O processo de coleta por sua vez, está relacionado com diversos fatores, como, por exemplo, pessoal de coleta, frota de veículos coletores, relacionamento público, frequência e horário de coleta, determinação das rotas, entre outros. Para que se obtenha um sistema que funcione de forma integrada, deve-se realizar um dimensionamento de roteiros a partir do estudo e planejamento que considerem todos esses fatores (GRACIOLLI, 1994).

Utiliza-se o termo roteirização de veículos, como o equivalente ao inglês *routing* (ou *routeing*) para designar o processo de determinação de rotas (sinônimo de roteiro ou percurso) a serem cumpridas por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitem de atendimento. Os problemas de roteamento de veículos consistem em definir rotas para veículos que minimizem o custo total de atendimento, também chamados de rotas ótimas, assegurando que todos os pontos definidos previamente sejam atendidos, obedecendo às restrições e particularidades de cada problema (BARÃO et al., 2008).

Portanto, a roteirização do sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares é uma ferramenta que reduz as consequências da falta de planejamento urbano, e otimiza a utilização dos recursos materiais e humanos. Busca-se encontrar os percursos que apresentam os menores custos, considerando número de viagens, número de veículos, distância percorrida e tempo total, e que atendam às restrições de circulação dos veículos nas ruas da cidade, de capacidade dos veículos coletores e de duração da jornada de trabalho do pessoal.

Existem diversos sistemas computacionais de roteirização disponíveis no mercado para comercialização, porém, além de apresentarem custo elevado de aquisição, os fins são atender propósitos empresariais na área de logística e transportes, e a interação com o usuário é extremamente complexa para o contexto que se pretende atuar, já que os catadores são pessoas físicas de baixa renda (BRASIL, 2010) e

normalmente de baixa escolaridade (RAMOS, 2012). Por outro lado, o modelo computacional analisado neste trabalho visa permitir incremento na produtividade do trabalho executado pelos catadores de materiais recicláveis através do planejamento de rotas (a partir da visualização das rotas em mapa) e da otimização de rotas (a partir dos princípios da roteirização de veículos).

Com a aplicação das condições e variantes supracitadas, o presente trabalho apresenta a análise de um modelo computacional que visa auxiliar no planejamento de rotas para a coleta de materiais recicláveis por catadores de forma a minimizar a distância percorrida e o tempo despendido na execução dessa tarefa. É importante destacar que a construção do modelo computacional aqui apresentado é bastante genérica, e possibilita a sua aplicação pelas diversas organizações (associações e cooperativas) de catadores que por ele se interessem.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho é resultado de várias reivindicações feitas pelo Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR), e está inserido no projeto de pesquisa “Incremento na produtividade da coleta de materiais recicláveis por catadores: Ferramenta de apoio para definição de roteiros de coleta ótimos e projeto de veículo coletor apropriado a motor”, que objetiva o desenvolvimento de tecnologias para atender as duas linhas do projeto. A linha que visa promover o planejamento e otimização de rotas de coleta de materiais recicláveis por catadores é o objeto de estudo deste trabalho.

Abordando o histórico do grupo de pesquisa, através do Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos (LARESO), e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, alguns estudos foram realizados abordando catadores de materiais recicláveis e roteirização de veículos (temas centrais do presente trabalho). Em relação ao primeiro tema, Ramos (2012) realizou o levantamento do perfil dos catadores de materiais recicláveis do país, que permitiu compreender também o seu cotidiano de trabalho. Aquino (2007) apresentou uma forma de organização logística para que as associações de catadores de materiais recicláveis realizassem a comercialização direta de seus produtos às indústrias recicladoras, visando aumentar o valor agregado.

Já, no contexto do planejamento, Graciolli (1994) propôs um modelo para o planejamento dos roteiros de veículos na coleta de

resíduos sólidos de serviços de saúde a fim de que o veículo coletor percorresse a menor distância possível. No mesmo sentido, Canassa (1992) realizou um estudo para apresentar um modelo eficiente na coleta dos resíduos sólidos urbanos, minimizando os percursos realizados pelos veículos coletores, e melhorando a utilização da capacidade dos mesmos.

Algumas são as leis que amparam o presente trabalho. No âmbito federal, primariamente tem-se a Lei N° 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

O incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis é um instrumento da PNRS. Perante esta lei, têm prioridade no acesso aos recursos da união os municípios que implantarem a coleta seletiva com a participação das cooperativas ou de associações, formada por pessoas físicas de baixa renda (BRASIL, 2010).

A elaboração de programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores é conteúdo mínimo exigido pela PNRS na elaboração do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, bem como a elaboração de metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010).

No estado de Santa Catarina, destaca-se o Código Estadual do Meio Ambiente, sob forma da Lei N° 14.675, de 13 de abril de 2009 (SANTA CATARINA, 2009), e ainda a Política Estadual de Resíduos Sólidos, sob forma da Lei N° 13.557, de 17 de novembro de 2005 (SANTA CATARINA, 2005).

Apresentados tais argumentos, tem-se que o tema central do presente trabalho busca incrementar a produtividade do setor de coleta seletiva realizada por catadores, sendo esta uma classe de trabalhadores ainda carente de instrumentos que melhorem suas condições de trabalho. O objetivo do trabalho se configura como parte da solução para os desafios encontrados pela engenharia sanitária e ambiental no país, no que tange a problemática dos resíduos sólidos urbanos.

Dentro do contexto acima apresentado, a principal pergunta desta pesquisa é a seguinte: As funcionalidades do modelo de roteirização

desenvolvido estão aptas para aplicação em associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, considerando rotas de coleta atuais?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar as funcionalidades de um modelo computacional de otimização e planejamento de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis, aplicado no município de Curitiba – PR.

1.2.2 Objetivos Específicos

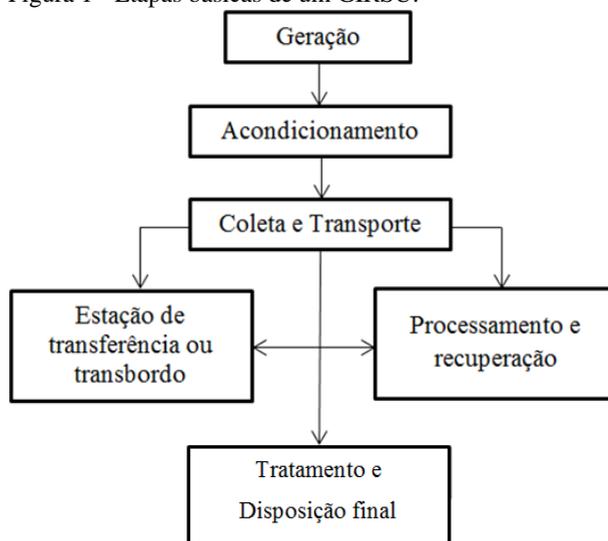
- Quantificar as variáveis tempo e distância nas rotas de coleta observadas em campo, com o auxílio do modelo proposto;
- Verificar a eficácia do modelo na otimização e no planejamento de rotas para coleta de materiais recicláveis por catadores;
- Apresentar e testar as funcionalidades do sistema de roteirização para coleta de materiais recicláveis por catadores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RSU

O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU) é uma das atividades do saneamento municipal e tem como objetivo principal propiciar a melhoria ou a manutenção da saúde, isto é, o bem estar físico, social e mental da comunidade. O gerenciamento dos resíduos sólidos deve ser integrado, ou seja, deve englobar etapas articuladas entre si, desde a não geração até a disposição final, com atividades compatíveis com as dos demais sistemas do saneamento ambiental, sendo essencial a participação ativa e cooperativa do primeiro, segundo e terceiro setor, ou seja, governo, iniciativa privada e sociedade civil organizada, respectivamente (CASTILHOS JUNIOR, 2003). As etapas básicas de um GIRSU, bem como suas inter-relações, são apresentadas na estrutura de fluxograma (Figura 1).

Figura 1 - Etapas básicas de um GIRSU.



Fonte: Adaptado de TCHOBANOGLIOUS (1977).

A *geração de resíduos* é uma variável dependente de uma série de fatores como: renda, educação, época do ano, estilo de vida, entre outros. A geração de resíduos pode ser trabalhada para que seja um

fator decrescente, em viés de uma produção e consumo conscientes (CEMPRE, 2010).

O *condicionamento* é a primeira etapa de remoção dos RSU e é de responsabilidade do gerador. Os resíduos devem ser acondicionados em embalagens que apresentem bom desempenho, ou seja, que não rompam ou quebrem, pois isso resultaria em poluição ambiental e risco à saúde pública. O condicionamento externo realizado corretamente facilita a etapa posterior, de coleta (CEMPRE, 2010).

A etapa referente à *coleta e transporte* dos RSU engloba desde o momento de partida do veículo coletor da garagem, a realização da rota para remoção dos resíduos previamente acondicionados, passando pelo local de descarga, até o seu retorno ao ponto de partida (MONTEIRO et al., 2001). Esta etapa requer um bom planejamento a fim de ser executada com eficiência, e será apresentada em mais detalhes na sequência.

As *estações de transferência ou transbordo* são unidades localizadas próximas ao centro de massa de geração de resíduos, para onde se deslocam os caminhões de coleta após atingirem sua capacidade de carga, descarregam, e então retornam para completar o roteiro de coleta. Posteriormente, os resíduos serão transportados ao seu destino final por caminhões com, no mínimo, o triplo da capacidade de carga de um caminhão de coleta convencional. Desta forma, consegue-se reduzir, de uma maneira geral, os gastos com o transporte (MONTEIRO et al., 2001).

O método de *processamento* dos resíduos sólidos urbanos mais utilizado atualmente é a incineração, que tem como vantagem a redução significativa do volume dos resíduos, a diminuição de seu potencial tóxico, e a possibilidade de utilização da energia liberada com a queima. Todavia, o método tem como fator limitante os custos de instalação e operação do sistema (cerca de US\$ 20/t de lixo incinerado), a poluição atmosférica e a necessidade de mão-de-obra qualificada. (ROTH et al., 1999).

Quanto às alternativas de *recuperação* dos RSU, a reciclagem é atualmente a mais aplicada, e a que desperta maior interesse na população. Esse processo visa reinserir no mercado um produto que seria descartado, porém possui valor como matéria prima na manufatura de novos produtos. CEMPRE (2010) cita alguns benefícios do processo de reciclagem como a diminuição da quantidade de lixo a ser aterrada, a

preservação de recursos naturais, a economia de energia, a geração de empregos diretos e indiretos, etc.

Outra alternativa de *recuperação* é a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos, dado por um processo natural de decomposição biológica (aeróbia ou anaeróbia) de materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de micro-organismos. Para que ela ocorra não é necessária a adição de componentes físico ou químico durante o processo. O produto final da compostagem aeróbia é um composto orgânico, rico em húmus e nutrientes minerais, que pode ser utilizado na agricultura como condicionador de solos, além de possuir potencial fertilizante (MONTEIRO et al., 2001).

O *tratamento* dos resíduos sólidos pode ser definido como uma série de procedimentos com a finalidade de reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos mesmos, ou transformando-os em material inerte ou biologicamente estável. Para um tratamento eficaz necessita-se da participação da população em ações como: reduzir a quantidade de resíduo gerado, separar os recicláveis (ou reutilizáveis) dos orgânicos, e se desfazer do resíduo que produz segregando-os e acondicionando-os de maneira correta (MONTEIRO et al., 2001).

Por fim, tem-se a *disposição final* dos RSU. A solução tecnicamente mais indicada para esta etapa é o aterro sanitário já que essa técnica prevê a disposição dos resíduos sobre terreno natural, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, e sua implantação e operação devem seguir normas específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente e a saúde pública (MONTEIRO et al., 2001).

No Brasil em 2012, aproximadamente 58% dos resíduos coletados foram encaminhados para aterros sanitários. Entretanto, os outros 42% restantes correspondem a 76 mil toneladas diárias, e são encaminhados para lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2012). Por imposição legal (Lei N°12.305/2010), os municípios que ainda adotam estas práticas deverão regularizar a situação até o ano de 2014, sob pena de aplicação da lei dos crimes ambientais, afinal ambas as formas de disposição não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradação.

Muito se fala em gestão e gerenciamento de RSU, portanto faz-se importante o entendimento da diferença entre esses dois termos. A Lei N° 12.305/2010 define como *gerenciamento de resíduos sólidos* o conjunto de ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transferência, tratamento e destinação final ambientalmente adequada

dos resíduos sólidos, e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos ou com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (exigidos na própria lei). É importante salientar que rejeito é definido como “os resíduos depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação” (BRASIL, 2010).

Já a *gestão integrada de resíduos sólidos* é definida como as ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Atualmente existe uma ferramenta de auxílio para os órgãos públicos municipais, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, disposto na Lei Nº 12.305/2010, que inclui as etapas de diagnóstico da situação atual, e de elaboração de propostas para melhoria do GRSU. CEMPRE (2010) sugere como ações prioritárias para um gerenciamento adequado:

- 1º) Coletar todos os resíduos gerados de responsabilidade da Prefeitura;
- 2º) Dar um destino final adequado a todos os resíduos coletados;
- 3º) Buscar formas de segregação e tratamento para os resíduos de seu município;
- 4º) Fazer campanhas e implantar programas voltados à sensibilização e conscientização da população no sentido de manter a limpeza na cidade;
- 5º) Incentivar medidas que visem diminuir a geração de resíduos.

Predominantemente a essas ações, a Lei Federal Nº 12.305/2010 dispõe que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Pode-se dizer que o objetivo desta ordem de prioridade é primeiramente a não geração, seguido de uma exigência de que todos os resíduos devem ser reaproveitados, reciclados ou tratados, a fim de que somente os rejeitos sejam dispostos em aterros sanitários (disposição final ambientalmente adequada). Desta forma, fica garantido que a destinação final é realizada de maneira a garantir a maior reintegração dos resíduos no sistema

produtivo, observando-se sempre as viabilidades técnica e econômico-financeira dos projetos.

Com finalidade semelhante, a Política Estadual de Resíduos Sólidos de Santa Catarina, Lei Estadual N° 13.557/2005, já apresentava definições em prol da sustentabilidade, como dos termos: prevenção da poluição ou redução na fonte, minimização, e padrão de produção e consumo sustentáveis.

É neste sentido que se ancora a importância da segregação dos resíduos em conjunto com a coleta seletiva, inclusive a realizada por catadores de materiais recicláveis, elementos que atualmente tem sua função reconhecida pela referida lei federal, e lutam pelo reconhecimento da sociedade e seu firmamento como uma classe social trabalhista. O perfil e os detalhes da coleta realizada por catadores são apresentados na sessão 2.3 (Cadeia da reciclagem).

2.2 COLETA E TRANSPORTE DE RSU

Coletar e transportar os RSU significa recolher os resíduos previamente acondicionados por seus geradores, transportá-lo mediante o uso de equipamentos adequados, possivelmente descarregá-los em uma estação de transbordo ou transferência, ou no local de tratamento, ou diretamente no local de disposição final (MONTEIRO et al., 2001). Complementarmente, segue a definição dada pela ABNT NBR 12.980:1993 à expressão “coleta domiciliar”:

Coleta regular de resíduos domiciliares, formados por resíduos gerados em residências, estabelecimentos comerciais, industriais, públicos e de prestação de serviços, cujos volumes e características sejam compatíveis com a legislação municipal vigente (ABNT, 1993).

A coleta de resíduo domiciliar deve ser realizada sempre nos mesmos dias e horários, regularmente, para que os cidadãos habituem-se a colocar os resíduos somente nos dias e horários de coleta. Após definidos, esses parâmetros devem ser informados para a comunidade e seguidos fielmente de modo que a população confie no serviço e colabore depositando seus resíduos adequadamente (RECESA, 2009).

Esta regularidade na frequência e horários de coleta, se realizada pelos catadores, trará o mesmo benefício de que os moradores irão se habituar aos seus horários e dias de coleta, colaborando sempre que possível com a disposição de materiais recicláveis, aumentando o volume coletado pelo catador. Esta confiabilidade pode acarretar ainda num comprometimento maior dos moradores, com a disposição de

material previamente segregado, em bom estado de acondicionamento e de limpeza (RECESA, 2009).

O roteiro de coleta deve ser projetado de maneira a minimizar os percursos improdutivos. Os elementos necessários para o seu planejamento são: fluxos da rede viária, nível de atendimento desejado, características ou parâmetros sobre a carga, e tipos de equipamentos disponíveis (capacidade, fabricante, etc.). No que se refere às características ou parâmetros da carga, deve-se considerar: peso e volume, densidade média, dimensões do veículo, nível de periculosidade, estado físico, e compatibilidade das cargas. Como princípio, todo resíduo coletado em um setor deve ter um único local de transferência ou destinação final, além de que os contornos ou limites desse setor podem ser barreiras físicas ou naturais que dificultem a circulação dos veículos de uma área para outra (CEMPRE, 2010).

Para o dimensionamento da coleta domiciliar, que visa definir a execução do serviço em termos de frequência, horários, roteiros, itinerários, e pontos de destinação, são necessárias as seguintes etapas (CEMPRE, 2010):

- Estimativa do volume a ser coletado;
- Definição das frequências de coleta;
- Definição dos horários de coleta domiciliar;
- Dimensionamento da frota dos serviços;
- Definição dos itinerários de coleta.

No Brasil, no ano 2012 houve um aumento de 1,9% na quantidade de RSU coletados relativamente a 2011. A comparação deste índice com o crescimento da geração de RSU (Tabela 1) mostra uma discreta evolução na cobertura dos serviços de coleta de RSU, chegando a 90,17%, o que indica que o país caminha, ao menos, para a universalização desses serviços. Todavia, esses dados globais escondem grandes diferenças regionais, sendo que a região brasileira com maior índice percentual de coleta é a sudeste, com 96,87%, e o menor índice é encontrado na região nordeste, com 77,43% (ABRELPE, 2012).

Portanto, para que o processo de coleta e transporte dos RSU seja realizado atingindo seus fins (evitar contaminação ambiental e riscos à saúde pública), é necessário planejamento, comprometimento, e o envolvimento da população na segregação e acondicionamento dos resíduos.

Tabela 1 - Crescimento índice de geração X Crescimento índice de coleta.

| | Índice de RSU Gerado (Kg/habitante/dia) | Índice de RSU Coletado (Kg/habitante/dia) |
|-------------|--|--|
| 2011 | 1,223 | 1,097 |
| 2012 | 1,228 | 1,107 |
| Crescimento | 0,005 | 0,010 |

Fonte: ABRELPE, 2012.

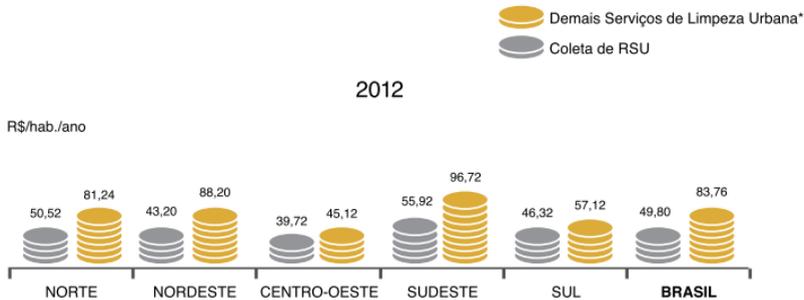
A segregação dos resíduos gerados é de suma importância nos municípios que possuem coleta seletiva, uma vez que o contato entre alguns tipos de resíduos impedirá que sejam reciclados ou reaproveitados (papel e restos de comida gordurosa, por exemplo, inviabiliza a reciclagem do primeiro). Além disso, é necessário que sejam informados os dias e horários de coleta convencional e de coleta seletiva, a fim de que a população deposite os resíduos corretamente nos dias de cada tipo de coleta. Caso contrário, conforme ocorre em algumas cidades, o caminhão quando passa coletando recolhe tudo o que se encontra na lixeira (isso se os resíduos não forem depositados em lixeiras separadas - recicláveis e orgânicos), e então de nada terá adiantado a segregação dos materiais na fonte geradora.

A sustentabilidade econômica dos serviços de limpeza urbana é um importante fator para a garantia de sua qualidade. Aproximadamente 60% dos recursos aplicados no gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, no ano de 2012, correspondem ao serviço de coleta de RSU (ABRELPE, 2012), sendo os serviços de limpeza urbana: a) Limpeza regular de vias públicas; b) Serviços especiais: capinação; limpeza de bocas de lobo ramais e galerias; remoção de animais mortos, etc.; c) Remoção dos resíduos sólidos: coleta e transporte (CASTILHOS Jr., 2009).

Os valores apresentados na Figura 2 revelam que os municípios aplicaram no ano de 2013, em média, R\$ 133,56 por habitante/ano na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana.

Considerando os gastos elevados despendidos no serviço de coleta e transporte, a participação dos catadores de materiais recicláveis de forma organizada, através de associações e cooperativas, tem uma colaboração significativa na redução dos gastos pelos órgãos responsáveis pela coleta.

Figura 2 - Valores médios por habitante/ano correspondentes aos recursos aplicados na coleta de RSU e nos demais serviços de limpeza urbana.



Fonte: ABRELPE, 2012.

2.3 A CADEIA DA RECICLAGEM

Em continuidade à apresentação dos sistemas de coleta e transporte, temos o sistema de coleta seletiva, do qual são também agentes coletores os catadores de materiais recicláveis. Tendo em vista esta interligação, será apresentado o sistema de coleta seletiva diretamente conectado à atividade de catação.

O objeto chave das questões apresentadas nesta seção são os materiais recicláveis, ou seja, aqueles resíduos passíveis de serem reintroduzidos na cadeia produtiva para a geração de novos produtos. Todos os termos e sistemas apresentados, que se referem à coleta seletiva, podem ser relacionados com a coleta realizada por catadores de materiais recicláveis.

2.3.1 Coleta Seletiva, Reciclagem e Catadores

A coleta seletiva é um instrumento da PNRS (Lei N° 12.305/2010), que a definiu como a “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição”, devendo ser implementada pelos municípios como forma de encaminhar as ações destinadas ao atendimento do princípio da hierarquia na gestão de resíduos sólidos, dentre as quais se inclui a reciclagem. A coleta seletiva é uma ação essencial para que a reciclagem se difunda e consolide.

A reciclagem por sua vez, corresponde a uma série de processos através dos quais os materiais recicláveis (plásticos, papéis, metais, vidros, e outros), previamente segregados, são coletados, triados, beneficiados, acondicionados, transportados e processados industrialmente, sendo utilizados como matéria prima na manufatura de

outros bens. Em termos específicos, a reciclagem apresenta relevância ambiental, econômica e social. Os benefícios da reciclagem são (GRIPPI, 2001):

- Preservação dos recursos naturais;
- Economia proporcional de energia;
- Diminuição da poluição ambiental;
- Geração de empregos diretos e indiretos;
- O aumento da vida útil dos aterros sanitários, já que menor será a quantidade de resíduos enviados para os mesmos.

Para Eigenheer e Ferreira (2005), é importante esclarecer para a população a diferença entre coleta seletiva e reciclagem. Para eles, a reciclagem consiste em um procedimento industrial de reaproveitamento da matéria-prima para a produção de novos produtos (similares ou não). Por outro lado, a coleta seletiva é uma etapa prévia que facilita a reciclagem industrial. Além disso, há de se reaproveitar a fração orgânica por meio da compostagem, a geração de energia a partir do lixo, e a reutilização de inúmeros materiais.

No entanto, para que a coleta seletiva seguida da reciclagem dos materiais ocorra, é necessário que estas atividades estejam previstas no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do município, a fim de garantir que os mesmos tenham mercado sendo incorporados na cadeia produtiva de outros bens. Afinal, se não houver demanda dos materiais recicláveis pelo mercado, inúmeros recursos terão sido despendidos em vão, e os materiais coletados se tornarão um novo problema para os gestores municipais, já que será necessário dar outro fim para eles, na pior das hipóteses até mesmo o seu aterramento.

A fim de que o processo todo seja eficaz, algumas etapas devem ser seguidas e cumpridas. Faz-se necessária a presença de instrumentos econômicos e de incentivos tributários, ainda muito ausentes nos municípios brasileiros. Estes incentivos acima de tudo devem ser direcionados para a educação ambiental, já que a participação da população na correta segregação dos materiais é de suma importância para a continuidade das demais etapas do processo.

A educação ambiental é instituída pela Lei Federal Nº 9.795/1999, na Política Nacional de Educação Ambiental, que estabelece seu objetivo em promover ações voltadas para a qualidade de vida humana e a sustentabilidade ambiental. A promoção de ações integradas de educação ambiental nos municípios é responsabilidade dos órgãos pertencentes ao SISNAMA - Sistema Nacional do Meio

Ambiente, como é o caso das secretarias municipais de Meio Ambiente. Desta forma fica clara a responsabilidade das prefeituras pela educação ambiental nos municípios.

“O lixo é matéria-prima fora do lugar. A forma com que uma sociedade trata do seu lixo, dos seus velhos, dos meninos de rua e dos doentes mentais atesta o seu grau de civilização” (GRIPPI, 2001). Com esta frase o autor reafirma que pouco pode ser feito sem que se trabalhe a educação e a conscientização da população. É importante esclarecer ao cidadão o seu papel como gerador de resíduos, e conscientizá-lo da necessidade de sua participação na cadeia da reciclagem. Essa tomada de consciência facilita também a melhor aceitação, por parte da população, dos catadores de materiais recicláveis como notáveis agentes que trabalham em prol da sustentabilidade municipal.

Grippi (2001) acrescenta que com a coleta seletiva participativa, a qualidade dos materiais recuperados é boa, uma vez que estão menos contaminados por outros materiais presentes nos RSU. Além disso, o estímulo à cidadania reforça o espírito comunitário e envolve a população na solução do problema. Por fim, ela permite parcerias com catadores, cooperativas, empresas, associações ecológicas, escolas, etc.

Para superar esses principais desafios e alguns outros menores que existem pelo caminho, faz-se necessário encarar o setor de resíduos sob algumas novas perspectivas. Com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o setor de resíduos passou a ser regido por um conjunto de disposições que estabelecem uma nova sistemática de gestão, em contraposição à situação anterior, que precisa ser radicalmente alterada para atender a essa nova ordem jurídica.

Os sistemas de coleta seletiva podem ter as seguintes conformidades (SÃO PAULO, 1998):

- Sistema porta a porta: quando os materiais recicláveis são separados e dispostos para coleta nos pontos específicos de recolha da coleta seletiva;
- Sistema PEV (Postos de Entrega Voluntária): são pontos fixos onde se localizam containers para recolher os materiais recicláveis levados pela população. Podem estar alocados em vias públicas de grande circulação ou onde for conveniente, como em escolas, empresas, etc.;
- Sistema misto: quando os dois sistemas (porta a porta e PEV) coexistem.

Esta classificação vai de encontro com o observado por Aquino (2007), de que os sistemas de coleta seletiva atuais não levam em conta o trabalho dos catadores de materiais recicláveis. Para o IBGE (2010):

Tal atividade é exercida, basicamente, por pessoas de um segmento social marginalizado pelo mercado de trabalho formal, que têm na coleta de materiais recolhidos nos vazadouros ou aterros uma fonte de renda que lhes garante a sobrevivência. Contudo, não se tem conhecimento, dentro da escala de valores das categorias profissionais, de nenhuma outra atividade que seja tão estigmatizada e desprestigiada socialmente como o trabalho dos catadores.

Segundo Eigenheer e Ferreira (2005), a atividade de catadores, seja ela realizada em lixões, em aterros e/ou logradouros públicos, é amplamente praticada na América Latina e nos países não desenvolvidos. Essa atividade está diretamente relacionada à situação de escassez e não como premissa da limpeza urbana ou de proteção ambiental. É geralmente realizada por pessoas necessitadas, que encontram na catação uma fonte de renda.

Esta situação se evidencia no Brasil, que hoje é considerado um grande reciclador, não por possuir programas de incentivo e gestão de resíduos sólidos, mas principalmente devido ao enorme contingente de necessitados que se dedicam à tarefa de catação. Vale ressaltar que o trabalho dos catadores é autônomo, sem direitos legais e com os quais os principais beneficiados, as indústrias recicladoras, não mantêm nenhum tipo de vínculo ou responsabilidade social (EIGENHEER e FERREIRA, 2005). Estima-se que no país sejam mais de 500 mil catadores (BORTOLI, 2009).

Perante essa realidade, os catadores de materiais recicláveis iniciaram processos de organização social e econômica de luta por direitos. O Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR) foi criado após o acontecimento de uma sucessão de encontros e congressos, nos últimos anos da década de 1990 e início do século XX. Bortoli (2009) cita ainda o Primeiro Encontro Nacional de Catadores de Papel, em 1999; o Primeiro Congresso Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis, em 2001, em Brasília; e em 2003, o Primeiro Congresso Latino-Americano de Catadores de Materiais Recicláveis, em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. O Segundo Congresso Latino-Americano aconteceu em 2005.

A Classificação Brasileira de Ocupações reconhece, desde 2002, como profissionais, os trabalhadores da coleta e seleção de material reciclável, sua responsabilidade de coletar, selecionar e vender material reciclável e reaproveitável, e de realizar manutenção do ambiente de trabalho e dos equipamentos utilizados. Incumbe aos mesmos às ações de divulgar o trabalho de reciclagem, administrá-lo e realizá-lo com segurança (BRASIL, 2013). Apesar desse reconhecimento, pouco mudou na realidade dos catadores, que em 2006, num montante de mais de 1.200 trabalhadores, marcharam até Brasília, levando demandas ao Governo Federal e exigindo a criação de postos de trabalho em cooperativas e associações. “As reivindicações dos catadores são por alimentação, moradia, condições mínimas de vida, além da inclusão no processo de gestão dos resíduos e da luta pela criação de postos de trabalho” (BORTOLI, 2009).

Algumas ações individuais voltadas para a melhoria das condições de trabalho dos catadores já podem ser observadas. É o caso dos triciclos entregues pela Fundação Banco do Brasil à Central das Cooperativas de Catadores de Materiais Recicláveis (Centcoop), no Distrito Federal em 2008. O objetivo desta ação foi de que com a utilização dos veículos as cooperativas tivessem condições de recolher maior quantidade de materiais e melhorar a renda de seus associados (CARVALHO, 2008).

Outra iniciativa que apresentou grande alcance foi a da Fundação Itaipu Binacional, que desde 2003 trabalha com o programa social Coleta Solidária, com os catadores do município de Foz do Iguaçu. O programa promove cursos de educação socioambiental e instrui os catadores sobre formas mais seguras e eficientes de executar sua tarefa, já que frequentemente são vítimas de preconceito e acidentes de trabalho, além de incentivar que se organizem em associações ou cooperativas, de forma a garantir preços mais altos na venda dos materiais coletados. Outro grande incentivo é a doação de equipamentos de coleta (inclusive carrinhos de coletas) e processamento dos materiais recicláveis recolhidos nas ruas, melhorando assim as suas condições de trabalho (FUNDAÇÃO ITAIPU BINACIONAL, 2013).

A expectativa é que a realidade dos trabalhadores brasileiros da catação melhore perante a vigência da PNRS, que além de impor a desativação dos lixões, até o ano de 2014, como destino final para os resíduos nos municípios brasileiros, incorporou os catadores como importantes atores sociais. Um dos princípios desta lei é o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem

econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda, além de ser promotor de cidadania.

É um instrumento da PNRS “(...) o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis” (BRASIL, 2010). Outro ponto importante da PNRS é a permissão de dispensa de licitação para a contratação e remuneração de associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis (uma alteração da Lei Nº 8.666/1993) (BRASIL, 1993).

Como forma de reação ao desemprego e à exclusão, existe uma tendência de os catadores se organizarem em cooperativas, sendo também uma forma alternativa de trabalho, renda, autonomia, resgate da cidadania e reconhecimento social. Neste novo tipo de reestruturação do trabalho, é necessária a aplicação dos princípios da autogestão para o fortalecimento do espírito coletivo e da igualdade entre os seus membros (OLIVEIRA, 2012).

As definições de associação e cooperativa muitas vezes se confundem, uma vez que ambas se baseiam nos mesmos princípios doutrinários. Aparentemente as duas organizações buscam os mesmos objetivos, porém, “as associações são organizações que tem por finalidade a promoção de assistência social, educacional, cultural, representação política, defesa de interesses de classe, filantrópicas”, enquanto “as cooperativas têm finalidade essencialmente econômica”.

Essa diferença de natureza entre os dois tipos de organização estabelece também o tipo de vínculo com os associados. Numa associação, os membros não possuem direito sobre o capital e o patrimônio, que ficam “engessados”, e no caso de dissolução da organização, deverão ser destinados à outra instituição semelhante. Em compensação, o gerenciamento é mais simples e o custo de registro é menor. No caso das cooperativas, os associados são os donos do patrimônio e os beneficiários dos ganhos que o processo por eles organizado propiciará (SEBRAE, s.d.).

No entanto, é importante mencionar que apesar de algumas pesquisas realizadas em cooperativas de catadores de materiais recicláveis ressaltarem a melhoria e incremento da renda destes profissionais (SOUSA, 2007; MOTA, 2005), outros estudos (OLIVEIRA FILHO, 2006; MAGERA, 2005) enfatizam que a realidade da maioria das cooperativas deste segmento não consegue gerar renda superior a um salário mínimo para seus membros. Além disso, enfrentam muitas dificuldades, seja pela falta de infraestrutura para a

produção, seja pela exploração do trabalho pelos sucateiros e pelas grandes indústrias da reciclagem.

Abordando um contexto internacional, consta que a coleta seletiva tenha se iniciado oficialmente na Itália, em 1941, em grande parte como decorrência das dificuldades acarretadas pela guerra, como a escassez e o custo de produção de materiais. Pelo mesmo motivo, nos anos de 1973 e 1974 (crise após a Guerra de Yom Kippur), a Europa como um todo alcança as maiores taxas de recuperação e reciclagem de resíduos.

Atualmente, os Estados Unidos, a Europa e o Japão ganham destaque nas iniciativas no campo da reciclagem. O Japão é o país líder, atingindo índices de reciclagem entre 40 e 50% do total coletado. A participação social é bastante expressiva, iniciando-se na escola e permeando o cotidiano da população, desde os edifícios residenciais até os supermercados e centros de lazer (EIGENHEER, 1993).

Para que a coleta seletiva seja efetiva, é necessário que a segregação dos materiais seja realizada corretamente pelos geradores dos resíduos, a fim de que estejam em condições de serem reutilizados ou reciclados. Portanto, verifica-se a importância de investimentos em programas de educação ambiental para a sociedade como um todo. A educação ambiental pode atingir todas as classes sociais em diferentes segmentos: escolas, repartições públicas, residências, escritórios, fábricas, lojas, entre outros locais geradores de RSU.

A importância da presença de catadores, principalmente em municípios que não apresentam iniciativas governamentais de coleta seletiva, é o papel que exercem na coleta, triagem, transporte e armazenamento dos materiais recicláveis, que posteriormente serão reincorporados na indústria para a produção de novos produtos, trazendo, na maioria das vezes, benefícios econômicos, ambientais e sociais.

2.3.2 A Viabilidade da Reciclagem

O custo médio da coleta seletiva nos municípios é de aproximadamente R\$ 424,00/ton. Considerando o valor médio da coleta regular, R\$ 95,00/ton, tem-se que o custo da coleta seletiva ainda está 4,5 vezes maior que o custo da coleta convencional (CEMPRE, 2012). Todavia, a produção a partir da reciclagem é mais econômica uma vez que *utiliza menos energia, matéria-prima, e recursos hídricos, além de reduzir os custos de controle ambiental e também os de disposição final dos resíduos.*

Para Calderoni (1999), a análise de viabilidade da reciclagem deve ser feita sob uma ótica interdisciplinar, tendo enfoque econômico (macroeconômico e microeconômico), geográfico (macroespacial e microespacial), político-social (políticas de resíduos sólidos nas esferas nacional, estadual e municipal, além da participação social), e de meio ambiente (tem a reciclagem como alternativa para o desenvolvimento economicamente sustentável). Em seu estudo, que teve como abrangência o município de São Paulo, e considerou apenas os resíduos de origem domiciliar, o autor sustentou que a viabilidade do processo de reciclagem se verifica, e os ganhos ficam na casa dos bilhões.

Eigenheer e Ferreira (2005), entretanto, atentam ao fato de que o processo industrial também deve ser observado na análise da viabilidade ambiental da reciclagem, uma vez que deve atender aos interesses de proteção ao meio ambiente. Neste caso, o processo deve ser avaliado desde a coleta de materiais até a industrialização do produto final, observando inclusive a utilização de água tratada para lavagem de materiais antes do acondicionamento nas residências e outros geradores, e os processos de pré-preparação do material a ser reciclado na atividade industrial.

Alguns estudos apresentam conclusões divergentes quanto à viabilidade do processo de reciclagem de materiais, como os realizados por Reinfeld (1994), Calderoni (1999), Montibeller-Filho (2004), e Eigenheer e Ferreira (2005). Em primeiro lugar, é preciso estimular o desenvolvimento do mercado da reciclagem, e para isso é essencial que o Estado assuma seu papel como agente promotor e regulador. Por fim, para entender a viabilidade do processo de reciclagem, é necessária a compreensão de todas as etapas que o compõe, desde a coleta de insumos, até a produção de novos bens, bem como dos interesses das partes envolvidas no processo: indústrias recicladoras, catadores, governo, prefeituras e entidades específicas, no âmbito da sociedade civil.

2.3.3 Cadeia Produtiva e Logística Reversa

O ciclo de vida dos produtos, muitas vezes, é visto de forma linear, ou seja, algo é produzido, consumido e por fim descartado. A logística reversa atribui outra ordem ao fluxo dos resíduos, em que o descarte não é definitivo. Por meio de ações que facilitem a coleta e a restituição dos resíduos aos seus geradores, o produto é tratado e reaproveitado, mantendo-se na cadeia produtiva. Para a AFNOR (Association Française de Normalisation), a cadeia produtiva de um

produto consiste no encadeamento de modificações da matéria-prima, com finalidade econômica, desde a sua exploração no meio ambiente até o seu retorno à natureza, passando por ciclos produtivos, consumo, recuperação, tratamento e disposição final.

A logística reversa é um termo bastante genérico e significa em seu sentido mais amplo, todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais, englobando todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usadas a fim de assegurar uma recuperação sustentável (LEITE, 2003).

Assim como a coleta seletiva, a logística reversa é um instrumento da PNRS (2010), que visa viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou ainda ter outra destinação final ambientalmente adequada. É caracterizada por um conjunto de ações, procedimentos, entre outros meios para atingir o desenvolvimento econômico e social.

Esta mesma lei institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, sendo que este se caracteriza pela série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto (a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final). Tal responsabilidade pode ser implementada de forma individualizada ou encadeada, e abrange os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

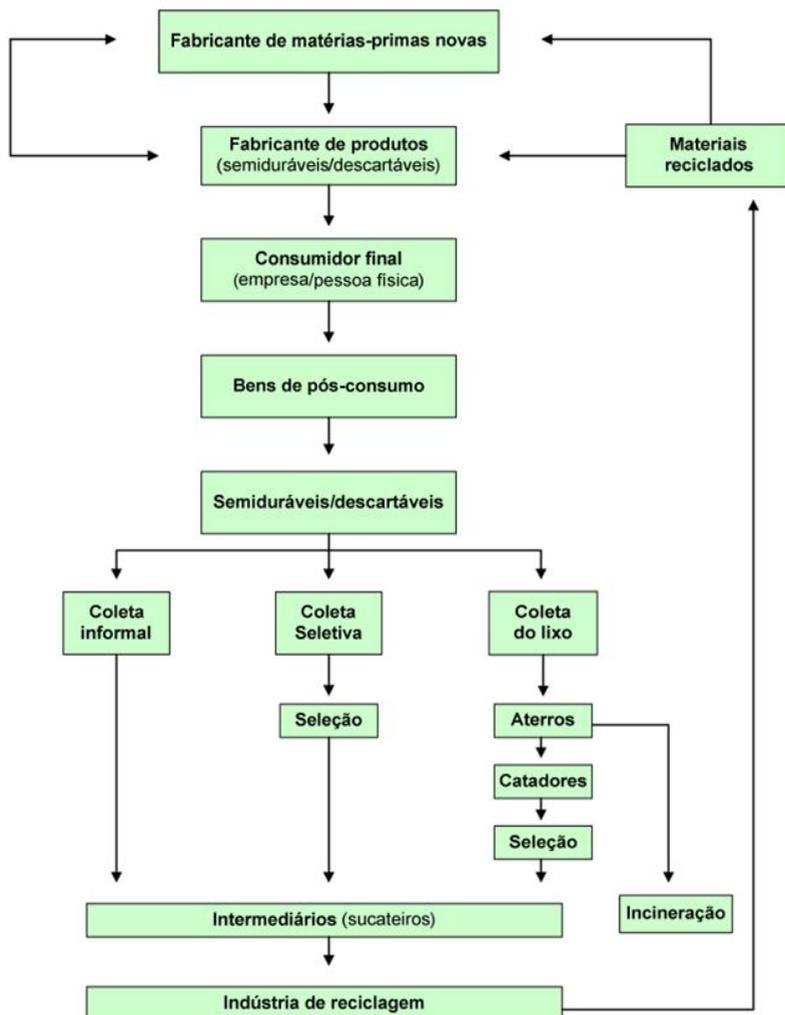
A importância deste procedimento pode ser retirada das entrelinhas das palavras de Grippi (2001):

A reutilização de materiais pelo processo de reciclagem, para que estes voltem a ser úteis, retornando às linhas de produção, reduzindo gradativamente a necessidade de mais e mais matéria-prima virgem e, principalmente, desviando materiais para aterros, o que causa grande pressão e impacto sobre a Terra.

Dentre os diferentes canais de distribuição estudados no âmbito da logística reversa, o canal de distribuição reverso de pós-consumo de bens descartáveis é o que mais se enquadra na abordagem do presente estudo (Figura 3). Neste canal, o fluxo físico e as informações correspondentes de bens de pós-consumo descartáveis, que retornam ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo através de canais de distribuição

reversos específicos, são igualmente equacionados e operacionalizados (LEITE, 2003).

Figura 3 - Canais de distribuição dos bens descartáveis.



Fonte: LEITE, 2003.

Leite (2003) apresenta uma diferenciação entre as cadeias reversas de ciclo reverso aberto e ciclo reverso fechado. As cadeias de ciclo reverso fechado são aquelas em que os materiais são extraídos de

determinado produto de pós-consumo e reintegrados em produtos de mesma natureza. Já as cadeias de ciclo reverso aberto são aquelas em que os materiais são extraídos dos produtos de pós-consumo de diversas naturezas e reintegrados em produtos de diferentes naturezas. É comum a integração entre a cadeia direta (produção) e reversa (reutilização/reciclagem) quando se tem ciclo fechado, uma vez que o domínio das ações nas diferentes fases da cadeia reversa desses materiais específicos é economicamente estratégico às empresas da cadeia direta, fabricante do produto. O mesmo não é uma tendência no caso de cadeias reversas de ciclo aberto em função da diversificada origem de seus produtos.

2.3.4 A Coleta Seletiva e a Reciclagem no Brasil

Os primeiros programas de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos sólidos no Brasil são identificados em meados da década de 1980. Eles apresentavam alternativas inovadoras com as finalidades de redução da geração de resíduos e de estímulo à reciclagem. Nesta época verificou-se grande avanço no que diz respeito aos resíduos sólidos e sua produção, devido à mobilização de comunidades organizadas, indústrias, empresas e governos locais, na separação e classificação dos resíduos desde as fontes geradoras (IBGE, 2010).

Atualmente, merece destaque o município de Curitiba, considerado modelo em relação ao tratamento e disposição dos seus RSU, principalmente devido ao programa “lixo que não é lixo”, que promove a mobilização da população para a coleta seletiva em toda a cidade. A implantação desse programa duplicou a vida útil do aterro sanitário da cidade. Segundo dados da Prefeitura Municipal de Curitiba (2010), a coleta seletiva nesse município aumentou 192% nos últimos cinco anos, e tem abrangência de 100% do território municipal (CEMPRE, 1993).

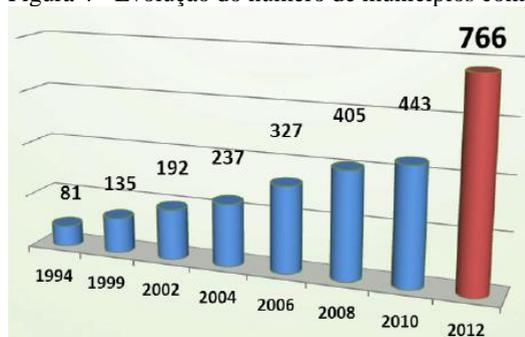
Apesar da difusão crescente de programas de coleta seletiva nos municípios brasileiros, e dos esforços dedicados à sua avaliação, os dados coletados apresentam divergências entre as pesquisas realizadas. Entretanto esses dados serão apresentados a seguir para que se tenha uma noção do panorama das iniciativas de coleta seletiva no Brasil. Verifica-se que, no geral, os dados referentes aos resíduos são ainda muito escassos, e as prefeituras há pouco tempo tomaram consciência da importância da coleta dos mesmos. Em acréscimo, Calderoni (1999) diz que a reciclagem recebe pouca atenção, sendo um tema tratado de modo

secundário, no contexto dos resíduos sólidos em geral, com pouca focalização sobre os aspectos econômicos envolvidos.

Em primeira instância têm-se as pesquisas realizadas pelo IBGE nos anos de 1989, 2000 e 2008, que identificaram a presença de programas de coleta seletiva em 58, 451 e 994 municípios brasileiros, respectivamente, o que demonstra grande avanço neste sentido. Conforme a última pesquisa (2008), tal avanço se deu, sobretudo, nas Regiões Sul e Sudeste, onde 46,0 e 32,4%, respectivamente, dos seus municípios contemplam programas de coleta seletiva que cobrem todo o município. Na Região Sul, dos programas implementados, 42,1% se concentram em toda a área urbana da sede do município e 46,0% cobrem o município como um todo. Na Região Sudeste, 41,9% cobrem toda a área urbana da sede municipal (IBGE, 2010).

A pesquisa Ciclosoft 2012, realizada pelo CEMPRE, revelou que apenas 14% dos municípios brasileiros realizam programas de coleta seletiva. A evolução deste tipo de coleta no Brasil pode ser observada na Figura 4. Esta mesma pesquisa revelou que a concentração dos programas municipais de coleta seletiva permanece nas regiões Sudeste e Sul, com 52 e 34% do total de municípios, respectivamente, o que corresponde a 86% do total no país.

Figura 4 - Evolução do número de municípios com coleta seletiva no Brasil.



Fonte: CEMPRE, 2012.

Segundo ABRELPE (2012), aproximadamente 60% dos municípios indicaram a existência de iniciativas de coleta seletiva no país em 2012. É importante salientar que embora este número seja expressivo, muitas vezes durante a pesquisa tais atividades resumiram-se na disponibilização de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) à população ou na simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços.

Apesar da crescente difusão dos termos coleta seletiva e segregação dos resíduos na fonte, verifica-se que, a exemplo do que ocorre em São Paulo, a triagem dos materiais acaba sendo realizada pelos carrinheiros (catadores) na própria via pública (CALDERONI, 1999). Este fato vai ao encontro do anteriormente citado, que ainda é necessário investir em políticas em prol da conscientização da população quanto à importância de realizarem a segregação dos resíduos gerados, em orgânicos, recicláveis e rejeitos. E ainda retrata a importante função dos catadores na redução do volume de resíduos encaminhados erroneamente para aterros.

Os municípios podem ter mais de um agente executor da coleta seletiva, e os programas de maior êxito são aqueles em que há uma combinação dos modelos de coleta seletiva (CEMPRE, 2012):

- A maior parte dos municípios ainda realiza a coleta do tipo porta a porta (88%);
- Os postos de entrega voluntária representam uma alternativa para a população poder participar da coleta seletiva (53%);
- Tanto o apoio quanto a contratação de cooperativas de catadores, como parte integrante da coleta seletiva municipal, continua avançando. O apoio às cooperativas está baseado em: maquinários, galpões de triagem, ajuda de custo com água e energia elétrica, caminhões, capacitações e investimento em divulgação e educação ambiental.

Atualmente o índice de reciclagem no Brasil é de 12%, sendo que reaproveitamento de alumínio, papel, plástico e vidro possuem considerável participação neste valor. Os índices de reciclagem desses materiais mostram estabilidade no volume total de materiais reciclados no país. Na indústria da reciclagem do alumínio destacam-se os índices referentes às latas, e no caso de plástico destacam-se os índices referentes à PET (politereftalto de etileno).

2.3.5 A Coleta Realizada Por Catadores

Para Lima (2006), a inclusão do catador no sistema de coleta é a possibilidade de diminuir o trabalho informal dos catadores de rua, já que a organização territorial através da setorização da coleta na cidade e a incorporação dos catadores de rua inibem a presença daqueles catadores que não aderiram ao programa de incorporação às organizações.

Parte da atividade de catação no Brasil, ainda ocorre nos locais de destinação final dos RSU, que atualmente distribuem-se conforme apresentado na Tabela 2. Segundo o IBGE (2010), 26,8% dos municípios prestigiados com os serviços de manejo dos resíduos sólidos afirmam a existência de catadores nas unidades de disposição final desses resíduos.

Tabela 2 - Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos.

| Ano | Destino final dos resíduos sólidos, por unidade de destino dos resíduos (%) | | |
|------|---|-------------------|------------------|
| | Vazadouro a céu aberto | Aterro Controlado | Aterro sanitário |
| 1989 | 88,2 | 9,6 | 1,1 |
| 2000 | 72,3 | 22,3 | 17,3 |
| 2008 | 50,8 | 22,5 | 27,7 |

Fonte: IBGE, 2010.

Nos municípios das Regiões Centro-Oeste e Nordeste, foram registradas as maiores proporções de incidência de catadores em vazadouros ou aterros: 46,4 e 43,1%, respectivamente. Na Região Centro-Oeste, esse destaque coube aos municípios dos Estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, com 57,7 e 52,8%, respectivamente; na Região Nordeste, aos municípios dos Estados de Pernambuco, Alagoas e Ceará, com 67,0, 63,7 e 59,8%, respectivamente (IBGE, 2010).

Lima et al. (2011) realizaram um estudo de destaque ao focar em seu projeto o desenvolvimento de uma infraestrutura técnica e organização dos processos de produção nas etapas de coleta, triagem e comercialização de materiais recicláveis por catadores. Para eles essa infraestrutura deve conter os seguintes elementos básicos: a) galpão projetado especificamente para a atividade de triagem, b) sistemas multimodais de transporte (inclusive carrinhos de coleta funcionais), c) sistemas de coleta seletiva otimizados, envolvendo mobilização social, organização da coleta e logística, d) contratação e remuneração dos catadores como prestadores de serviços socioambientais e e) sistemas de apoio à comercialização das associações e das redes.

Ramos (2012) desenvolveu uma vasta pesquisa bibliográfica sobre os catadores de materiais recicláveis vinculados a associações ou cooperativas. Em sua pesquisa obteve os resultados através da aplicação de questionários a 236 catadores vinculados a 29 organizações de oito estados brasileiros. Os principais resultados deste estudo foram

utilizados como objeto de auxílio na tomada de decisões durante a elaboração do modelo computacional desenvolvido para aplicação no presente trabalho.

De todos os entrevistados, 39% afirmaram serem catadores por gostarem da profissão e isto se deve a motivos diversos, embora os fatos mais citados tenham sido a flexibilidade de horários e ausência de chefe. Alguns relataram a satisfação de poder ajudar o ambiente e o legado deixado para as gerações futuras. Essa preocupação deve-se, possivelmente, ao discurso ambiental bastante forte na sociedade contemporânea. Muitos, ainda, buscam saber mais sobre as questões ambientais e participam de cursos e workshops. É comum relatos de que o trabalho como catador propicia liberdade, flexibilidade de horário e a possibilidade de sempre ter emprego, pois sempre há materiais a coletar (RAMOS, 2012).

O parágrafo transcrito pode ser tomado como justificativa para o fato de a pesquisa ter revelado que dos 81% dos entrevistados que já haviam exercido outra profissão, 57% consideram melhor a profissão como catador. Além disso, a pesquisa revelou que o tempo de trabalho na catação para 27% do total é de 6 a 10 anos. A Tabela 3 apresenta uma síntese do perfil socioeconômico dos catadores que participaram da pesquisa supracitada.

Outras informações relacionadas a acidentes de trabalho, ao uso de EPI's (equipamentos de proteção individual), e aos veículos coletores utilizados, podem ser encontradas na íntegra do trabalho. As principais características do trabalho realizado pelos catadores de materiais recicláveis no Brasil são (RAMOS, 2012):

- Número de dias de trabalho: é bastante variável, sendo que existem os que trabalham de 2 a 3 vezes por semana, para complementar a renda adquirida em outra profissão, e os que trabalham todos os dias. Entretanto a maioria, 53% dos catadores, trabalham 5 dias por semana (de segunda a sexta).
- Número de viagens de trabalho: 18% fazem apenas uma viagem por dia; 35% fazem duas (maioria), e 27% fazem de 3 a 5 viagens por dia.
- Número de horas trabalhadas: 48% trabalham 8 horas por dia.

Tabela 3 - Perfil socioeconômico dos catadores de materiais recicláveis.

| Perfil socioeconômico dos catadores de materiais recicláveis | | |
|---|---|---|
| Fator | Resultado | Outros autores |
| Faixa etária | 32% dos entrevistados possuem idade entre 31 e 40 anos. Maior frequência encontrada entre 20 e 60 anos. | Resultados convergentes: Alencar, Cardoso e Antunes (2009) verificaram uma média de 39 anos; Silva e Costa (2010), 53% tinham idade entre 20 e 39 anos. |
| Sexo | Feminino: 56%; Masculino: 44%. | Resultados divergentes: A porcentagem de entrevistados foi maioria do sexo masculino para: PMF* (2004) com 77,1%; Alencar, Cardoso e Antunes (2009) com 72,7%; e Silva e Costa (2010) com 67%. |
| Grau de escolaridade | 93% dos entrevistados possuem no máximo o Ensino Fundamental completo (até a 8ª série), representando uma baixa escolaridade. | Resultados convergentes: PMF (2004), 60,5% tinham até o “primário”; Alencar, Cardoso e Antunes (2009), 68,2% tinham o primeiro grau (ensino fundamental) incompleto; e Silva e Costa (2010) identificaram uma maioria de analfabetos (64,5%). |
| Renda Mensal | 31% ganham entre R\$401,00 e R\$600,00. | Resultados convergentes e divergentes: PMF (2004), 34% tinham rendimentos entre R\$201,00 e R\$400,00; Alencar, Cardoso e Antunes (2009) verificaram renda mensal média de R\$335,22. Silva e Costa (2010) identificaram uma maioria com renda menor do que um salário mínimo mensal (95,6%). |

*PMF = Prefeitura Municipal de Florianópolis

Fonte: Adaptado de Ramos, 2012.

De acordo com IPEA (2010), os catadores têm dinâmica de trabalho muito particular, e a realidade das cooperativas e associações varia bastante. Enquanto alguns catadores seguem uma rotina diária de trabalho, outros possuem dinâmicas menos regulares, trabalhando uma

quantidade de horas bastante variável por dia, ou até mesmo, não trabalhando em alguns dias. Por este motivo a maioria das organizações adota uma política de pagamento proporcional à produção individual de cada catador, evitando pagamentos uniformes.

Na cooperativa de catadores de materiais recicláveis de Assis/SP, instituiu-se um modelo de trabalho coletivo, porém muitos catadores consideram ter perdido a autonomia de decidirem sobre seu trabalho e renda, devido à presença de regras como horário de trabalho fixo e rendimentos divididos igualmente (FERRAZZA, 2006). Isso reflete o observado por Ramos (2012), de que muitos catadores estão nessa profissão por terem flexibilidade de horário e não terem chefe.

Os materiais coletados por cada grupo de catadores reflete o mercado regional. É o caso do vidro, material coletado por apenas 70,8% dos catadores (por não haver mercado para o mesmo em determinadas regiões), enquanto os demais materiais (plástico, alumínio, papelão, ferro, papel branco e papel misto) são coletados por praticamente todos os indivíduos. Além da disponibilidade de mercado, o valor de venda para a indústria ou para os atravessadores também influencia os tipos de materiais coletados, então, quando o preço de compra está baixo, as associações deixam de coletar determinado material.

O valor agregado ao material segue a lei da economia de oferta e procura, sendo que se há necessidade do material pela indústria, ele será bem valorizado, já havendo muita oferta do material, seu preço irá cair. Outros fatores que influenciam no valor de venda dos materiais coletados são a sua heterogeneidade e suas características, tais como grau de limpeza e compactação.

Ao fazer uma análise sobre o planejamento dos roteiros de coleta, constata-se que apenas 39% dos catadores percorrem o mesmo roteiro de coleta diariamente. Portanto, 61% deles realizam suas rotas de maneira aleatória, resultando em índices altos de improdutividade de percurso devido à ocorrência de catadores cobrindo as mesmas ruas, inclusive com o encontro de vários catadores na mesma rua, resultando ainda em esforço físico despendido desnecessariamente. Para PMF (2004), 76,6% dos catadores de Florianópolis tinham rota fixa. Para Alencar, Cardoso e Antunes (2009), a cata de materiais geralmente ocorre nas mesmas ruas em horários diferentes, existindo um trajeto em geral fixo, por se familiarizarem com os horários de retirada do lixo de condomínios e residências (RAMOS, 2012).

Verifica-se, portanto, a importância de uma ferramenta que auxilie no planejamento dos roteiros de coleta para as organizações de catadores, a fim de que o percurso realizado pelos indivíduos tenha um planejamento prévio, evitando caminhos improdutivos. O planejamento dos roteiros a serem seguidos pelos catadores também se torna essencial ao considerar o relevo acidentado de algumas cidades brasileiras, evidenciando a importância do desenvolvimento de veículos de coleta adequados a essa realidade bem como do trabalho de planejamento de rotas.

2.4 ROTEIROS DE COLETA DE RSU

Conforme apresentado nas seções anteriores, o Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólido Urbanos é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração pública municipal desenvolve para coletar, segregar, tratar e dispor os seus RSU, além da realização de programas de educação ambiental direcionados à integração dos municípios na problemática dos resíduos sólidos, conscientizando-os da importância da correta segregação e acondicionamento dos resíduos por eles gerados.

O problema de roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos nos municípios é atualmente de grande relevância, já que o aumento da preocupação com a correta destinação destes implica na existência de um problema de logística no que tange a obtenção de rotas ótimas que viabilizem a coleta em todos os pontos de demanda.

Outro ponto importante, como já citado em seções anteriores, é em relação ao alto custo que a prestação dos serviços de coleta e transporte dos RSU representa no total do orçamento municipal. Com a otimização de rotas objetiva-se que a demanda de coleta seja suprida com o menor custo operacional possível, para as prefeituras ou empresas responsáveis pela mesma. Além disso, o serviço deve buscar a satisfação da população, sendo realizado com qualidade e em prol da saúde pública.

Portanto, faz-se necessária a definição de roteiros ótimos a serem seguidos pelos veículos coletores, que podem também ser denominados de itinerário, e representa o trajeto que o veículo irá percorrer dentro de um mesmo setor, num mesmo período, transportando o máximo de carga possível. Este transporte, por sua vez, deverá ser realizado de modo a evitar percursos improdutivos, ou seja, os trechos percorridos sem que o veículo realize coleta, necessário apenas para deslocamento de um ponto a outro (CEMPRE, 2010).

Usualmente, para cada itinerário elabora-se um roteiro de coleta, um roteiro gráfico da área, em mapa ou croqui, indicando seu início e término, percurso, pontos de coleta manual (sem acesso ao veículo, realizado manualmente pelos indivíduos coletores), trechos com percurso “morto” e manobras especiais, tais como ré e retorno (CEMPRE, 2010). Percurso “morto” é aquele repetido apenas para as manobras em respeito ao trânsito, com o objetivo de acesso a outros locais de coleta na sequência da rota. É admissível uma extensão total de percurso morto ou improdutivo correspondente a no máximo 20% da extensão total do percurso de coleta efetivamente produtivo. Podem-se utilizar os recursos da computação gráfica para o traçado desses roteiros (BRASIL, 2000 apud PACOAL Jr. e OLIVEIRA FILHO, 2010).

Para Brasileiro (2004), a roteirização de veículos é a definição de uma ou mais rotas a serem percorridas por veículos de uma frota, passando por locais que devem ser visitados. Dependendo da natureza do problema, ela pode ser classificada em três tipos: problema de cobertura de nós (quando a coleta é realizada em pontos específicos), problema de cobertura de arcos (quando a coleta é realizada em segmentos de vias) e problema geral de roteirização (quando a coleta é realizada em nós e arcos).

Portanto, a coleta domiciliar e os serviços de varrição são serviços característicos do Problema de Roteirização em Arcos (*Arc Routing Problem* – ARP) (EISELT et al., 1995), também conhecido como Problema do Carteiro Chinês (PCC), uma vez que o veículo coletor deverá percorrer todas as ruas da cidade (arcos). No entanto, se o acondicionamento dos resíduos a serem coletados ocorre em pontos específicos (PEVs ou contêineres), a tarefa a ser realizada durante o roteiro corresponde a pontos ou locais específicos que devem ser visitados, caracterizando o clássico Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Em geral, os softwares disponíveis no mercado resolvem ou o caso do PCC ou o caso PCV. Dificilmente encontrar-se-á um algoritmo que resolva os dois problemas (BRASILEIRO, 2004; CEMPRE, 2010).

O objetivo do roteamento na coleta de RSU é definir um conjunto de rotas que atendam a demanda de coleta, de modo a realizar o percurso com o menor custo em termos de quilometragem e tempo total. Como a coleta seletiva realizada por catadores de materiais recicláveis é, normalmente, do tipo porta a porta, a obtenção de rotas otimizadas a ser realizada por eles deverá obedecer a algumas restrições, tais como de movimentação dos veículos nas ruas da cidade, capacidade dos veículos coletores e tempo de serviço máximo.

Segundo Rodrigues (2000), encontrar as rotas mais econômicas para uma frota de veículos de distribuição é um exemplo típico de problema do roteamento de veículos, em que as rotas devem ser determinadas considerando não apenas o tamanho do caminho a ser percorrido, mas também restrições associadas a demandas existentes em cada ponto, limitações de tempo, diferenças de capacidade dos veículos (de carga ou autonomia), entre outras.

As rotas podem ser definidas utilizando-se técnicas matemáticas ou não matemáticas. As técnicas não matemáticas são denominadas de método empírico. As técnicas matemáticas utilizam algoritmos e a roteirização pode ser realizada por método manual ou computacional. No método computacional, o algoritmo é integrado a um software denominado de roteirizador, que define a melhor rota, segundo a variável que se quer otimizar (distância ou tempo de viagem) (BRASILEIRO, 2008).

É possível afirmar que o método de roteirização utilizado atualmente na atividade de catação é o empírico, em que o indivíduo define o roteiro de coleta a ser realizado de acordo com sua experiência. Em contrapartida, o presente trabalho propõe um método de roteirização computacional que permite a otimização e o planejamento das rotas a serem realizadas pelos catadores ligados a associações ou cooperativas de materiais recicláveis.

2.4.1 Sistemas de Informações Geográficas

Os softwares usualmente aplicados na determinação de rotas, em geral, são dotados de recursos de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que permitem representar graficamente, por meio de mapas digitais, os dados do sistema viário e dos pontos de atendimento. Burrough (1998) deu uma simples, porém completa, definição para SIG como sendo uma ferramenta de captura, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real.

A tecnologia utilizada nos SIGs pode ser direcionada para a investigação de diversos fenômenos relacionados com o meio ambiente, geologia, pedologia, vegetação, bacias hidrográficas, e em específico à engenharia urbana. Pode ser utilizada na avaliação e no gerenciamento de serviços de transportes, equipamentos urbanos, uso e ocupação do solo, redes de infraestrutura urbana (água, esgoto, pavimentação, iluminação, limpeza pública, telefonia, etc.) entre outros. No que cerne o redimensionamento destas utilidades, é uma ferramenta importante no

fornecimento de subsídios para a tomada de decisões (CALIJURI e ROHM, 1995).

Neste sentido, os SIGs em sistemas com função de roteirização têm seus dados configurados topologicamente para representar redes de transporte (em mapas). Desta forma, é possível, através do uso de mapas digitais devidamente editados em ambiente SIG, ter uma visualização espacial que auxilia no processo de tomada de decisão na seleção das melhores alternativas econômicas e logísticas. Além dos percursos realizados, é possível calcular distâncias ou comprimentos de linhas do percurso, bem como identificar trechos de linhas repetidos com bastante facilidade (PACOAL Jr. e OLIVEIRA FILHO, 2010).

Conforme Câmara (1995), um SIG se caracteriza por integrar numa única base de dados, informações provenientes de dados cartográficos, dados de censo, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno. É capaz de oferecer mecanismos para combinar informações através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Problemas de transporte, por exemplo, são modelados utilizando-se uma estrutura de redes por onde os recursos escoam. Uma rede é uma representação gráfica baseada em feições lineares – arcos – às quais se associam valores. Esses valores podem representar distâncias, custos, tempo, ganhos, despesas ou outros atributos que se acumulem linearmente ao longo do percurso da rede. A soma desses valores entre a origem e o destino pode, então, ser minimizada. A busca do menor caminho, definida como o melhor, ou ainda o mais curto, o mais rápido, ou o mais econômico trajeto entre dois pontos, é uma das formas tradicionais de se otimizar um sistema de redes (DYSTRA, 1984 apud PACOAL Jr. e OLIVEIRA FILHO, 2010).

Por tais motivos, os SIG são importantes ferramentas de auxílio na tomada de decisões, como apresentado por Silva et al. (2010), que demonstraram a importância dos sistemas *dataminer* e *clusterização* empregados de forma integrada ao SIG como ferramentas para identificar os agrupamentos das informações pertinentes aos sistemas de limpeza urbana, e permitem uma melhor visualização das informações e, por conseguinte, uma melhor interpretação e apoio a tomada de decisão por parte dos governantes.

Nesse sentido, o uso dos métodos de análise espacial no gerenciamento dos RSU apresenta-se não só possível como necessário, a fim de que a garantia da sustentabilidade operacional e financeira seja

mantida e que as decisões sejam tomadas a partir de dados e informações concretos e específicos que retratem o espaço geográfico em estudo (ORNELAS, 2011).

Já Lima et al. (2012), utilizaram o SIG como ferramenta para a roteirização do sistema de coleta resíduos sólidos urbanos (RSU), a partir da base de dados geográficos do sistema viário de Itajubá (MG). Foram simulados no SIG cenários de roteirização nos setores de coleta, utilizando a rotina de roteirização em arcos, procedimento que possibilitou avaliar a qualidade das rotas atuais e possíveis cenários de melhoria, visando à minimização da distância percorrida e, consequentemente, a redução dos custos envolvidos.

2.4.2 Parâmetros de Dimensionamento de Rotas de Coleta

O método de dimensionamento de roteiros de coleta dos RSU consiste basicamente em dividir a cidade em setores (subáreas, cada qual com seu roteiro), dimensionar, determinar e sistematizar as características de cada roteiro, analisar as informações levantadas e redimensionar os roteiros, tendo como premissas: a exclusão ou minimização de horas extras de trabalho; o estabelecimento de novos pesos de coleta por jornada; as concentrações de resíduos em cada área (MONTEIRO et al., 2001).

Para o dimensionamento de roteiros de coleta, devem ser estimados os seguintes parâmetros operacionais: distância entre a garagem e o roteiro de coleta; distância entre o roteiro de coleta e o ponto de descarga; extensão total das vias do roteiro; velocidade média de coleta que dependerá do sistema viário, da topografia, do tamanho da guarnição, da quantidade de resíduo a ser coletada por unidade de distância e do carregamento do veículo; velocidade média dos veículos nos percursos entre a garagem e o roteiro de coleta e entre o roteiro e o ponto de descarga e vice-versa (CEMPRE, 2010).

As especificações para um roteiro de coleta são (CASTILHOS JUNIOR, 2009):

- As rotas devem ser contínuas, sem fragmentação ou sobreposição;
- O início da rota deve ser o mais próximo possível da garagem (galpão);
- A conclusão deve ser o mais próximo possível do acesso para a disposição final;
- Os locais mais altos devem ser coletados no início da rota;

- A coleta deve ser feita nos dois lados da rua ao mesmo tempo, sempre que possível (criar rotas longas e diretas);
- A coleta nas ladeiras (ruas íngremes) deve ocorrer nos dois lados, ao mesmo tempo, durante a descida;
- Em ruas muito largas ou de trânsito intenso, fazer a coleta, primeiro de um lado e depois do outro. Nestas situações, a rota deve ser feita com várias voltas em torno dos quarteirões (loops), no sentido horário;
- As conversões devem ser evitadas à esquerda;
- As ruas sem saída devem ser consideradas como segmentos da rua que as interceptam;
- Os trajetos improdutivos, em que não ocorre coleta de resíduos, devem ser os menores possíveis (no máximo 20% do percurso).

Para CEMPRE (2010), as etapas a serem seguidas para o dimensionamento do serviço de coleta são: estimativa do volume a ser coletado; definição das frequências de coleta; definição dos horários de coleta domiciliar; dimensionamento da frota dos serviços; definição dos itinerários de coleta.

A melhor maneira de se estimar a quantidade de resíduo a ser coletada é pelo monitoramento da coleta existente. Todavia, os métodos existentes apresentam imprecisões, uma vez que o volume per capita de resíduo gerado pode variar dia a dia. Outra alternativa é determinar o índice de geração de resíduos por extensão de via, dividindo-se a quantidade total coletada em um dia pela extensão total das vias coletadas (expresso em kg/dia por metro de via).

A frequência de coleta define o tempo decorrido entre duas coletas consecutivas num mesmo local ou setor, e é definida basicamente pelo fator econômico (quanto maior a frequência, maior o custo total do serviço) e pela quantidade de resíduo a ser coletada (de forma a evitar grandes acúmulos). Quanto ao horário de coleta, que pode ser realizado em período diurno ou noturno, dependerá do porte e das características de cada município. O dimensionamento da frota de coleta determinará o número de veículos necessário na realização da coleta (CEMPRE, 2010).

O itinerário de coleta é o trajeto percorrido pelo veículo coletor, dentro de um mesmo setor, num mesmo período, transportando o máximo de resíduo possível. O itinerário deve ser projetado de maneira a minimizar os percursos improdutivos (nos quais não há coleta), bem

como com o menor desgaste possível para a guarnição e o veículo. Estes roteiros devem ser planejados de tal forma que as guarnições comecem seu trabalho no ponto mais distante do local de destino final da coleta e, com a progressão do trabalho, se movam na direção daquele local reduzindo as distâncias e o tempo de percurso (MONTEIRO et al., 2001). Todos esses itens são interativos, e ao final do dimensionamento é que se poderá analisar o sistema como um todo, sendo que, porventura, alguns ajustes serão necessários.

2.4.3 Modelos de Roteamento de Veículos

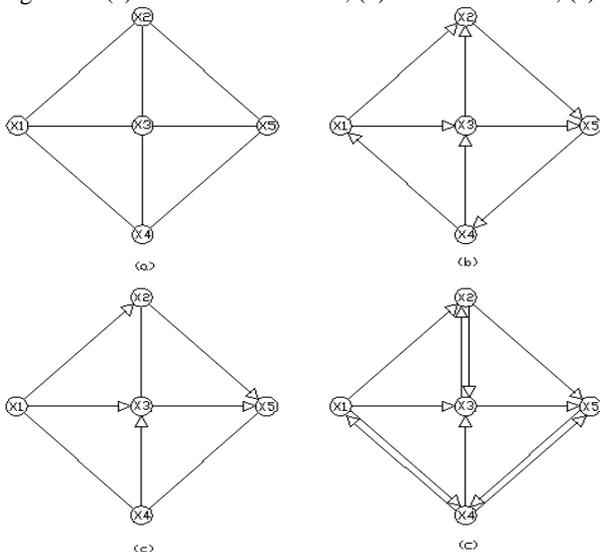
2.4.3.1 *Conceitos Básicos: Grafos e Redes*

O problema de roteamento surgiu com o problema das pontes de Königsberg no século XVIII, onde se discutia a existência de um caminho que percorresse sete pontes de uma cidade pertencente à Alemanha, passando apenas uma única vez por cada uma delas. Nesse período, o matemático suíço Euler, em 1736, encontrou condições para a existência de um caminho fechado e mostrou que não existe tal caminho neste caso específico. Esta descoberta de Euler foi um dos marcos iniciais da teoria dos grafos (ARENALES et al., 2007), uma base teórica utilizada no desenvolvimento do produto utilizado no presente trabalho.

Um grafo $G(N,A)$ é uma estrutura que consiste de um conjunto finito de N nós ou vértices e de um conjunto finito de A arestas ou arcos. As arestas e arcos conectam pares de nós (ou vértices), onde $(i,j) \in A$, $i \in N$ e $j \in N$ (LARSON e ODoni, 1981).

Quando as linhas do grafo tem direção, são chamadas de arco e o grafo é dito orientado. Caso contrário, são chamadas de arestas e o grafo é dito não orientado. Ou ainda, pode ser um grafo misto (CHRISTOFIDES, 1975). A orientação dos arcos normalmente é representada por uma seta. Ao se trabalhar com uma rede viária, a mesma é transformada em um grafo misto em que os nós representam as esquinas e, considerando o sentido das ruas, os arcos (direcionados) representam as de mão única, e as arestas (não direcionadas) as de mão dupla. Neste último caso, no momento de obtenção das matrizes, a aresta é transformada em dois arcos (um vai, outro volta) (Figura 5).

Figura 5 - (a) Grafo não orientado; (b) Grafo orientado; (c) Grafo misto.



Fonte: A autora, 2014.

Duas arestas/arcos que incidem sobre o mesmo vértice são adjacentes. Caminho, em um grafo orientado, é uma sequência de arcos onde o nó final de um arco é o inicial do próximo, respeitando a orientação dos mesmos. Nestes, o nó inicial e o nó final não são necessariamente adjacentes. Em grafos não orientados, uma sequência qualquer de arestas adjacentes é chamada de cadeia. Por fim, um circuito é um caminho em que o nó inicial coincide com o nó final (KONOWALEMKO, 2012).

Dado um grafo não orientado G , este contém um circuito Euleriano se o circuito passa por cada aresta/arco de G uma única vez. Segundo Christofides (1975), um grafo conexo e não orientado contém um circuito Euleriano se e somente se o número de vértices de grau ímpar é zero ou dois (0 ou 2). Necessariamente, qualquer circuito Euleriano deve utilizar uma aresta/arco para entrar em um vértice, e outra(o) diferente para sair (CHRISTOFIDES, 1975).

2.4.3.2 Problema de Cobertura de Arestas/Arcos

Segundo Sherafat (2004), nos problemas de roteamento o objetivo é determinar um circuito de custo mínimo que cubra um dado conjunto de arcos/arestas ou nós/vértices de um grafo, sujeito a algumas restrições. Nestes, uma rede viária é representada por um grafo $G(N, A)$,

como descrito anteriormente. Neste contexto tem-se o Problema do Carteiro Chinês (PCC), ou *Chinese Postman Problem*, que é um problema de cobertura de arestas/arcos em que se deseja encontrar o caminho mínimo que contenha todas as arestas/arcos, de uma determinada rede, pelo menos uma vez.

O passeio do carteiro diferencia-se do circuito euleriano por nele ser permitida, se necessário, a repetição de arestas (GOLDBARG e LUNA, 2005). Bodin et al. (1978), cita algumas aplicações para o PCC, como por exemplo:

- Coleta de lixo domiciliar;
- Limpeza de ruas com varredores mecânicos;
- Remoção de neve de vias públicas;
- Serviço de entrega de cartas e encomendas de correios;
- Inspeções periódicas de linhas elétricas, redes de gasodutos, ou oleodutos;
- Leitura de medidores de consumo de água, energia, gás, etc.;
- Distribuição de produtos de consumo de larga escala, como água mineral, refrigerantes, leite, jornal, etc.;
- Serviços de transporte escolar, entre outras aplicações.

O PCC pode ser aplicado a grafos não direcionados (ruas de mão dupla), direcionados (ruas de mão única) ou mistos (algumas ruas de mão dupla e outras de mão única). Quando se fala em redes não direcionadas, tem-se o Problema do Carteiro Chinês Não Orientado – PCCNO. A aplicabilidade deste problema em otimização de rotas, faz-se naquelas malhas em que estão presentes vias de mão dupla. Para a solução de circuitos eulerianos é possível a aplicação do algoritmo de Larson e Odoni (1981) (GODINHO e JUNQUEIRA, 2006).

Em problemas que envolvem um grafo completamente orientado (Problema do Carteiro Chinês Orientado - PCCO), para que o caminho mínimo seja encontrado, o mesmo deve ser simétrico. Isso significa que para cada nó, o grau de entrada é o mesmo que o grau de saída. Caso esta condição não seja verificada, far-se-á necessária a adição de cópias apropriadas de alguns arcos.

Conforme anteriormente apresentado, um grafo misto contém tanto arcos como arestas. Neste caso tem-se o Problema do Carteiro Chinês Misto – PCCM. O PCCM é o que mais se assemelha à realidade das malhas urbanas, sendo também a mais complexa do ponto de vista da solução (SHERAFAT, 2004).

2.4.3.3 *Problema da Cobertura de Vértices*

O Problema da Cobertura de Vértices tem como princípio a atividade dos caixeiros viajantes, e por isso é conhecido também como Problema do Caixeiro Viajante – PCV (do inglês *Travelling Salesman Problem*). Um caixeiro viajante partindo de sua cidade deve visitar exatamente uma única vez cada cidade de uma dada lista e retornar para casa, tal que a distância total percorrida seja a menor possível. Este problema tem inúmeras aplicações práticas, como minimização de rotas de veículos, confecção de sistemas digitais, sequenciamento de atividades e outros.

O PCV consiste em encontrar um caminho hamiltoniano que represente o menor custo (ou caminho mínimo). Tem-se que um caminho hamiltoniano é um caminho que percorre todos os vértices de G passando uma e somente uma vez sobre cada vértice. Devido a esta condição, na execução do caminho parte-se de um vértice, percorrendo o caminho e retorna-se para o mesmo vértice (MARTINELLI JÚNIOR et al., 2002).

Sob a ótica de otimização, os problemas de roteamento de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertencem à categoria conhecida como NP-difícil (NP-*hard* ou NP-complexo), ou seja, sua ordem de crescimento é exponencial (GRACIOLLI, 1994). Isso significa que o esforço computacional para a sua resolução cresce significativamente de acordo com o tamanho do problema (dado pelo número de pontos a serem atendidos) (GOLDBARG e LUNA, 2005).

A fim de minimizar tais esforços, tem-se a utilização de heurísticas. Heurísticas são algoritmos utilizados para encontrar soluções para problemas NP-difíceis. A solução encontrada através da sua utilização pode não ser a ótima, porém uma boa heurística apresenta soluções bastante próximas da ótima (MARTINELLI JÚNIOR et al., 2002). Alguns procedimentos heurísticos conseguem soluções com diferenças menores que 1% entre estas e a solução ótima (GOLDEN et al., 1980). Heurísticas podem ser divididas em abordagens baseadas em otimização: (1) procedimentos de construção de rotas, (2) procedimentos de melhoria de rotas e (3) procedimentos compostos (GRACIOLLI, 1994).

Numa abordagem da coleta seletiva, a estratégia de solução para um PCV remete, geralmente, aos aspectos de distância entre os pontos a serem atendidos, uma vez que a operação de coleta em PEVs ou contêineres não está sujeita a condicionantes temporais (não existe um horário determinado para a coleta de cada ponto) (BARÃO et al., 2008).

Em alguns problemas reais de roteamento, devido à exigência de novas necessidades e restrições, impõe extensões ao PCV clássico. Dentre tais extensões tem-se o problema de múltiplos caixeiros viajantes com único ou múltiplos depósitos/garagens (M-PCV), em que o objetivo é encontrar rotas que minimizem a combinação de distância total necessária para suprir a demanda dos vértices. Bodin et al. (1983) apresentam formulações matemáticas para estes problemas.

A literatura apresenta diversas comparações entre os métodos existentes, porém, não é possível chegar a conclusões definitivas se analisadas de maneira global. Todavia, para um problema real, a escolha do método deverá ser acompanhada de um estudo criterioso de seleção a partir do qual o método mais propício para a resolução de determinado problema será indicado. Diversos fatores devem ser considerados na seleção do método, tais como a estrutura de dados disponível, o tipo de solução esperada, a estabilidade das rotas e o equipamento disponível.

2.4.4 Estudos correlatos: Roteirização de veículos na coleta de RSU

O estudo e planejamento dos roteiros de coleta visam o aumento da eficiência na realização desta atividade. É possível encontrar na bibliografia trabalhos que analisaram a economia gerada a partir da aplicação de modelos de otimização de rotas.

Detofeno (2009) observou que em um sistema de coleta de resíduos sólidos para uma região do município de Joinville, SC, inicialmente o caminhão percorria 21.000 m, e após aplicação do PCC a rota foi reduzida para 19.355 m, o que representa uma economia de 7,83% em cima do percurso realizado atualmente pelo motorista do caminhão.

Souza e Rangel (2009) demonstraram que mesmo em problemas de coleta de resíduos de pequeno porte é possível atingir uma redução de custo considerável. Em seu estudo, modelado através do software LINDO (*Linear Interactive and Discrete Optimizer*), apresentou uma rota aleatória, de 2.175 m, que após otimização encontrou o valor ótimo igual a 1.809 m (caminho mínimo), o que representa uma economia no percurso de 16,83%.

Lacerda (2003) utilizou como ferramenta de roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos, para estudo de caso na cidade de Ilha Solteira – SP, o software TransCAD, que é um SIG que permite desenvolver rotas utilizando algoritmos que incluem o procedimento de roteirização em arcos. Obteve com esta aplicação uma redução

percentual de até 41% em termos de distância percorrida e de 68% no tempo total do percurso, em relação à rota atual.

Pascoal Jr. e Oliveira Filho (2010) também utilizaram SIG para avaliar o roteiro de coleta de resíduos sólidos na região central da cidade de Irati, PR. O aplicativo utilizado foi o software Spring (v.5.1.3), obtendo nos resultados uma redução de até 30,84% em relação à rota atual.

Apaydin e Gonullu (2007) desenvolveram um estudo de otimização para a coleta de resíduos sólidos do município de Trabzon, na Turquia. Os dados utilizados foram referentes a rede rodoviária, a demografia e a produção de resíduos sólidos. As rotas foram geradas por um SIG, onde foram cadastrados 777 pontos da cidade, que resultou em economias de aproximadamente 24,7% na distância percorrida e 44,3% no tempo de coleta dos resíduos.

Com isso, constata-se que as soluções de otimização de rotas, quando comparadas com rotas já existentes, demonstram redução de custos, sendo em alguns casos bastante significativa. Isto implica que a obtenção de novas rotas por PCC ou PCV resultará na realização de rotas ótimas, percorrendo distâncias mínimas e promovendo uma economia de recursos.

2.5 ENGENHARIA DE SOFTWARE: DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Pressman (2010) apresenta uma abordagem histórica da evolução dos sistemas computacionais. Segundo o autor, durante os primeiros anos do desenvolvimento de sistemas computadorizados, nas décadas de 1950 e 1960, o hardware sofreu contínuas mudanças, enquanto o software era simplesmente projetado sob medida para cada aplicação. Normalmente, o software era desenvolvido e utilizado pela própria pessoa ou organização.

Em meados da década de 1960, a redução dos custos com os hardwares e a evolução do nível de sofisticação do software, gerou uma dependência das empresas em relação aos profissionais do setor, que deu início a chamada “crise do software”. É neste momento que surge a chamada Engenharia de Software (*Software Engineering*) agregando conceitos de engenharia (processo e produto) à atividade de Programação de Software. Em síntese, a Engenharia de Software pode ser definida como:

“área da informática que trata da especificação, desenvolvimento e manutenção de um produto de

software aplicando tecnologias e práticas de ciência da computação, gerência de projetos e outras disciplinas, objetivando organização, produtividade e qualidade” (PRESSMAN, 1995).

Tonsig (2008) relata a importância da implementação de um método para o desenvolvimento de um software pelos programadores, sendo que um método pode ser entendido como um caminho a ser percorrido em etapas, onde se aplica um conjunto de técnicas. Esse conjunto de técnicas aplicadas permitirá a construção de um software eficiente e seguro.

A principal preocupação de um desenvolvedor de software deve ser a construção de um produto (software) capaz de satisfazer às necessidades de seus usuários e respectivos negócios a partir de uma verificação detalhada dos problemas que devem ser resolvidos aliada aos desejos do usuário sobre a questão; todo resto é consequência (TONSIG, 2008).

“Desenvolver sistemas não é só criar soluções para os clientes. Compreende também a habilidade de planejar e simular situações para evitar problemas no futuro” (LEME FILHO, 2003).

Os autores supracitados apresentam divergências quanto à preocupação central de um programador frente ao desenvolvimento de um software. Porém, observe que as duas frases são complementares, já que ele (o programador) deve sim criar um produto que satisfaça as necessidades do usuário/cliente, tornando-o ainda mais satisfatório quanto maior for sua capacidade de simular situações reais de modo a encontrar possíveis falhas, ou erros, evitando problemas futuros. Apesar da divergência de opinião dos autores, os processos de desenvolvimentos de software apresentados por eles são baseadas nos conceitos básicos da engenharia de software, e compõe as etapas descritas a seguir.

O levantamento dos **requisitos de um sistema** é a primeira etapa a ser desenvolvida, e corresponde às funcionalidades do sistema. Podem ser subdivididos em requisitos funcionais e requisitos não funcionais. Entende-se por requisitos funcionais, as principais funcionalidades que o sistema (software) disponibilizará ao usuário. Já os requisitos não funcionais correspondem principalmente aos dispositivos necessários para a execução do software, ou seja, suas limitações. Por fim, ao desenvolver o sistema, devem-se levar em conta

os recursos disponíveis aos usuários, como mapas, dispositivos, e sistemas.

Na **análise do sistema** (ou análise sistêmica) todos os dados e processos verificados na etapa anterior serão avaliados de modo que ao final dessa etapa se consiga fornecer “matéria-prima” ideal para a elaboração de uma proposta de solução. Os objetivos da análise do sistema são: limitar o escopo do sistema; determinar prazos; e identificar as necessidades do usuário.

A etapa de **projeto do sistema** se trata de um aprimoramento da etapa anterior, cujo resultado será um detalhamento das especificações para que seja possível a construção do software. Nela, devem ser considerados o sistema operacional, a linguagem de programação, o gerenciador de banco de dados, o método de acesso ao banco de dados, as regras de interface, entre outros. O programador poderá prototipar telas, relatórios e interfaces. A interface que o software terá com o usuário deverá ser elaborada de modo a criar uma integração homem-máquina amigável e intuitiva.

A fase denominada **implementação ou construção**, no ciclo de vida de um software, corresponde à elaboração e preparação dos módulos necessários à sua execução. Consiste em codificar as especificações elaboradas nas etapas anteriores, transformando-as em um software que satisfaça as condições dos futuros usuários do sistema. Essa transformação é realizada através de linguagens de programação, específicas para a elaboração de sistemas operacionais. Aplicam-se técnicas já consagradas para garantir a qualidade do trabalho e do produto final.

Após a implementação do software proposto, será realizada a fase de **testes do sistema ou homologação**, realizando-se os ajustes necessários dentro do escopo do projeto. Esta fase é também chamada de fase “destrutiva”, uma vez que se procura fazer o levantamento de falhas no produto, para que as causas dessas falhas sejam identificadas e então corrigidas. Pode-se dizer que a qualidade de um produto está relacionada à bateria de testes à qual ele é submetido, com a pura intenção de descobrir erros. É importante o entendimento de falha como sendo o comportamento operacional do software diferente do esperado pelo usuário, tendo sido causada por um erro. O sucesso nos testes se baseia na localização e correção destas falhas.

De uma forma simples, testar um software significa verificar através de uma execução controlada se o seu comportamento ocorre de acordo com o especificado. Caso não ocorra, as falhas devem ser

identificadas e corrigidas, processo conhecido como depuração (DIAS NETO, 2012). Aproximadamente 40% do ciclo de criação do produto pode ser atribuído aos testes a que ele é submetido. O teste de software pode ser visto como uma parcela do processo de qualidade de software, uma vez que os atributos qualitativos previstos na norma ISO 9126 são (ABNT, 2003):

- Funcionalidade;
- Confiabilidade;
- Usabilidade;
- Eficiência;
- Manutenibilidade;
- Portabilidade.

Intrinsicamente à fase de testes encontra-se a **validação** do software. Validação é o processo que garante que a solução encontrada pelo software condiz com os resultados esperados pelos usuários finais, bem como de sua adequação aos requisitos estabelecidos. Esta etapa diz respeito a um conjunto de atividades que garante que o software atende às expectativas do cliente usuário.

A última etapa denominada de **implantação** consiste principalmente no treinamento para o usuário, com a reunião dos novos usuários para que o sistema seja apresentado e incorporado como uma nova ferramenta de trabalho no seu dia a dia. Para que a implantação seja bem sucedida, é necessário considerar variáveis como: condições das instalações, nível de conhecimento dos usuários, necessidade de migração e interface, formas e técnicas de treinamento, entre outros.

A **manutenção** do software permanecerá durante toda sua vida útil. Ela poderá ocorrer devido a três fatores, principalmente: a correção de algum problema existente no software; sua adaptação decorrente de novas exigências (de legislação, por exemplo); e algum melhoramento funcional que seja incorporado ao software (PRESMANN, 2010; TONSIG, 2008; LEME FILHO, 2003; MOLINARI, 2003).

É importante salientar que além de participação parcial no desenvolvimento do modelo computacional, o presente trabalho teve suas ações baseadas na ideia de desenvolvimento de um protótipo, ou **prototipação**. Pode-se dizer que um protótipo é um modelo de experimentação rápida, em que o usuário tem envolvimento direto com o software à medida que seu desenvolvimento evolui.

Portanto, o protótipo apresentado trata "...de um esboço simplificado do produto a ser atingido, permitindo uma correta

avaliação de todos seus aspectos e permitindo correções e adaptações à medida que o protótipo evolui para o produto final” (TONSIG, 2008). Há ainda quem defenda que o protótipo não deve evoluir para um produto final, mas que, uma vez amadurecido, apresentando as características aprovadas pelo usuário, deve ser apenas o esboço ou piloto de um novo desenvolvimento (TONSIG, 2008).

3 METODOLOGIA

O modelo computacional desenvolvido tem como principal finalidade o planejamento de rotas e o roteamento de veículos conduzidos por catadores de materiais recicláveis, e foi produzido através da união do trabalho de dois laboratórios, são eles: Laboratório de Informática Aplicada da Universidade de Caxias do Sul – UCS, responsável pela codificação do modelo; e Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos – Lareso, da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, responsável por testar, e identificar melhorias ao sistema a partir da aplicação do mesmo, bem como por verificar sua eficiência.

A metodologia empregada no presente estudo (testes, avaliação da eficiência e aplicação do sistema) é detalhada na sequência. Já a metodologia utilizada pela equipe da UCS para o desenvolvimento do modelo é condizente com as teorias apresentadas pela engenharia de software, e encontra-se em detalhes no Anexo A.

Inicialmente realizou-se um levantamento de organizações (associações e cooperativas) de catadores de materiais recicláveis. Devido a necessidade do acompanhamento das rotas realizadas pelos catadores pela pesquisadora, buscou-se, inicialmente, aplicar o modelo com os catadores conhecidos como carrinheiros, pela facilidade de acompanhar os mesmos na realização de seu trabalho. Sendo assim, deparou-se com a dificuldade de encontrar organizações que ainda contam com esse tipo de coleta (por carrinheiros), uma vez que se verificou, na maioria dos municípios e organizações contatadas, a tendência de transferir os catadores para dentro dos barracões para trabalharem apenas com a triagem dos resíduos enviados pelos caminhões da coleta seletiva das prefeituras.

Foram contatadas vinte organizações presentes em onze municípios dos estados do Paraná e Santa Catarina. Destas, foram selecionadas três associações localizadas no município de Curitiba – PR para realização da etapa de levantamento de rotas, e posterior planejamento e otimização de rotas. No total, foram acompanhadas 16 rotas, realizadas por 11 carrinheiros das associações Osternak, Arepar, e ACAT Graciosa.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

3.1.1 Seleção das organizações e dos catadores colaboradores

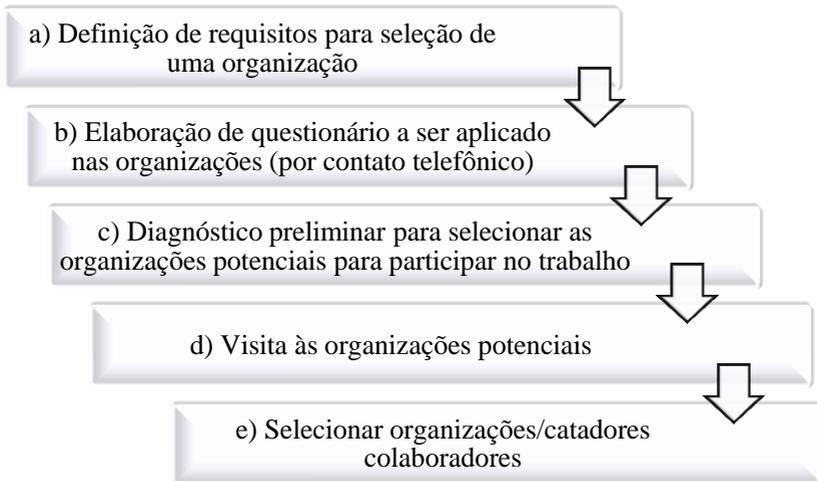
O levantamento de organizações (associações e cooperativas) de catadores de materiais recicláveis foi realizado concomitantemente ao

estabelecimento de contato com as mesmas. Devido à inexistência de um cadastro oficial de associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis no país, fez parte dessa etapa a busca por contatos de organizações de catadores atuantes, principalmente através de contato telefônico com prefeituras municipais, secretarias de meio ambiente, e de órgãos responsáveis pela coleta de resíduos nos municípios. Outra ferramenta importante para localizar associações e cooperativas atuantes foi a pesquisa direta na internet.

A amostragem utilizada foi a não aleatória (não probabilística) devido à dificuldade de determinar o tamanho da amostra, pelo motivo já apresentado. Para Barbetta (1998), “a amostragem não aleatória procura gerar amostras que, de alguma forma, representem razoavelmente bem a população de onde foram extraídas”. Em outras palavras, não se conhece a probabilidade de um elemento da população ser escolhido para participar da amostra.

Foram contatadas associações e cooperativas dos municípios de: Florianópolis, São José, Chapecó, Joinville, Balneário Camboriú, Itajaí, Navegantes, Itapema, Blumenau, Paulo Lopes e Curitiba. Esta etapa foi realizada de 1 a 26 de julho de 2013, e consistiu numa série de procedimentos, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Seleção das organizações e dos catadores colaboradores.



Fonte: A autora, 2014.

Inicialmente foram definidos alguns requisitos desejáveis, tomados como base para a escolha das organizações participantes. Em

decorrência dos objetivos da pesquisa, um critério eliminatório foi o de dispor dos profissionais conhecidos como “carrinheiros” que coletam materiais recicláveis nas ruas utilizando carrinhos de coleta dotados de tração humana (manual) ou elétrica. Sendo assim, não foram selecionados os catadores que utilizam veículos motorizados de grande porte (kombi, carreta ou caminhão), nem os de tração animal. É importante esclarecer que estes grupos poderão usufruir do modelo computacional apresentado nesse trabalho, porém para aplicação nesta pesquisa não são interessantes devido à dificuldade de a pesquisadora acompanhar o trabalho dos catadores devido aos meios de locomoção utilizados.

Tampouco foram considerados os grupos responsáveis apenas pela triagem dos materiais recicláveis recebidos da coleta realizada por caminhões da prefeitura, bem como de outras entidades. Estes dois critérios inviabilizaram a participação de várias organizações que trabalham com os referidos meios, conforme será apresentado em detalhes nos resultados.

Participaram da amostra final somente associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis cujas características próprias e de seus associados estivessem dentro dos critérios desejados. Para tanto, foram levantados alguns requisitos. Inicialmente, julgou-se considerar aquelas geograficamente mais próximas da pesquisadora. Os demais requisitos analisados para a seleção foram (item a, Figura 6):

- Número total de catadores;
- Número de catadores que trabalham diariamente;
- Tipo(s) de veículo(s) utilizado(s) para a coleta;
- Verificar se os catadores seguem uma rota determinada ou os percursos variam diariamente;
- Acesso a computador com conexão banda larga;
- Local de onde é realizado o acesso (o computador encontra-se na própria sede?);
- Confiabilidade na associação.

Existe a necessidade de que os catadores acompanhados durante o trabalho realizem a atividade de catação com frequência preferencialmente diária, porém no mínimo semanal, para que se tenha uma coleta de dados efetiva. Além disso, necessita-se que pelo menos alguns deles realizem uma rota pré-determinada, e não aleatória, para que seja possível realizar o processo de otimização de rotas pelo modelo. No caso dos catadores que realizam rotas aleatórias, é possível

apenas analisar as rotas realizadas em termos de distância percorrida e área de abrangência, e possivelmente fazer um planejamento das mesmas.

A organização selecionada deve possuir pelo menos um computador com acesso a internet, por serem requisitos para utilização do sistema computacional de planejamento de rotas. O ideal é que o computador seja propriedade da sede da organização, uma vez que o trabalho de otimização possa ser realizado no local. É necessário que a associação ou cooperativa selecionada seja organizada, de forma a passar confiança para o pesquisador no sentido de que as partes terão contato direto e contínuo, e os resultados da pesquisa dependem dessa colaboração mútua.

Para o levantamento dos requisitos supracitados utilizou-se como material de apoio o questionário apresentado no Apêndice A (item b, Figura 6). A aplicação do questionário, por meio de contato telefônico, resultou em dados que possibilitaram um diagnóstico inicial das organizações de catadores de materiais recicláveis, e por fim a seleção das organizações com maior potencial para participar da pesquisa, devido à sua compatibilidade com os requisitos da mesma (item c, Figura 6).

A partir das informações levantadas através do questionário, três associações foram selecionadas para participar do estudo, todas localizadas no município de Curitiba - PR. Considerou-se válido um contato presencial com as associações a fim de apresentar a pesquisadora e a pesquisa aos grupos, e conversar sobre o interesse dos catadores em participar e colaborar com o trabalho em questão (item d e item e, Figura 6). Feito isso, considera-se que a equipe (pesquisador e colaboradores) está apta a iniciar o trabalho de levantamento de rotas, para posterior análise e otimização, sendo este último procedimento realizado apenas quando for aplicável ao caso, conforme será explicado adiante.

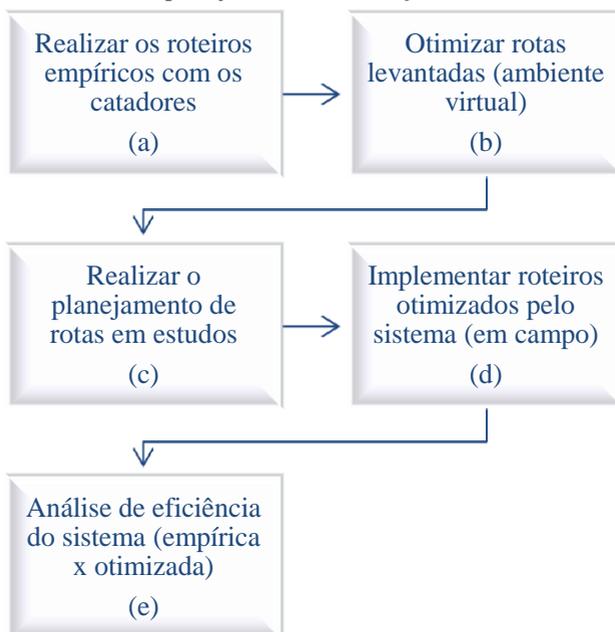
3.1.2 Levantamento, planejamento e otimização de rotas

A segunda etapa realizada refere-se aos procedimentos necessários para verificar se o modelo proposto corresponde com eficácia à demanda da existência de um sistema de planejamento e otimização de rotas. Inicialmente realizou-se a coleta de dados referente às rotas realizadas empiricamente pelos catadores de materiais recicláveis. Em seguida tem-se a aplicação no modelo, permitindo a análise, otimização e planejamento de tais rotas, seguido da aplicação

em campo das rotas otimizadas pelo sistema. Por fim, realizou-se a análise de eficiência do sistema comparando os resultados obtidos como forma de redução percentual (Figura 7).

Esta etapa foi realizada de 07 de agosto a 18 de setembro de 2013 (coleta de dados: rotas empíricas) e de 4 a 21 de novembro de 2013 (coleta de dados: rotas otimizadas), nos dias em que os catadores realizaram coleta.

Figura 7 - Levantamento, planejamento e otimização de rotas.



Fonte: A autora, 2014.

Inicialmente faz-se necessário construir um banco de dados da situação atual da coleta de materiais recicláveis através da atividade de catação. Para isso, realizou-se o acompanhamento do dia a dia dos catadores colaboradores (item a, Figura 7). Na coleta de dados foram determinadas as seguintes variáveis:

- Distância/percurso percorrida (entre saída e retorno ao galpão/barracão);
- Tempo para realização do percurso na execução de uma rota (entre saída e retorno ao galpão/barracão);
- Tempo total de coleta dispendido na realização de uma rota.

Como ferramentas auxiliares para este levantamento de dados, utilizou-se o receptor GPS Garmin Etrex 20 e o software da Garmin, *BaseCamp*. O aparelho Etrex 20 rastreia satélites GPS e os russos GLONASS simultaneamente, o que permite a captura de até 24 satélites a mais do que se estivesse utilizando apenas o sistema GPS. Isso resulta numa maior precisão com relação às coordenadas obtidas e rapidez no processo de obtenção da posição. Os dados são armazenados em formato GPX, aceito mundialmente e compatível com diversos aplicativos para computador. Entretanto, segundo o fabricante, o resultado é ainda melhor quando utilizado com o software de planejamento gratuito da Garmin, o *BaseCamp* (GARMIN, 2013).

A coleta realizada por catadores foi acompanhada de modo que os roteiros realizados ficassem armazenados no GPS (em campo), seguido da obtenção dos dados armazenados no mesmo através do Garmim *BaseCamp* (ambiente virtual). Com isso, o tempo total da rota foi fracionado em dois tempos: o tempo em coleta e o tempo em percurso. O tempo em coleta representa o somatório dos tempos em que o catador encontrava-se parado coletando material nos 'n' pontos em que realizou coleta em uma rota. Já o tempo em percurso refere-se ao tempo em que o catador encontrava-se em deslocamento. Para este trabalho interessa principalmente o último, calculado reduzindo-se do tempo total o tempo em coleta, conforme a equação:

$$t_p = t_t - t_c \quad (1)$$

Em que: t_p é o tempo em percurso (h); t_t é o tempo total da rota (h); e t_c é o somatório dos tempos em coleta (h).

Sendo que:

$$t_c = \sum_0^n t_{cf} - t_{ci} \quad (2)$$

Em que: t_c é o tempo total em coleta (h); t_{cf} é o tempo final de coleta (h); e t_{ci} é o inicial de coleta (h) nos 'n' pontos em que o catador realizou coleta em uma rota; e:

$$t_t = t_f - t_i \quad (3)$$

Em que: t_t é o tempo total da rota (h); t_f é o tempo final da rota (h) (dado pelo horário de retorno ao barracão); e t_i é o tempo inicial da rota (h) (dado pelo horário de saída do barracão).

Em posse dos dados levantados, os mesmos foram inseridos no modelo computacional desenvolvido, possibilitando obter a variável distância (dada pelo modelo), e realizar as etapas de planejamento e otimização de rotas (itens b e c, Figura 7). O que diferenciou a realização de planejamento ou de otimização de rotas foi a maneira com

que o catador realizava a coleta, já que no espaço amostral estudado foram identificadas basicamente três situações distintas na realização da atividade de catação. São elas:

- Situação 1: Aquela em que o catador tem pontos específicos de coleta, e realiza sempre a mesma rota para atingi-los;
- Situação 2: Aquela em que o catador tem pontos específicos de coleta, porém não realiza sempre a mesma rota para atingi-los, normalmente catando material também durante o percurso;
- Situação 3: Aquela em que catador não possui pontos específicos de coleta, e realiza uma rota aleatoriamente até que o carrinho esteja cheio, ou tenha coletado uma quantidade considerada satisfatória para ele.

As rotas que se enquadrarem na situação 1 são as únicas passíveis da realização do processo de otimização e da análise de eficiência do sistema, já que possibilita a comparação dos dados coletados na realização da rota empírica com os da rota otimizada pelo modelo computacional. Sendo assim, a coleta de dados é realizada em triplicata, ou seja, acompanha-se três vezes o catador ao realizar a coleta segundo a rota empírica (determinada por ele), e após otimizar essa rota no modelo, será gerada uma rota otimizada (caminho mais curto). Esta rota será adotada e também acompanhada três vezes (item d, Figura 7).

Finalmente, com o auxílio do software Excel (2010), foram comparados os resultados obtidos nos roteiros empíricos e otimizados, em relação aos itens tempo para percorrer a rota e distância da rota, resultando na análise de eficiência do modelo em questão (item e, Figura 7).

Para calcular a redução percentual obtida em relação ao tempo para realização da rota, primeiramente encontrou-se a diferença entre os tempos obtidos na realização das rotas empírica e otimizada, conforme a equação:

$$t_r = t_e - t_o \quad (4)$$

Em que: t_r é o tempo reduzido (h); t_e é o tempo da rota empírica (h); e t_o é o tempo da rota otimizada (h).

Em seguida transformou-se o tempo reduzido (t_r) em redução percentual através de regra de três simples, conforme a equação:

$$\frac{t_e}{t_r} = \frac{100}{x} \quad (5)$$

Em que: t_r é o tempo reduzido (h); t_e é o tempo da rota empírica (h); e x é o valor da redução percentual (%).

Para os cálculos da redução percentual obtida em relação a variável distância (dada em quilômetros) seguiu-se o mesmo procedimento apresentado acima (para a variável tempo), resultando na obtenção da redução percentual da distância da rota gerada pelo modelo computacional em relação à distância da rota empírica realizada pelo catador. Sendo assim:

$$d_r = d_e - d_o \quad (6)$$

Em que: d_r é a distância reduzida (km); d_e é a distância da rota empírica (km); e d_o é a distância da rota otimizada (km).

Em seguida transformou-se a distância reduzida (d_r) em redução percentual através da regra de três simples, conforme a equação:

$$\frac{d_e}{d_r} = \frac{100}{x} \quad (7)$$

Em que: d_r é a distância reduzida (km); d_e é a distância da rota empírica (km); e x é o valor da redução percentual (%).

Os resultados desses procedimentos permitiram a análise de eficiência do sistema, obtidos em forma de redução percentual.

3.2 FUNCIONALIDADES DO SISTEMA E TESTES

Os testes foram realizados com o objetivo de encontrar e corrigir falhas e erros, validando, por fim, as funcionalidades do modelo computacional. Foram realizados através da simulação de situações hipotéticas, além da submissão do modelo a situações de estresse. Os testes de estresse são realizados adicionando um número excessivo de dados no modelo, a fim de exigir mais do sistema do que se espera que seja exigido em situações reais (PRESMANN, 2010). Foram realizados, desta maneira, os seguintes procedimentos:

- Otimização de rotas: adicionaram-se 23 pontos de coleta, sabendo-se que a média de pontos de coleta por rota são 4 (segundo a amostra do presente estudo);
- Planejamento de rotas: adicionaram-se 5 rotas de uma mesma associação (o maior número de carrinheiros verificado no estudo);
- Cadastros e relatórios: adicionou-se grande gama de informações para o cadastro de catadores e de associações/cooperativas, verificando o correto funcionamento da geração de relatórios.

O procedimento de otimização de rotas possibilita a utilização, e, portanto, validação de dez funcionalidades do modelo. São elas:

- Adicionar pontos;
- Dados do ponto;
- Mover ponto;
- Excluir ponto;
- Selecionar ponto;
- Gerar TSP - motorizado;
- Gerar TSP - manual;
- Dados da rota – Avançado;
- Editar rota;
- Salvar.

Já o processo de planejamento de rotas possibilita a utilização, e, portanto, validação de seis funcionalidades do modelo. São elas:

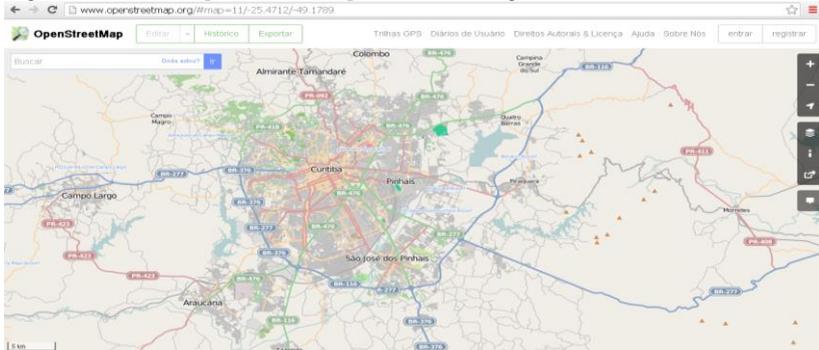
- Desenhar rotas;
- Editar rota;
- Dados da rota;
- Trocar cor;
- Distância da rota;
- Salvar.

3.2.1 Descrição das funcionalidades do modelo

A seguir serão descritas as funções (também chamadas de casos de uso pela engenharia de software) do modelo utilizado no presente trabalho.

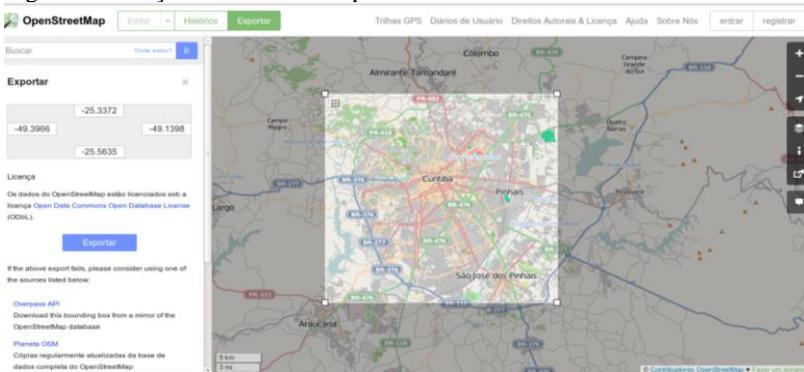
- 1) **Obter rede viária:** Este caso de uso permite que o usuário defina, através do site do *Open Street Map* (www.osm.org, portanto deverá estar conectado à internet), uma área (cidade, bairro, ou afins) em que se pretende fazer o planejamento de roteiros (Figura 8). O OSM permite selecionar manualmente a área do mapa a ser exportada (Figura 9).

Figura 8 - Site do *Open Street Map*: www.osm.org.



Fonte: A autora, 2014.

Figura 9 - Seleção da área a ser exportada.



Fonte: A autora, 2014.

Após a seleção da área de interesse o sistema permite que seja salvo um arquivo (com extensão “.osm”) com a rede viária desta área. Após o arquivo ter sido gravado, o sistema permite que seja importado para o banco de dados PostgreSQL (Figura 10).

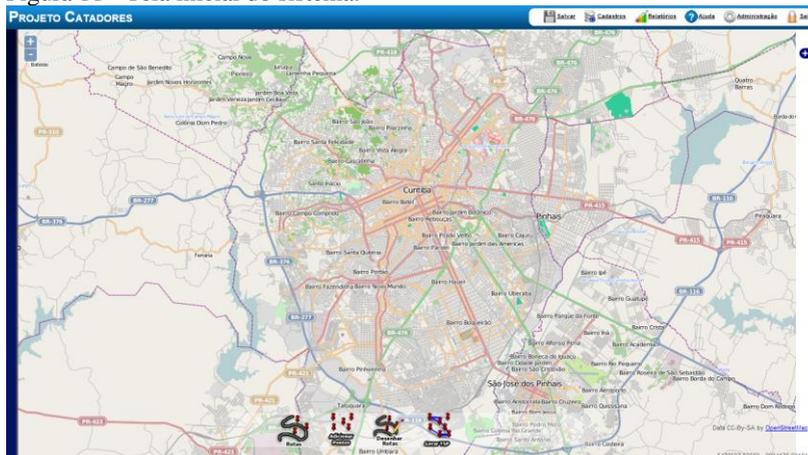
Portanto, a localidade inicial poderá ser alterada qual seja a de interesse do usuário. Desta forma, a tela inicial do modelo ficará com o mapa padrão selecionado, que juntamente com os menus do sistema resulta na interface da tela inicial (Figura 11).

Figura 10 - Carregamento dos dados da área selecionada.



Fonte: A autora, 2014.

Figura 11 - Tela inicial do sistema.



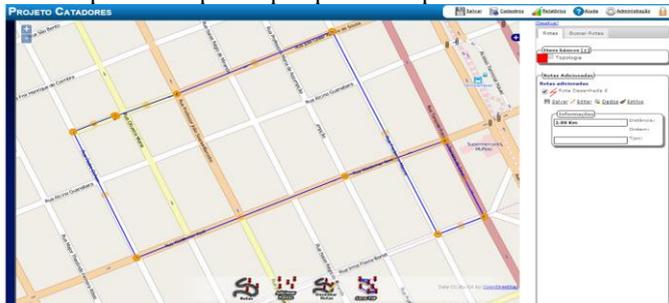
Fonte: A autora, 2014.

Todo mapa tem uma rede de nós com suas respectivas coordenadas utilizadas como base para roteirização nele. O *Open Street Map* disponibiliza um arquivo com algumas informações referentes a cada nó da rede, tais como tamanho do nó, data, hora e usuário que adicionou aquele segmento na web, além de um identificador único daquele ponto. As coordenadas que são extraídas do *Open Street Map* estão em formato cartesiano, porém, são convertidas no tratamento dos dados para o formato UTM e são armazenadas dessa forma (caso se utilize a função de salvar um ponto ou rota de coleta).

- 2) **Desenhar rotas:** Através da função “Desenhar rotas” o usuário poderá traçar roteiros sobre a rede viária, exatamente como são executados para visualizar possíveis sobreposições e caminhos improdutivos, por exemplo, além de verificar as distâncias percorridas por rota.

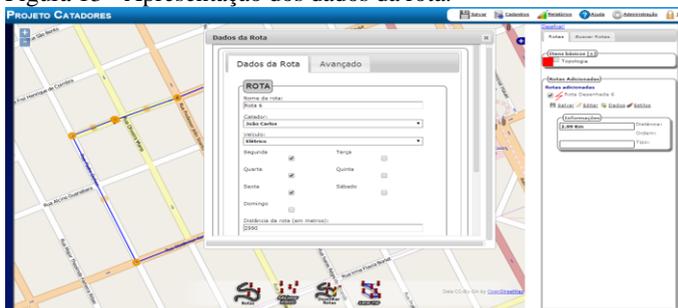
- 3) **Editar rotas:** As informações das rotas se encontrarão no menu direito, em “Rotas Adicionadas”. Este menu contém todas as rotas adicionadas no sistema (seja ela gerada automaticamente – através da função “Gerar TSP”, ou manualmente – através da função “Desenhar rotas”). Muitas vezes estes ajustes representam melhorias que dificilmente seriam identificadas sem o uso do sistema. O usuário poderá verificar e adicionar informações sobre a rota, além de editá-la através das funções:
 - **Editar:** Esta função permite que o usuário modifique a rota após ela ter sido desenhada em mapa. Esta modificação é realizada movendo-se os vértices existentes para o novo ponto desejado (Figura 12);
 - **Dados:** Apresenta os dados relacionados à rota como nome da rota, nome do catador, veículo utilizado, selecionar dias da semana em que a rota é realizada, e distância total da rota (Figura 13). No caso da distância percorrida, o sistema faz um cálculo aproximado baseado nos dados vetoriais da rede implantada (Figura 14);
 - **Estilos:** Esta função permite trocar a cor da rota, o que possibilita uma melhor visualização e distinção das rotas adicionadas (Figura 15);
 - **Salvar:** Ao finalizar todas as modificações, o usuário deve salvar a rota a fim de que as informações estejam disponíveis nos próximos acessos ao sistema.

Figura 12 - Edição de rotas, com destaque para os vértices que podem ser movidos para outro ponto qualquer do mapa.



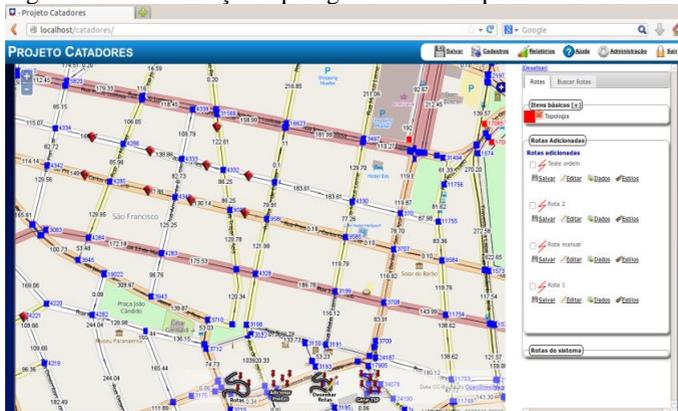
Fonte: A autora, 2014.

Figura 13 - Apresentação dos dados da rota.



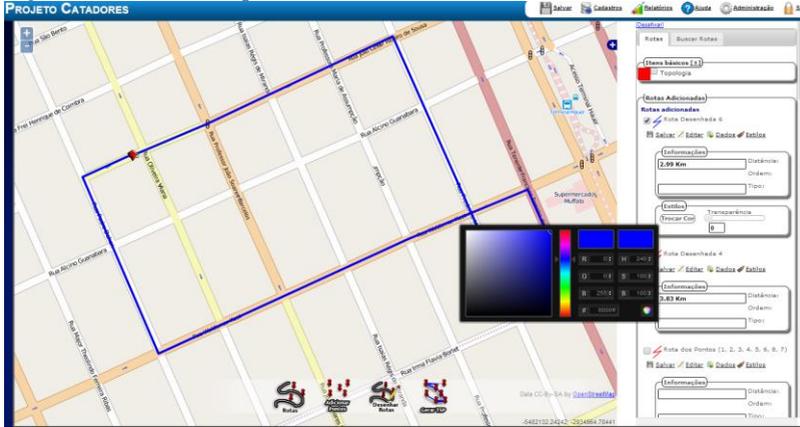
Fonte: A autora, 2014.

Figura 14 - Visualização topológica da rede implantada no sistema.



Fonte: A autora, 2014.

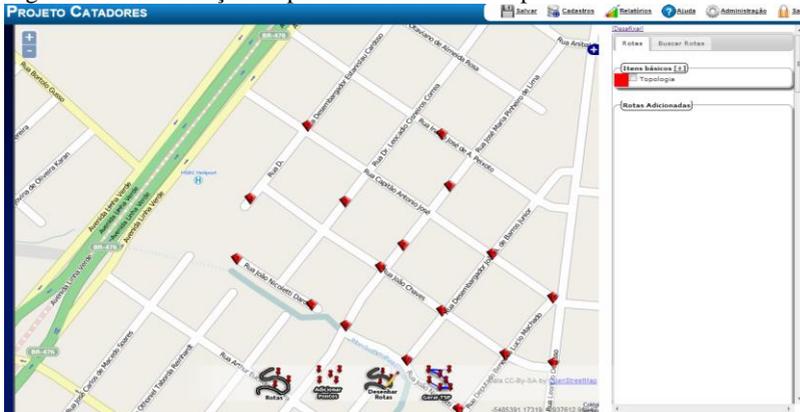
Figura 15 - Definir cor para a rota nova.



Fonte: A autora, 2014.

- 4) **Definir pontos de coleta:** Através da função “Adicionar pontos” o usuário poderá definir pontos de coleta na rede viária (Figura 16). Cada ponto carrega um número conforme a ordem em que foi demarcado no mapa. Caso o usuário queira gerar rotas com esses pontos em mais de uma ocasião, é possível salvá-los, tornando-os fixos no sistema. Neste caso, ele poderá preencher algumas informações inerentes ao ponto (Figura 17).

Figura 16 - Demarcação de pontos de coleta no mapa.



Fonte: A autora, 2014.

Figura 17 - Detalhes do ponto de coleta.



Fonte: A autora, 2014.

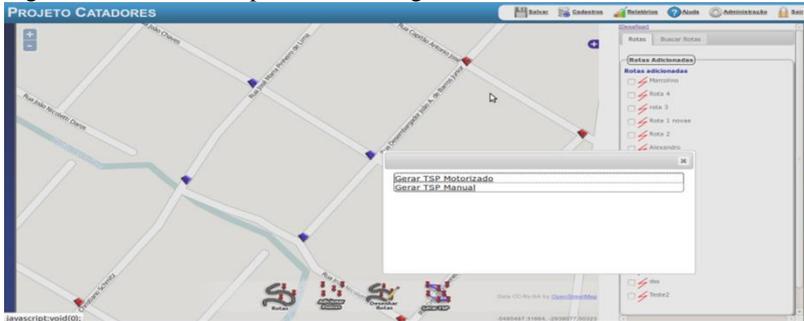
- 5) **Otimizar uma rota:** Esse caso de uso permite que o usuário otimize um roteiro. A partir dos pontos previamente inseridos, o usuário deverá selecionar os pontos que ele deseja que estejam contidos na rota a ser gerada, e os pontos selecionados passarão a ter cor azul (Figura 18). Após a escolha dos pontos, o usuário tem a opção de escolher se deseja gerar uma rota motorizada (que considera o sentido das ruas – grafo orientado) ou manual (que não considera o sentido das ruas – grafo não orientado) (Figura 19).

Figura 18 - Seleção dos pontos de coleta em que o catador irá passar (pontos em azul).



Fonte: A autora, 2014.

Figura 19- Escolha do tipo da rota a ser gerada.



Fonte: A autora, 2014.

A partir do procedimento descrito, o sistema definirá uma rota correspondente ao caminho mais curto para que se tenha cobertura total dos pontos de interesse (Figura 20).

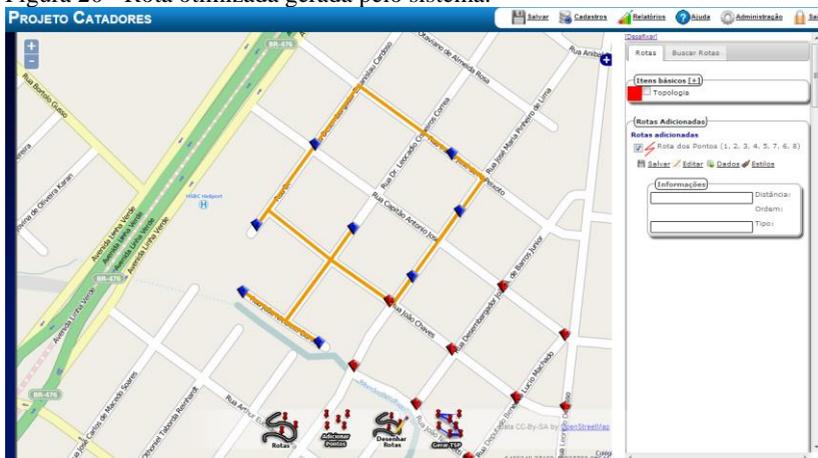
Para o cálculo de algoritmos de distância, como Dijkstra, que é feito entre os pontos é utilizada a extensão do banco de dados *pgRouting* que contém funções que consideram parâmetros como as coordenadas de início e de fim de uma rota. O *pgRouting* oferece em sua biblioteca diversos algoritmos de roteirização, além de utilizar rotinas específicas para cálculos direcionados e não direcionados para cada algoritmo.

A otimização é feita entre a conciliação do *pgRouting* para o cálculo de caminho mais curto entre os pontos, o PHP que é responsável por montar uma matriz de distâncias e também um solver da heurística do LKH desenvolvida em linguagem C, onde apresenta o resultado da ordem dos pontos a serem percorridos.

A partir do momento que o usuário solicita a otimização de uma rota com os pontos de coleta selecionados, uma matriz é montada utilizando as rotinas do algoritmo Dijkstra (direcionado ou não direcionado) utilizando as coordenadas dos pontos selecionados. Essa matriz é enviada para o solver do LKH, que calcula e salva em um arquivo a ordem que deve ser seguida entre os pontos.

Ao utilizar a função “Gerar TSP”, e ao clicar em “Dados”, além dos dados da rota, como apresentados anteriormente, aparecerá o campo “Avançado”, onde é possível verificar a sequência dos pontos percorridos pelo TSP (Figura 21). Desta forma o catador poderá visualizar o caminho ótimo a ser realizado por ele. Caso seja necessário, é possível ainda editar a rota gerada.

Figura 20 - Rota otimizada gerada pelo sistema.



Fonte: A autora, 2014.

Figura 21 - Visualização da sequência de pontos a ser percorrida.



Fonte: A autora, 2014.

- 6) **Cadastrros:** Além dos casos de uso apresentados foram desenvolvidas funcionalidades básicas de gestão de cadastros (incluir, editar e excluir) de cooperativas/associações, catadores e veículos (Figura 22).

Figura 22 - Cadastro de catador no sistema.

[Página Inicial](#) > [Geral](#) > [Catador](#) >
[Informar erro](#)

Novo Catador

CATADOR

Nome Completo: Idade:

CPF:

Sexo: Escolaridade: Cooperativas/Associações:

Descrição:

Foto:

Fonte: A autora, 2014.

- 7) **Relatórios:** o sistema permite a visualização e impressão de relatórios com informações como, por exemplo, total de material coletado por um roteiro, total por veículo/coletor e distâncias percorridas. Estes relatórios podem produzir informações interessantes para o planejamento conforme os dados vão sendo inseridos no sistema. É possível trabalhar com informações sobre a rota como quantidade de material coletado, tempo, distância, etc. Em um cenário mais detalhista, o sistema permite ainda que sejam inseridos dados para cada ponto (como por exemplo, quantidade e tipos de material coletado).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SELEÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES E CATADORES COLABORADORES

As tabelas abaixo (Tabela 4 e Tabela 5) apresentam resumidamente as informações obtidas a partir da aplicação do questionário para a seleção de uma ou mais organizações de catadores para realização do processo de planejamento e otimização de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis. A Tabela 4 apresenta as organizações contatadas que não se enquadraram em um ou mais dos requisitos exigidos pela pesquisa, e, portanto não foram pré-selecionadas. São associações dos municípios de Florianópolis, São José, Chapecó, Joinville, Balneário Camboriú, Itajaí, Navegantes, Itapema, Blumenau, Paulo Lopes e Curitiba.

Os requisitos não observados nessas organizações foram variados. As organizações contatadas em Florianópolis, São José, Balneário Camboriú, Itajaí, Itapema e Chapecó (apenas uma) realizam apenas a triagem dos materiais recicláveis advindos da coleta seletiva da prefeitura municipal, portanto não se enquadram no requisito da pesquisa, de que a associação participante obrigatoriamente deve contar com catadores carrinheiros. Outras associações que não trabalham com carrinheiros são a Asmavi e Verde Vida, localizadas no município de Chapecó, que coletam com caminhão, impossibilitando que a pesquisadora acompanhasse o trabalho de coleta realizado.

Quanto às associações Recinave, localizada em Navegantes, AMAR Ebenezer e Vida Nova, localizadas em Curitiba, considerou-se o número de catadores e os roteiros percorridos por eles insuficientes para a aplicação neste trabalho. Pesquisas realizadas via internet acusam a existência de associação de catadores em Blumenau e em Joinville, porém não foi possível estabelecer contato com as mesmas.

Tabela 4 - Relação das organizações contatadas, que apresentaram potencial negativo para participação na pesquisa.

| Município | Organização | Justificativa |
|--------------------|---|---|
| Florianópolis | ACMR - Associação de coletores de materiais recicláveis | Realizam apenas triagem do material advindo da coleta seletiva do município. |
| São José | ACARELI - Associação comunitária aparecida de reciclagem de lixo sócio cultural | Realizam apenas triagem do material advindo da coleta seletiva do município. |
| Balneário Camboriú | Coopermar - Cooperativa de catadores de materiais recicláveis de Balneário Camboriú | Realizam apenas triagem do material advindo da coleta seletiva do município. |
| Itajaí | Cooperfoz - Cooperativa dos coletores de material reciclável da Foz do Rio Itajaí | Realizam apenas triagem do material advindo da coleta seletiva do município. |
| Itapema | Cooperitapema - Cooperativa de reciclagem de Itapema | Realizam apenas triagem do material advindo da coleta seletiva do município. |
| Chapecó | Amarluz - Associação de recicladores raio de luz | Realizam apenas triagem do material advindo da coleta seletiva do município. |
| | Verde Vida | O veículo utilizado para coleta é um caminhão; não há carrinheiros. |
| Joinville | ASMAVI - Associação de catadores de materiais recicláveis nova vida | O veículo utilizado para coleta é um caminhão; não há carrinheiros. |
| | - | Existem associações, porém nem a Fundema nem a assistência social conseguiram informar os contatos, tampouco foram encontrados na internet. |

| Município | Organização | Justificativa |
|------------------|--|--|
| Navegantes | Recinave - Associação dos agentes catadores de Navegantes | Número reduzido de catadores que coletam na rua (dois). O veículo utilizado é carroça (cavalo), e no momento estão coletando em apenas três pontos (uma rota). |
| Blumenau | Reciblu - Associação de catadores de materiais recicláveis de Blumenau | Não foi possível estabelecer contato com os responsáveis. |
| Paulo Lopes | - | Não possui associação de catadores, tampouco coleta seletiva. |
| Curitiba | AMAR Ebenezer | Coletam apenas em três pontos, dentro do Ceasa (Região industrial). |
| | Vida Nova | São sete carrinheiros, sendo que seis coletam juntos num ponto muito próximo a associação, e uma coleta aleatoriamente numa área residencial também próxima. |

Na Tabela 5 estão relacionadas as organizações que apresentaram os pré-requisitos estabelecidos pela pesquisa, estando aptas a participarem da mesma. São elas: Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Graciosa (ACAT Graciosa), Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Unidos do Bairro (Acuba), Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Esperança do Parolin (Arepar), Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Amigos da Natureza, Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de Curitiba e Região Metropolitana (Catamare), Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Natureza Livre, Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Vila Osternak e Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Taxi-Arexi, todas localizadas no município de Curitiba.

Tabela 5 - Relação das organizações contatadas que apresentaram potencial positivo para participação na pesquisa.

| Município | Organização | Justificativa |
|------------------|--------------------|---|
| Curitiba | ACAT Graciosa | São cinco carrinheiros; Trabalham de segunda à sexta; Três trabalham com pontos específicos e dois com rotas aleatórias. |
| | Acuba | São aproximadamente seis carrinheiros; Trabalham de segunda a sexta; Apenas um trabalha com pontos específicos de coleta. |
| | Arepar | São três carrinheiros; Trabalham de segunda a sexta; Dois coletam nos arredores da associação, e uma tem pontos fixos. |
| | Amigos da Natureza | São três carrinheiros; Trabalham de segunda a sexta; Coletam nos arredores da associação. |
| | Catamare | São dois carrinheiros, além de um caminhão e uma kombi; Alguns fazem coleta pontual, e outros fazem rotas aleatórias. |
| | Natureza Livre | Existe um casal de carrinheiros que realizam a coleta juntos, de segunda a sexta, em local determinado. |
| | Osternak | São oito carrinheiros; Trabalham de segunda a sexta; seis realizam rotas aleatórias e dois coletam em pontos específicos. |
| | Taxi-Arexi | São quatro carrinheiros; Trabalham de segunda a sexta; Coletam nos arredores da associação. |

Tais organizações fazem parte do programa “EcoCidadão” (2007) que, por sua vez, é gerenciado desde janeiro de 2013 pelo IPCC – Instituto Pró-Cidadania de Curitiba, instituto conveniado da prefeitura, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Em consenso com a diretoria do IPCC, optou-se por trabalhar com as Associações: Osternak, Arepar e ACAT Graciosa. Hoje o IPCC atua diretamente em 16 parques de recicláveis, fornecendo assessoria administrativa, jurídica

e financeira aos catadores, alocando técnicos para orientar os associados e garantindo preços melhores na venda dos resíduos coletados (MARCHIORI, 2012).

No geral os resíduos recicláveis chegam aos barracões do EcoCidadão de três maneiras: através do programa de coleta seletiva “Lixo que não é Lixo” (1989), da prefeitura municipal de Curitiba; de empresas parceiras (por contratos firmados entre as associações e as empresas); e de catadores associados ao barracão. No caso destes últimos, os maiores colaboradores em volume de resíduos que chegam à associação são os carrinheiros, que coletam resíduos com o auxílio de carrinhos de tração manual ou elétrico.

Os carrinhos elétricos foram distribuídos pela prefeitura municipal para 15 parques de recepção de materiais recicláveis do programa EcoCidadão, para substituição parcial da frota de tração manual (Figura 23). Segundo a prefeitura municipal de Curitiba, os catadores coletam diariamente 445 toneladas de resíduos, o que corresponde a quatro vezes mais do que o montante transportado pelos caminhões do programa Lixo que não é Lixo (MARCHIORI, 2012).

Figura 23 - Modelo de carrinho elétrico utilizado pelos catadores ligados ao programa EcoCidadão, Curitiba - PR.



4.2 LEVANTAMENTO DE ROTAS REALIZADAS EMPIRICAMENTE

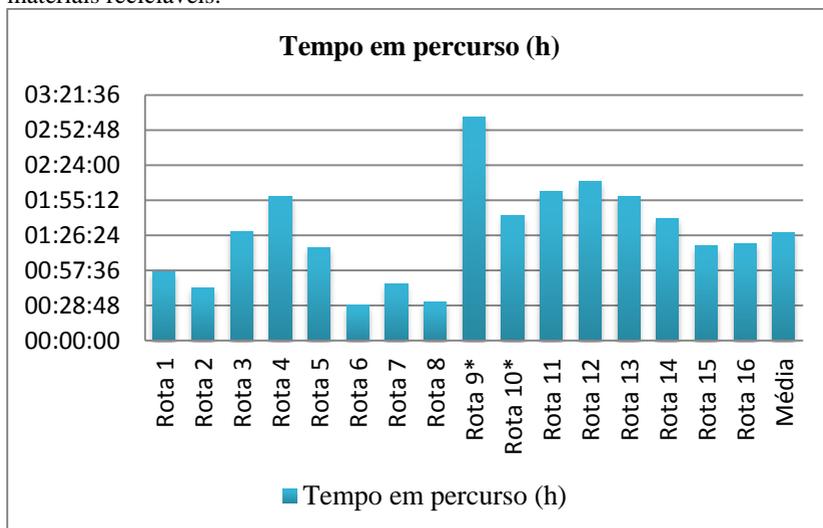
De um modo geral, podem-se resumir as rotas realizadas de acordo com a Tabela 6. Foram, portanto, acompanhadas 16 rotas no total, realizadas por 11 carrinheiros (5 da Osternak, 1 da Arepar, e 5 da ACAT). Destas, apenas as rotas 9 e 10 foram passíveis de serem analisadas em termos de otimização de rotas, já que são as únicas em que o tipo de coleta se enquadra à situação 1 (o catador tem pontos específicos de coleta, e realiza sempre o mesmo caminho para atingi-los).

Tabela 6 - Resumo das rotas realizadas.

| Rota | Catador | Distância (km) | Tempo total (h) | Tempo em coleta (h) | Tempo em percurso (h) |
|---------------|------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| Rota 1 | Catador 1 | 5,16 | 02:17:35 | 01:20:59 | 00:56:36 |
| Rota 2 | Catador 1 | 3,86 | 01:22:40 | 00:39:02 | 00:43:38 |
| Rota 3 | Catadora 2 | 5,87 | 03:15:05 | 01:45:12 | 01:29:53 |
| Rota 4 | Catador 3 | 4,83 | 02:50:48 | 00:52:24 | 01:58:24 |
| Rota 5 | Catador 3 | 5,28 | 02:45:07 | 01:28:31 | 01:16:36 |
| Rota 6 | Catadora 4 | 2,61 | 00:47:18 | 00:18:01 | 00:29:17 |
| Rota 7 | Catador 5 | 3,37 | 01:02:49 | 00:16:31 | 00:46:18 |
| Rota 8 | Catador 5 | 2,38 | 01:13:20 | 00:41:46 | 00:31:34 |
| Rota 9* | Catadora 6 | 9,09 | 04:29:47 | 01:25:57 | 03:03:50 |
| Rota 10* | Catador 7 | 8,06 | 04:37:08 | 02:54:38 | 01:42:29 |
| Rota 11 | Catador 8 | 7,39 | 02:59:29 | 00:56:54 | 02:02:35 |
| Rota 12 | Catador 8 | 7,12 | 03:45:46 | 01:35:04 | 02:10:42 |
| Rota 13 | Catador 8 | 4,74 | 03:02:46 | 01:04:20 | 01:58:26 |
| Rota 14 | Catador 8 | 5,17 | 03:16:02 | 01:36:05 | 01:39:57 |
| | Catadores | | | | |
| Rota 15 | 9 e 10 | 5,02 | 02:08:48 | 00:50:48 | 01:18:00 |
| Rota 16 | Catador 11 | 4,78 | 01:49:54 | 00:35:12 | 01:19:42 |
| Média | - | 5,33 | 02:39:38 | 01:11:05 | 01:28:33 |
| Máximo | - | 9,09 | 04:37:08 | 02:54:38 | 03:03:50 |
| Mínimo | - | 2,38 | 00:47:18 | 00:16:31 | 00:29:17 |

Observa-se que o tempo médio para a realização do percurso correspondente à rota realizada para a coleta de materiais recicláveis pelos catadores acompanhados é de 01h28min33s, sendo que o tempo máximo verificado foi de 03h03min50s, e o mínimo de 29min17s (Figura 24).

Figura 24 - Tempo de percurso na realização de rotas de coleta por catadores de materiais recicláveis.



Quanto à distância percorrida pelos catadores, obteve-se uma média de 5,33 km, sendo 9,09 km o valor máximo verificado e 2,38 km o mínimo (Figura 25).

Observando particularmente a rota 9, verifica-se que ela corresponde ao tempo máximo e a distância máxima percorrida dentre os percursos analisados. Isso pode ocorrer devido à, principalmente, dois fatores. O primeiro é a distância efetiva da saída do barracão aos pontos de coleta (aproximadamente 4,0 km), o que representa um caminho improdutivo bastante alto. O segundo fator, é que o carrinho utilizado é manual, e a declividade do terreno é predominantemente ascendente no caminho de retorno ao barracão, quando o carrinho encontra-se com carga máxima, e, portanto, bastante pesado.

Figura 25 - Distância percorrida na realização de rotas de coleta por catadores de materiais recicláveis.



4.2.1 As associações e sua participação na pesquisa

OSTERNAK

As rotas 1 a 8 foram obtidas através do acompanhamento do trabalho de carrinheiros da Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Vila Osternak, Bairro Novo. A Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Vila Osternak foi fundada em 2013, e trouxe para o seu quadro de associados catadores do antigo Projeto Mutirão Profeta Elias, que existia desde 2002.

Nos barracões das associações os resíduos são separados conforme sua tipologia pelos próprios catadores e acomodados em *bags* (grandes sacolas de lona). Após separação, os resíduos são prensados, pesados e comercializados, e cada catador recebe seu pagamento por rendimento individual.

A presença do caminhão de coleta da prefeitura (coleta convencional ou seletiva) é um fator que influencia diretamente na atividade dos carrinheiros desta associação, e nos roteiros realizados por eles. O caminhão passa pelo bairro logo de manhã cedo, ocorrendo encontros e por consequência o que os catadores chamavam de “competição” entre caminhão e carrinheiro. Desta forma, os principais fatores que influenciam na rota realizada pelos carrinheiros dessa

associação, que realizam suas rotas aleatoriamente, sem pontos definidos, são:

- São eliminadas as ruas em que o caminhão de coleta convencional ou seletiva já passou, ou está passando;
- São percorridas as ruas em que visualmente, do ponto onde o catador se encontra (geralmente uma esquina) existe uma oferta de materiais recicláveis nas lixeiras maior que nas outras ruas ao seu alcance de visão (por exemplo, ele opta ir para a esquerda, se ele avista nesta rua mais materiais recicláveis do que se ele for reto ou para a direita);
- São percorridas ruas em que moradores já conhecem os catadores e guardam material para eles.

Apenas o catador 5 trabalha com pontos específicos de coleta e os alcança percorrendo sempre o mesmo caminho. Esses pontos são geralmente bastante próximos à associação, e por consequência a rota empírica realizada por ele já corresponde ao menor caminho que se pode encontrar. Um desses caminhos foi acompanhado, e corresponde a rota 8 que será detalhada a seguir.

As rotas 1 e 2, realizadas pelo catador 1, se enquadram no tipo de coleta corresponde a situação 2. O catador tem pontos fixos para coleta (condomínio, fábrica, distribuidora de doces, etc.), porém realiza caminhos aleatórios para atingi-los, além de ter dia fixo para coletar em alguns, e não ter dia fixo para coletar em outros. Além disso, caso o catador seja informado da demanda de coleta em outro local, ele o irá incluir em seu trajeto do dia. Desta forma, as rotas e a dinâmica de coleta podem variar bastante.

As demais rotas (3 a 7) são realizadas de maneira empírica, em que o catador não tem pontos específicos de coleta e realiza o caminho de coleta aleatoriamente. Na sequência, tem-se a descrição de cada roteiro acompanhado. A coleta de dados nessa associação ocorreu de 07 a 23 de agosto de 2013.

Arepar – Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Esperança do Parolin

A rota 9 foi obtida através do acompanhamento do trabalho da catadora 6, associada e presidente da Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Esperança do Parolin, Bairro Parolin. A associação foi fundada em fevereiro de 2013, e iniciou suas atividades com quinze associados apenas, sendo três carrinheiros e o restante trabalhando na triagem.

Em agosto de 2013 a associação foi registrada, ganhando poder de negociação para fazer parcerias com geradores e doadores de material reciclável entre outros, a fim de aumentar a renda de seus associados. Assim como as outras associações visitadas, faz parte de um projeto financiado pela prefeitura, onde o IPCC é o executor que dentre outras funções gerencia os barracões, realizando atividades como a contratação de assessores, o pagamento de aluguel, água, luz, etc. Existe a previsão que no ano de 2014 as associações consigam se sustentar, visando a auto gestão dos catadores (CAMARGO, 2014).

A rota analisada enquadra-se na situação 1, em que a catadora tem pontos específicos de coleta e realiza sempre o mesmo caminho para atingi-los. A coleta de dados nessa associação ocorreu nos dias 30 de agosto, 05 e 10 de setembro de 2013 (coleta de dados: rotas empíricas).

ACAT – Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis ACAT Graciosa

As rotas 10 a 16 foram obtidas através do acompanhamento do trabalho de carrinheiros da Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis ACAT Graciosa, no Bairro Alto. A ACAT Graciosa foi fundada em 2008, e atualmente conta com 16 associados, sendo 12 separadores e 5 carrinheiros (ALMEIDA, 2014).

Nesta associação foram acompanhados sete roteiros dos quais um tem pontos específicos com rotas de coleta determinadas (situação 1), quatro tem pontos específicos sem rota determinada (situação 2), e dois não têm pontos específicos de coleta realizando suas rotas aleatoriamente (situação 3). A coleta de dados ocorreu de 02 a 18 de setembro de 2013 (coleta de dados: rotas empíricas) e de 4 a 21 de novembro de 2013 (coleta de dados: rotas otimizadas).

4.2.2 Descrição das rotas realizadas e discussões

Nessa sessão serão descritas as rotas acompanhadas na etapa de coleta de dados, enfatizando a maneira com que cada catador realiza seu trabalho, o tempo despendido e a distância percorrida na realização da atividade de coleta de materiais recicláveis. As figuras apresentadas foram geradas utilizando o modelo computacional proposto, sendo que a inserção das rotas no mesmo foi realizada através da função “desenhar rotas”, descrita anteriormente. Notar que em cada mapa foi inserido um ponto (azul ou vermelho) que indica a localização da associação de catadores, ou seja, ponto de saída e retorno de cada rota (barracão).

Rotas 1 a 8: Realizadas por catadores da associação de catadores Vila Osternak.

As rotas 1 e 2 foram realizadas pelo catador 1. O catador trabalha conforme a situação 2 (com pontos definidos, sem rota determinada). Apesar de o catador ter pontos de coleta fixos, ele realiza caminhos aleatórios para atingi-los, além de ter dia fixo para coletar em alguns, e não ter dia fixo para coletar em outros. As rotas e a dinâmica de coleta podem variar bastante. A frequência de coleta é semanal e o veículo utilizado é manual. A rota 1 foi acompanhada em 07/08/2013, teve duração total de 02h17min, e o caminho percorrido foi de 5,16 km (Figura 26). Já a rota 2 foi acompanhada em 23/08/2013, teve duração total de 01h22min, e o caminho percorrido foi de 3,86 km (Figura 27).

Figura 26 - Rota 1.

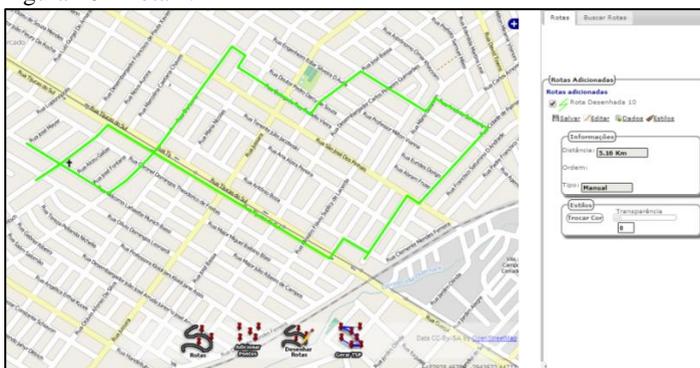
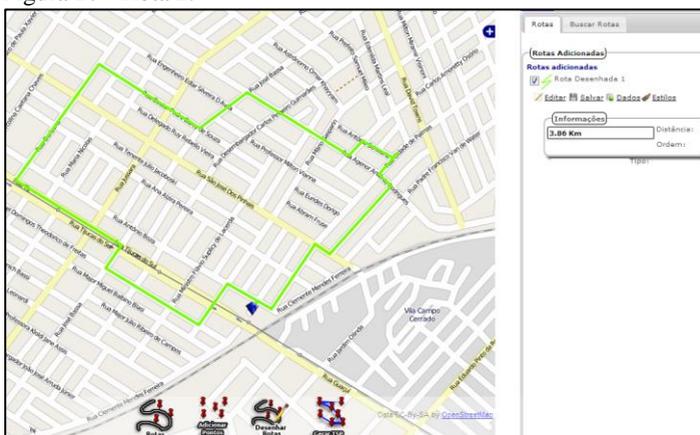


Figura 27 - Rota 2.

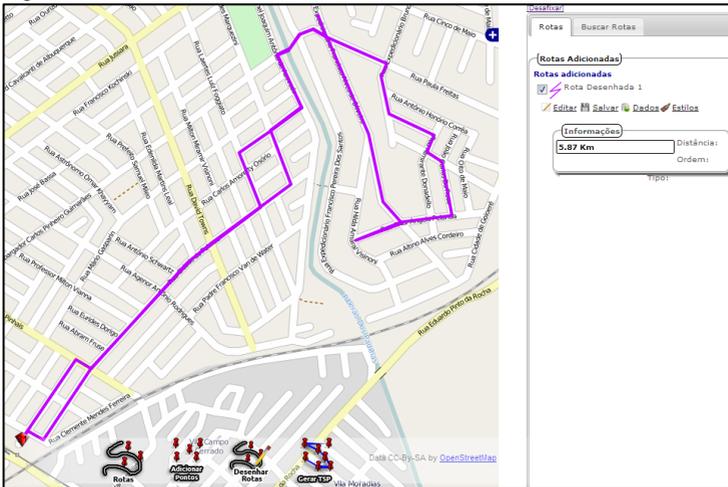


Na rota 3 a catadora trabalha conforme a situação 3 (de modo aleatório, sem rota determinada), porém a área de abrangência da coleta é sempre a mesma (Figura 28). A frequência de coleta é diária e o veículo utilizado é manual. A coleta foi acompanhada em 08/08/2013, teve duração total de 03h15min, e o caminho percorrido foi de 5,87 km.

Observou-se que os dois fatores que mais influenciam na rota percorrida são a presença do caminhão de coleta da prefeitura (coleta convencional ou seletiva), e a preferência pelas ruas em que os moradores já conhecem a catadora e depositam material reciclável de qualidade para a mesma, além de, em diversas situações, doações serem depositadas juntamente com os resíduos na lixeira.

Por outro lado, existem moradores que ainda não estão comprometidos com a cadeia da reciclagem, e não realizam coleta seletiva, dificultando o trabalho dos catadores. Muitos resíduos ainda são depositados nas lixeiras residenciais sem serem segregados na fonte geradora. Um caso extremo presenciado foi encontrar, em uma das lixeiras, a deposição de material reciclável (latas de alumínio) misturado com dejetos animais (fezes) na mesma sacola plástica. Segundo a catadora, isso ocorre em uma frequência considerável.

Figura 28 - Rota 3.



É possível verificar que um longo caminho é percorrido (aproximadamente 1,70 km) até atingir a sua área de coleta, e o percurso de ida e de volta são praticamente os mesmos. Visto que ao realizar este percurso há recolha material reciclável, sugere-se que a catadora, ao

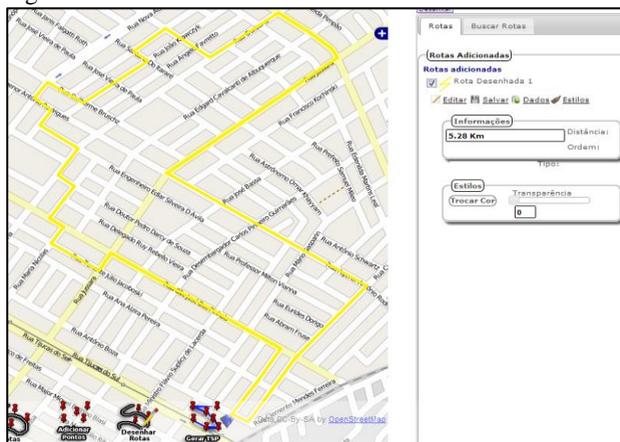
retornar para a associação siga pela Rua Mario Gasparin. Desta forma percorrerá um caminho distinto ao percorrido na ida, aumentando as possibilidades de encontrar material reciclável para coleta.

As rotas 4 e 5 foram realizadas, pelo catador 3, conforme a situação 3 (sem rota determinada), em que a coleta de material reciclável é realizada nos arredores da associação, cobrindo uma avenida onde prevalece o comércio. A frequência de coleta é diária e o veículo utilizado é manual. A rota 4 foi acompanhada em 13/08/2013, teve duração total de 02h50min, e o caminho percorrido foi de 4,83 km (Figura 29). Já a rota 5 foi acompanhada em 20/08/2013, teve duração total de 02h45min, e o caminho percorrido foi de 5,28 km (Figura 30).

Figura 29 - Rota 4.



Figura 30 - Rota 5.



Observou-se que o catador tem uma dinâmica de coleta bastante aleatória, percorrendo as ruas que, no momento, parecem ter mais recicláveis ao alcance de sua visão. Esse é o fator que mais influencia na realização de sua rota, seguido da observação das ruas em que o caminhão de coleta da prefeitura já recolheu os resíduos, ou está recolhendo.

Durante a realização da rota 5, presenciou-se o que os catadores dessa associação citaram como uma situação bastante recorrente, que é o encontro entre carrinheiro e caminhão de coleta da prefeitura, ocorrendo o que eles chamam de “competição” pelo resíduo (Figura 31). É evidente que mesmo que os garis avistem um catador trabalhando, eles não podem deixar de coletar os resíduos depositados na lixeira, pois caso o catador também não o recolha, implicará em uma situação desagradável para a população.

Figura 31 - Encontro entre caminhão de coleta da prefeitura e catador.



Tendo em vista essa realidade, é perceptível a necessidade de um instrumento de gestão que concilie as diversas frentes de trabalho relacionadas à coleta de resíduos sólidos urbanos. O ideal seria que existisse um planejamento único que abrangesse os diversos agentes coletores, porém essa situação é um tanto quanto utópica. Entretanto, o que já é aplicável para municípios que contam com um sistema planejado de coleta seletiva, é o repasse das informações de seus roteiros e horários de coleta para as associações e cooperativas de catadores do mesmo município, para que estes possam realizar um planejamento baseado nessas informações e na realidade local.

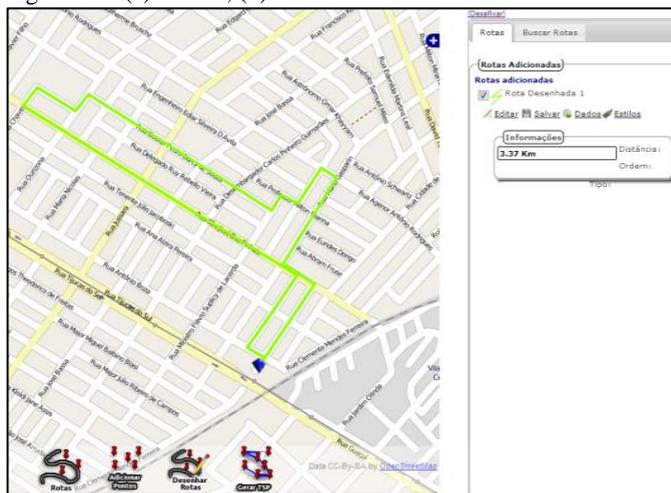
A rota 6 foi realizada pela catadora 4, que trabalha conforme a situação 3 (sem rota determinada), nos arredores da associação. A frequência de coleta é aleatória e o veículo utilizado é manual. A coleta

aproximadamente 01h13min, e o caminho percorrido foi de 2,38 km (Figura 34).

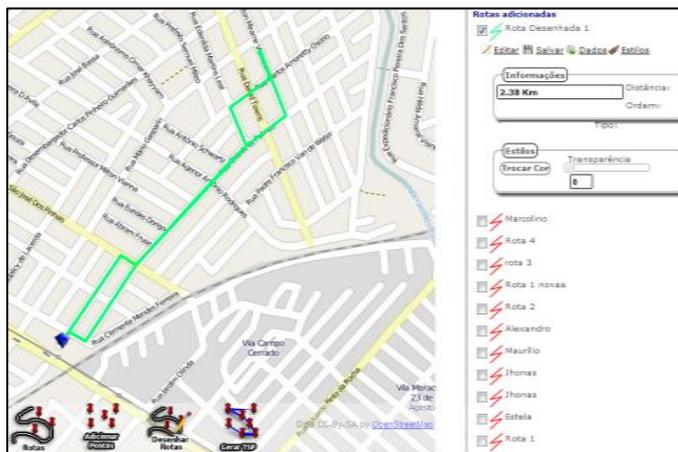
Figura 33 – Catador coletando em um supermercado que confia a coleta de seus resíduos a ele.



Figura 34 - (a) Rota 7; (b) Rota 8.



(a)



(b)

Rotas 9 e 10

As rotas 9 e 10 são realizadas conforme a situação 1. Neste caso, o(a) catador(a) possui pontos específicos de coleta, e realiza sempre o mesmo caminho para atingi-los, coletando resíduos durante o percurso (se tiver, e se for de seu interesse coletar). Essa forma de coleta permite a utilização da função de otimização de rotas do modelo apresentado, e, portanto, a rota empírica foi acompanhada três vezes, uma vez por semana, assim como a rota gerada pelo sistema (rota ótima) foi acompanhada em triplicata, a fim de viabilizar uma análise de eficiência do sistema.

A rota 9 é realizada pela catadora 6, associada da AREPAR. A coleta é noturna, e o veículo utilizado é manual. O tempo médio na realização da rota (em deslocamento) foi de 03h01min55s (Tabela 7). O caminho realizado resultou numa distância percorrida de 9,09 km (Figura 35).

Tabela 7 - Tempo total, de coleta, e em percurso da rota 9.

| | Tempo total (h) | Tempo de coleta (h) | Tempo em percurso (h) |
|--------------|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Dia 1 | 3:34:11 | 0:30:39 | 3:03:32 |
| Dia 2 | 4:42:39 | 1:29:33 | 3:13:06 |
| Dia 3 | 5:12:31 | 2:17:38 | 2:54:53 |
| Média | 4:29:47 | 1:25:57 | 3:03:50 |

Figura 35 - Rota 9.



A rota 10 é realizada pelo catador 7 da associação ACAT Graciosa. O veículo utilizado é elétrico e a coleta é realizada três vezes por semana: terça-feira, quinta-feira e sábado. O tempo médio na realização da rota (em deslocamento) foi de 01h42min29s (Tabela 8). O caminho realizado resultou numa distância percorrida de 8,06 km (Figura 36).

Tabela 8 - Tempo total, de coleta, e em percurso da rota 10.

| | Tempo total (h) | Tempo de coleta (h) | Tempo em percurso (h) |
|--------------|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Dia 1 | 4:20:08 | 2:32:35 | 1:47:33 |
| Dia 2 | 4:19:03 | 2:37:16 | 1:41:47 |
| Dia 3 | 5:12:12 | 3:34:04 | 1:38:08 |
| Média | 4:37:08 | 2:54:38 | 1:42:29 |

Figura 36- Rota 10.



Rotas 11 a 16: Realizadas por catadores da Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Graciosa.

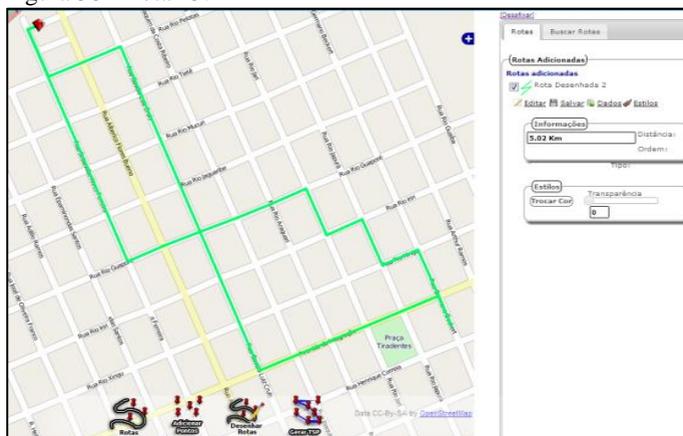
As rotas 11, 12, 13 e 14 são realizadas pelo catador 8 conforme a situação 2 (com pontos definidos, sem rota determinada). O veículo utilizado é elétrico e a frequência de coleta é diária. Apesar de o catador ter alguns pontos de coleta fixos (ou seja, os pontos são sempre os mesmos), ele realiza caminhos aleatórios para atingi-los, além de que, esses pontos correspondem a endereços residenciais, em que alguns moradores já tem acordado certos dias para que o catador passe coletando os resíduos recicláveis, e outros não, entregando o resíduo em dias aleatórios, quando veem o catador trabalhando.

Inicialmente o objetivo era otimizar uma rota com os pontos usuais de coleta. Porém, com o acompanhamento do trabalho do catador, verificou-se a inviabilidade desse procedimento, já que, apesar de ter pontos fixos, o catador não se abstém de desviar do caminho que está seguindo caso algum morador solicite que ele colete material, ou ofereça material para coleta, em uma residência ou estabelecimento comercial que requeira a realização de um retorno ou desvie levemente do seu caminho.

Nos dois primeiros dias acompanhados o catador fazia um caminho bastante longo para cobrir alguns pontos em que ele já coletava antes mesmo de a associação mudar de barracão (como citado anteriormente). São a rota 11 e a rota 12 (Figura 37). A rota 11 foi acompanhada em 04/09/2013, teve duração de aproximadamente 03h, e o caminho percorrido foi de 7,39 km. Já a rota 12 foi acompanhada em 11/09/2013, teve duração de 03h45min, e o caminho percorrido foi de 7,12 km.

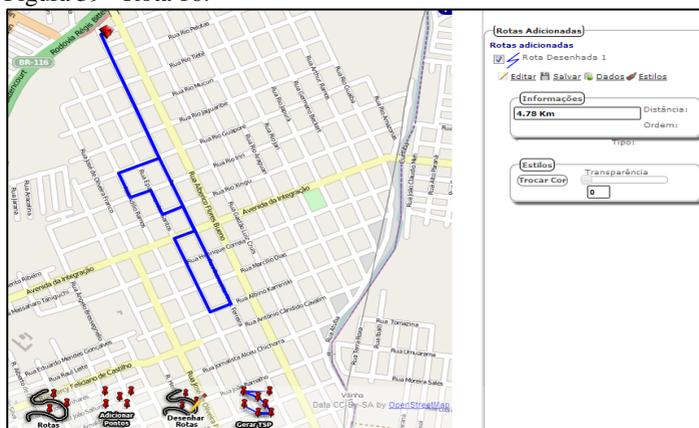
Ao desenhar a rota realizada no modelo, foi possível observar que o catador realizava um caminho longo, com produtividade baixa, para atingir uma pequena área em que o volume de resíduos coletado não era muito significativo. Foi proposto então que o catador abandonasse esse ponto distante e percorresse mais ruas nos arredores da associação. O resultado dessa proposta são as rotas 13 e 14, e a análise dessa alteração será apresentada na sessão seguinte, bem como o resultado gráfico das rotas.

Figura 38 - Rota 15.



A rota 16 foi realizada pelo catador 11 conforme a situação 3 (sem rota determinada). O catador coleta material nos arredores da associação, uma área predominantemente residencial. A frequência de coleta é aleatória, já que o catador trabalha também com a triagem dos resíduos que chegam ao barracão pelo caminhão coletor da prefeitura. O veículo utilizado é elétrico. A coleta foi acompanhada em 12/09/2013, teve duração total de 01h50min, e o caminho percorrido foi de 4,78 km (Figura 39).

Figura 39 - Rota 16.



4.3 ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

Conforme a metodologia proposta, a coleta de dados das rotas com pontos fixos, em que é possível a otimização das mesmas, foi realizada em triplicata para a rota empírica e para a rota otimizada. As rotas que permitiram essa análise foram as rotas 9 e 10.

Os pontos de coleta da rota 9 são três, que foram inseridos no sistema: lojas, posto, e escritório. Para isso utilizou-se a função “adicionar pontos”. Ao utilizar a função “gerar TSP”, a rota gerada muito se assemelhou à rota original. Ela apenas se diferenciou por gerar um caminho que não passava por dentro da praça, porém, para a catadora que utiliza um carrinho manual, considerando o trânsito local no horário de coleta, é muito mais conveniente que ela trafegue pelo meio da praça. Neste caso, a rota foi editada permanecendo igual à original (Figura 35).

Conclui-se que a catadora já realizava a melhor rota possível para coletar nesses pontos. Esta afirmação é igualmente importante para a validação do modelo, e para a catadora que se sentiu orgulhosa de seu trabalho. Segundo a catadora, o modelo é bastante interessante para a visualização da rota e por quantificar a distância percorrida por ela. Sendo assim, encerrou-se a coleta de dados em relação à rota 9.

Os pontos de coleta da rota 10 são cinco: empresa, distribuidora, condomínio, fábrica e posto. Na empresa, na distribuidora e no condomínio os resíduos são armazenados de forma que apenas esse catador específico tenha acesso aos resíduos, e por isso ele realiza a coleta fielmente na frequência determinada. Os pontos foram adicionados no modelo computacional que gerou uma rota ótima (Figura 40).

Como a rota gerada pelo sistema apresentou diferença em relação ao percurso realizado empiricamente pelo catador, a nova rota foi adotada e aplicada. Em relação à variável distância, a rota empírica obtida foi de 8,06 km, enquanto a rota otimizada, gerada pelo sistema, foi de 7,38 km. Já os resultados do acompanhamento das rotas empíricas e otimizadas, em relação a variável tempo em percurso, realizadas em triplicata são apresentados na Tabela 9, e graficamente na Figura 41.

Figura 40 - Pontos de coleta da rota 10 e rota gerada pelo sistema.

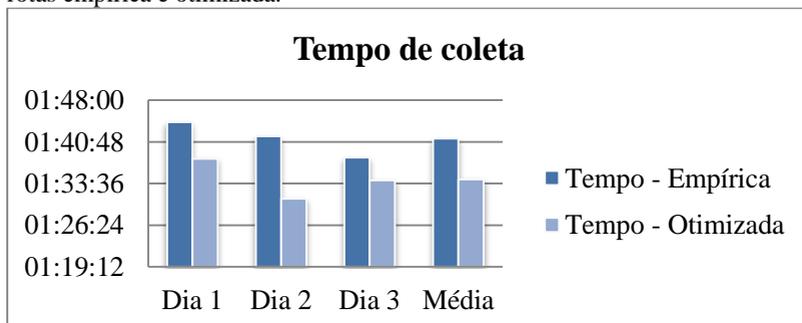


Como resultado da otimização desta rota tem-se a redução de 6,95% do tempo, e 8,44% na distância. Estes resultados corroboram com o verificado por outros autores, que aplicaram métodos de roteirização em seus estudos, como Detofeno (2009), Souza e Rangel (2009), e Pascoal Jr. et. al.(2010), e constaram economia de percurso na coleta de resíduos na ordem de 7,83%, 16,83%, e 30,84%, respectivamente.

Tabela 9 - Dados coletados no acompanhamento das rotas empírica e otimizada.

| | Tempo de percurso da rota (h) | |
|--------------|-------------------------------|-----------------|
| | Rota Empírica | Rota Otimizada |
| Dia 1 | 01:44:15 | 01:37:53 |
| Dia 2 | 01:41:47 | 01:30:58 |
| Dia 3 | 01:38:08 | 01:34:10 |
| Média | 01:41:23 | 01:34:20 |

Figura 41 - Representação gráfica dos tempos obtidos no acompanhamento das rotas empírica e otimizada.



Complementarmente, verifica-se uma tendência de redução ao observar outros estudos de otimização para coleta de resíduos sólidos, como os apresentados por Lacerda (2003), que obteve com esta aplicação uma redução percentual de até 41% em termos de distância percorrida e de 68% no tempo total do percurso, em relação à rota atual, e por Apaydin e Gonullu (2007) que obtiveram economias de aproximadamente 24,7% na distância percorrida e 44,3% no tempo de coleta.

Por fim, tem-se a análise das rotas 13 e 14. Não foi possível realizar um trabalho de otimização desta rota, porém, ao analisar o caminho realizado pelo catador e com o auxílio do modelo computacional apresentado, verificou-se a possibilidade de incrementar a produtividade do catador, realizando um caminho mais curto e reduzindo a carga de trabalho para o mesmo.

A rota 13 foi acompanhada em 06/11/2013, teve duração total de aproximadamente 3h, e o caminho percorrido foi de 4,74 km. Já a rota 14 foi acompanhada em 13/11/2013, teve duração total de 03h45min, e o caminho percorrido foi de 5,17 km. Os resultados do acompanhamento das rotas empíricas e após planejamento são apresentados na Figura 42 e na Tabela 10.

Figura 42 - Rotas após planejamento. (a) Rota 13; (b) Rota 14.

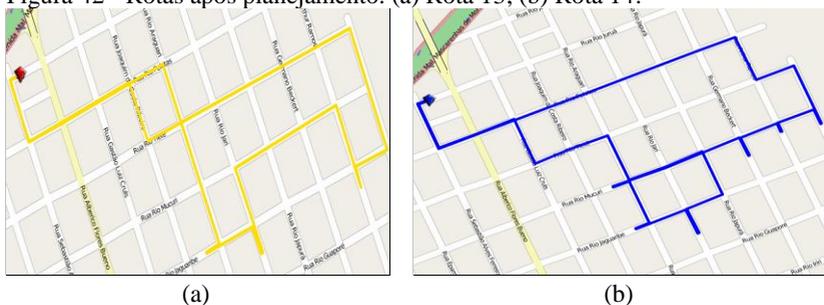


Tabela 10 - Dados coletados no acompanhamento das rotas empíricas e planejadas.

| | Rota Empírica | | Rota Planejada | |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Tempo de percurso da rota | Distância percorrida (km) | Tempo de percurso da rota | Distância percorrida (km) |
| Dia 1 | 02:02:35 | 7,39 | 01:58:26 | 4,74 |
| Dia 2 | 02:10:42 | 7,12 | 01:39:57 | 5,17 |
| Média | 02:06:38 | 7,26 | 01:49:12 | 4,96 |

Como resultados do planejamento desta rota tem-se a redução de 13,77% do tempo, e 31,70% na distância. Fica bastante perceptível que com uma ferramenta auxiliar para mapear rotas aliada ao olhar crítico de um planejador é possível incrementar melhorias na realização do trabalho dos catadores de materiais recicláveis. No caso, obteve-se uma redução significativa na distância percorrida pelo catador, que conseguiu realizar um caminho mais curto e manter o seu índice de produtividade, ou seja, completando o volume total do carrinho. Em posse dessas informações o catador sentiu-se bastante satisfeito com a alteração.

4.4 TESTES DAS PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES DO SISTEMA

Os testes foram realizados concomitantemente à etapa 2. Os erros encontrados durante os testes executados nessa pesquisa foram sendo corrigidos pelos programadores do modelo computacional apresentado, ao longo do desenvolvimento do trabalho. Testaram-se as funções do programa simulando situações hipotéticas correspondentes às suas principais futuras aplicações, com um grau de saturação maior, ou seja, exigindo mais das condições de trabalho do sistema do que se espera que realmente seja exigido em situações reais, baseado nos dados levantados na própria pesquisa.

4.4.1 Roteirização (Otimização de rotas)

Atualmente, na área de estudo, poucos são os catadores que trabalham com pontos de coletas fixos, percorrendo o mesmo caminho. Conforme apresentado anteriormente, dos 11 catadores acompanhados (e um total de 16 rotas), cinco catadores procuram cobrir sempre os mesmos pontos de coleta, porém apenas dois percorrem sempre o mesmo caminho (rota fixa), e é esta a situação em que efetivamente se aplica a propriedade de otimizar rotas. No caso desses dois catadores, um cobria 3, e o outro 5 pontos fixos de coleta, correspondendo à média absoluta de 4 pontos fixos por catador.

Simulou-se uma situação hipotética com 23 pontos de coleta a serem percorridos por um catador de materiais recicláveis. Essa simulação visa verificar se o sistema suporta uma grande gama de informações (teste de estresse), e gera o resultado esperado (menor caminho) em tempo aceitável.

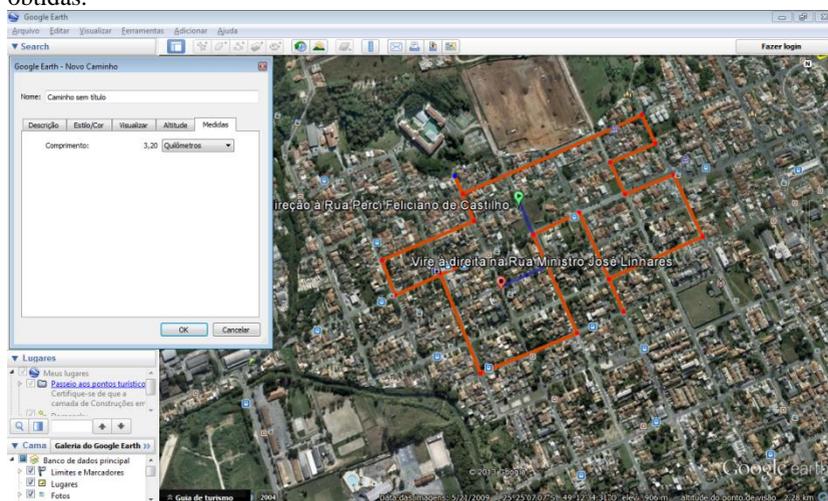
A aplicação desse caso resultou em um roteiro com 3,35 km de extensão, passando pelos 23 pontos selecionados (Figura 43). Para

validação da informação referente à extensão da rota, desenhou-se o caminho gerado na ferramenta livre conhecida como Google™ Earth (Figura 44), que apresentou valor bastante semelhante (3,20 km), confirmando que a base utilizada no modelo informa as distâncias das rotas obtidas corretamente. A pequena diferença verificada pode ser devido ao manuseio do usuário ao desenhar as rotas ora em um programa, ora em outro. Como resultado principal dessa aplicação tem-se a geração de um caminho ótimo que percorre todos os pontos de interesse de uma única rota.

Figura 43 - Rota ótima gerada pela função "Gerar TSP".



Figura 44 - Desenho da rota no Google™ Earth para comparação das distâncias obtidas.



A sequência de pontos a ser percorrida também apresentou um resultado condizente com a rota gerada, e com os pontos selecionados, demonstrando o correto funcionamento do sistema (Figura 45).

Figura 45 - Apresentação da sequência de pontos a serem percorridos na rota gerada.

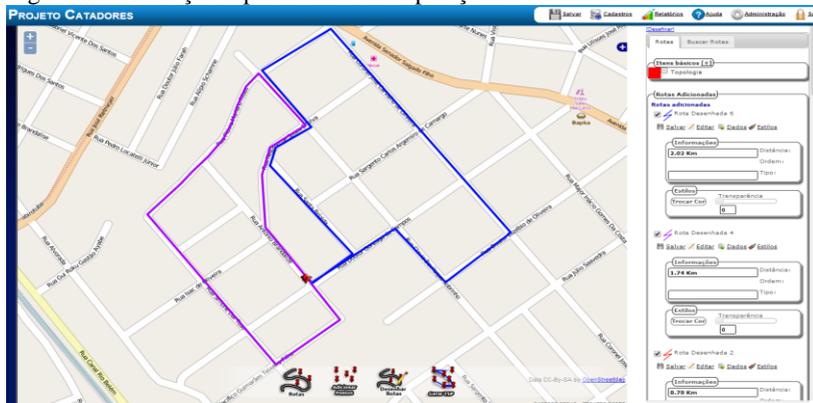


Visto isso, verifica-se o correto funcionamento do algoritmo de roteirização implementado, e validação da função para aplicação em otimização de rotas.

4.4.2 Planejamento de rotas

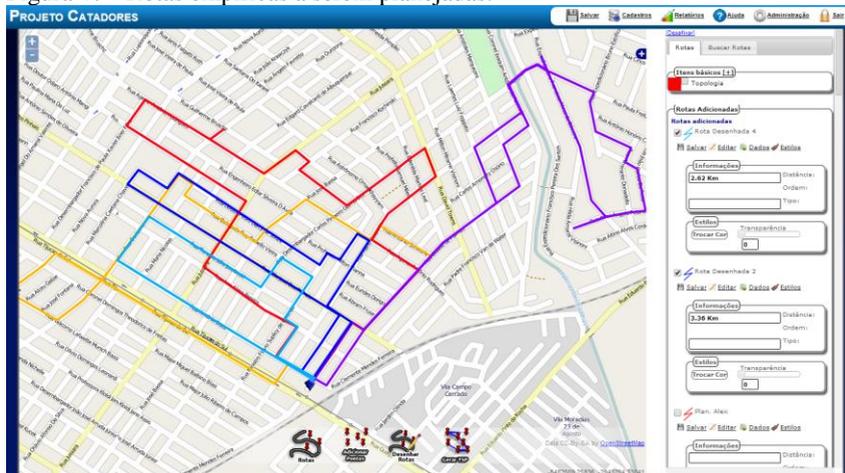
O programa permite o planejamento de rotas através da visualização das mesmas em mapa, verificando áreas sem cobertura de coleta e ainda rotas que se sobrepõem. No sentido de verificar abrangência de coleta e sobreposições de rotas, a Figura 46 apresenta um exemplo simples em que é possível observar quando há sobreposição em parte dos roteiros, situação que pode causar redução na produtividade de um dos dois catadores. O planejador, ao visualizar a situação, pode propor roteiros diferentes de forma que nenhum dos catadores seja prejudicado e ainda, possivelmente ampliando o atendimento pelo serviço.

Figura 46 – Situação hipotética de sobreposição de roteiros.



O exemplo apresentado na sequência é uma solução de planejamento baseado nas informações reais obtidas em campo das rotas 1, 3, 4, 6 e 7 apresentadas anteriormente, em que os catadores realizam seus roteiros de maneira empírica, ou seja, sem planejamento prévio (Figura 47).

Figura 47 - Rotas empíricas a serem planejadas.



Os veículos de coleta utilizados por eles são carrinhos de tração humana (manual), portanto os roteiros realizados não são obrigados a obedecer às leis de trânsito, como o sentido do fluxo, por exemplo. Contudo, em vias principais (muito movimentadas ou muito largas) o ideal é que se considere o sentido do fluxo de veículos no planejamento.

No geral, os catadores saem da sede, coletam material até atingir o volume do carrinho, e retornam para a sede, resultando assim em um roteiro completo.

A distância média percorrida pelos cinco catadores que realizam as rotas analisadas é de 4,45 km. Tomando essa média como base para o planejamento de rotas, uma possível solução para a coleta realizada é apresentada na Figura 48, em que a rota 1 (em alaranjado), a rota 3 (em roxo), a rota 4 (em vermelho), a rota 6 (em azul claro) e a rota 7 (azul escuro) correspondem a 5,16, 5,47, 4,89, 2,53, e 3,92 km respectivamente.

Figura 48 - Alternativa de planejamento de rotas para mais de um catador.



4.4.3 Cadastros e Relatórios

As funcionalidades referentes aos cadastros e relatórios podem ser verificadas concomitantemente, uma vez que para que sejam selecionados e apareçam nos relatórios, as cooperativas/associações, os catadores e os veículos devem estar devidamente inseridos nos cadastros no sistema (banco de dados). Uma série de cadastros foi realizada, bem como a geração de relatórios, demonstrando o correto funcionamento do sistema. É importante notar que os dados contidos nas seguintes imagens podem não corresponder aos reais já que representam apenas uma escala de testes (Figura 49, Figura 50, e Figura 51).

Figura 49 - Cadastro de informações referente aos catadores no sistema.

PROJETO CATADORES [Salvar](#) [Cadastros](#) [Relatórios](#) [Ajuda](#) [Administração](#) [Sa](#)

[Página Inicial](#) > [Catador](#) >
[Informar erro](#)

Catador

Dados inseridos com sucesso!

| Nome Completo | Idade | Sexo | Escolaridade | Descricao |
|---------------|-------|-----------|-----------------------------|-----------|
| Estela | 35 | Feminino | Ensino Fundamental Completo | |
| Alexandro | 18 | Masculino | Ensino Médio Incompleto | |
| Maurilio | 32 | Masculino | Analfabeto | |
| Aline | 32 | Feminino | Ensino Médio Completo | |
| José | 71 | Masculino | Analfabeto | |
| Luana | 33 | Feminino | Ensino Fundamental Completo | |
| Marcolino | 69 | Masculino | Ensino Fundamental Completo | |
| Fagner | 26 | Masculino | Ensino Médio Completo | |
| Kim | 19 | Feminino | Ensino Fundamental Completo | |
| João | 20 | Masculino | Analfabeto | |
| Domansky | 40 | Masculino | Analfabeto | |

... Página 1 de 11 ... 40

Figura 50 - Cadastro de informações referentes às associações e cooperativas.

PROJETO CATADORES [Salvar](#) [Cadastros](#) [Relatórios](#) [Ajuda](#) [Administração](#) [Sa](#)

[Página Inicial](#) > [Geral](#) > [Cooperativa](#) >
[Informar erro](#)

Cooperativa

Dados inseridos com sucesso!

| Id Cooperat | Nome Cooperativa | Email | Telefone | Responsavel |
|-------------|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------|
| 1 | Padrão | | | |
| 2 | Osternak | sigilo@ipccc.org.br | (41) 7820-xxxx | Sandra |
| 3 | ACAT Graciosa | sigilo@ipccc.org.br | (41) 7820-xxxx | Gustavo |
| 4 | AREPAR | sigilo@ipccc.org.br | (41) 7820-xxxx | Edimar |
| 5 | Amigos da Natureza | sigilo@ipccc.org.br | (41) 7820-xxxx | Euro |
| 6 | Água Nascente | sigilo@ipccc.org.br | (41) 7820-xxxx | Anderson |
| 7 | Associação Futuro Ecológico | sigilo@ipccc.org.br | (41) 7820-xxxx | Marta |

... Página 1 de 7 ... 40

Figura 51 - Cadastro de tipos de veículos.

PROJETO CATADORES [Salvar](#) [Cadastros](#) [Relatórios](#) [Ajuda](#) [Administração](#) [Sa](#)

[Página Inicial](#) > [Tipo Veiculo](#) >
[Informar erro](#)

Tipo de Veículo

Dados alterados com sucesso!

| Id Tipo Veiculo | Tipo Veiculo |
|-----------------|-------------------|
| 1 | Carrinho elétrico |
| 2 | Carrinho manual |
| 3 | Caminhão |
| 4 | kombi |
| 5 | carroça |

... Página 1 de 5 ... 40

[Adicionar dado](#)

Com os dados acima cadastrados, e a inserção de rotas no modelo computacional apresentado, seja ela desenhada ou gerada pelo sistema, essas informações estarão compiladas na aba “relatórios” (Figura 52 e Figura 53). Elas podem ser visualizadas no sistema ou exportadas em forma de planilha Excel.

Figura 52 - Compilação de dados para a geração de relatórios.

PROJETO CATADORES

Salvar Cadastros Relatórios Ajuda Administração

[Página Inicial](#) > [Rota](#) > [Informar erro](#)

Rota

| Nome Rota | Distancia Rota | Catador | Segunda | Terca | Quarta | Quinta | Sexta | Sabado | Domingo |
|-----------|----------------|-----------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|
| Rota 2 | 6.45 | Fagner | sim | sim | sim | sim | sim | sim | sim |
| Rota 1 | 7.22 | Estela | não | sim | não | sim | não | sim | sim |
| rota 3 | 3.57 | José | sim | sim | sim | sim | sim | sim | sim |
| Rota 4 | 3.98 | Domansky | sim | sim | sim | sim | sim | sim | não |
| Rota 5 | 5.29 | Estela | não | sim | não | sim | não | sim | não |
| TSP 1 | 6.42 | Marcolino | sim | não | sim | não | sim | não | não |
| Rota 7 | 4.13 | João | sim | sim | sim | sim | sim | não | não |
| TSP 2 | 9.09 | Luana | sim | não | sim | não | sim | não | não |
| Rota 9 | 5.73 | Alexandro | sim | não | sim | sim | sim | não | não |
| Rota 10 | 4.74 | Maurilio | sim | sim | sim | sim | sim | não | não |
| Rota 11 | 4.65 | Aline | não | não | sim | não | não | não | não |

1 de 18 40

Figura 53 - Relatório mostrando todos os pontos de coleta do sistema.

PROJETO CATADORES

Salvar Cadastros Relatórios Ajuda Administração

[Página Inicial](#) > [Ponto Coleta](#) > [Informar erro](#)

Pontos de Coleta

| Nome Ponto | Volume Coletado | Segunda | Terca | Quarta | Quinta | Sexta | Sabado | Domingo | Tipo de materia |
|------------------------------|-----------------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|-----------------|
| Ponto Coleta Martin Afonso | 65 | não | não | não | não | não | não | não | Plástico |
| Ponto Coleta Emiliano P. | 76 | sim | sim | não | sim | não | não | não | Vidro |
| Ponto Vicente Machado | 52 | sim | sim | sim | sim | não | não | sim | Aluminio |
| Ponto Coleta 235 | 10 | sim | não | não | não | sim | não | não | Aluminio |
| Ponto Coleta Padre anchieta | 12 | não | não | sim | não | sim | não | sim | Plástico |
| Ponto Coleta Duque de Caxias | 56 | não | sim | não | não | sim | não | sim | Vidro |
| Ponto de coleta 1567 | 235 | sim | sim | sim | sim | sim | sim | sim | Metal |
| Ponto Coleta 849 | 281 | não | não | sim | não | sim | não | não | Vidro |
| Ponto Coleta Joao Manoel | 23 | não | sim | sim | não | sim | não | não | Vidro |
| Ponto Coleta 78 | 518 | não | não | sim | não | sim | não | não | Vidro |
| Ponto Coleta Gomes | 504 | sim | não | sim | não | sim | não | não | Papel |

1 de 33 40

4.5 VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL PELAS ASSOCIAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS E OUTRAS DISCUSSÕES

A ferramenta computacional desenvolvida para o planejamento de rotas tinha como proposta ser de interface simples, para garantir uma aplicação efetiva em associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, população alvo da pesquisa. No entanto, quanto maior a simplicidade de um sistema, menor será sua flexibilidade. No caso da presente aplicação, existem realidades muito distintas entre as associações e cooperativas de materiais recicláveis que exigem que o sistema seja flexível, e, portanto acabou elevando o seu nível de complexidade. Sendo assim, desenvolveu-se um modelo com todas as funcionalidades consideradas fundamentais para a aplicação real do mesmo, e conseguiu-se manter uma interface amigável entre sistema e usuário.

Ao analisar o modelo em termos da interface, ou seja, a interação do modelo com o usuário, percebe-se que a maioria das funções se encontra na tela inicial, simplificando bastante a sua utilização. Apenas as funções relacionadas aos cadastros e aos relatórios exigem um pouco mais da intuição do usuário. Visto que em todas as associações visitadas existe pelo menos uma pessoa com facilidade para o manuseio de computadores, acredita-se que estas ao receberem treinamento, ou de posse de um “manual do usuário” (ainda não elaborado) de fácil entendimento, será capaz de utilizar o modelo desenvolvido, explorando suas funcionalidades normalmente.

Para que se atinja a validação do sistema como um todo, uma vez que as funcionalidades do sistema encontram-se validadas individualmente, faz-se necessária a execução da etapa de implantação do software com a reunião dos novos usuários para que o sistema seja apresentado e incorporado como uma nova ferramenta de trabalho no seu dia a dia. Porém, previamente a esta incorporação faz-se necessário um trabalho de conscientização quanto às vantagens de se seguir um planejamento, uma vez que, conforme Ferazza (2006), Ramos (2012), e Oliveira (2012), alguns catadores afirmam gostarem de sua profissão pelo fato de terem autonomia de decidirem sobre seu trabalho e renda, sem chefe ou horários a cumprir.

Atualmente existe o desejo de real reconhecimento do trabalho dos catadores de materiais recicláveis, bem como que ele seja considerado nas políticas públicas municipais, e pelos órgãos responsáveis pela coleta dos resíduos sólidos domiciliares, incorporando

o trabalho realizado pelos carrinheiros em seu planejamento, com a inserção formal dos catadores na coleta seletiva. A questão da coleta dos resíduos sólidos urbanos é bastante complexa, ao passo que envolve e depende da colaboração de elementos políticos, da coleta solidária, e dos catadores, cada um com seu grau de importância (Anexo B).

Os elementos políticos são aqueles que de fato viabilizarão o trabalho dos catadores num sistema integrado. As alternativas de coleta existentes têm múltiplas combinações possíveis, e os catadores podem e devem ter um lugar na organização e gestão de sistemas integrados de resíduos sólidos. Portanto, o momento é aproveitar o novo cenário que se insere com a aprovação da PNRS que pode oferecer oportunidades para o desenvolvimento da atuação dos catadores como atores determinantes para se equacionar a problemática que envolve os resíduos sólidos urbanos.

Ao criar novas políticas, legislações ou programas relacionados à gestão de RSU que incluem a coleta realizado por catadores, é necessário ter cautela na determinação de suas condicionantes para que sejam satisfatórias e condizentes com a realidade dos trabalhadores, não ocasionando, na pior das hipóteses, o desligamento de catadores associados que voltem a trabalhar sob as condições citadas anteriormente, invalidando todos os esforços dispendidos até o momento. Além disso, toda estrutura organizacional ou política desenvolvidas devem ser flexíveis para adequação às particularidades de cada município.

Políticas públicas não representam o ápice da conquista de um movimento, apenas criam um quadro institucional favorável para que as ações sejam mais efetivas. Caso esse caminho de volta não seja construído, as políticas conquistadas podem permanecer meras intenções (LIMA et al., 2011).

A coleta solidária é outro fator determinante para o sucesso de resolução da problemática dos resíduos sólidos, que depende de uma boa relação da comunidade com seus resíduos gerados. Neste caso a conscientização e a mobilização dos moradores em prol da coleta seletiva (seja ela realizada por catadores ou por caminhões da prefeitura) tendem a melhorar a eficiência sistêmica e reduzir custos globais com o processo. No sentido de viabilizar a coleta solidária é necessário planejamento, comprometimento e envolvimento da população, portanto é importante realizá-la sempre nos mesmos dias e horários previamente determinados, de modo que os cidadãos se habituem a dispor os

resíduos gerados e previamente segregados em suas residências na frequência determinada.

É válido ressaltar que este trabalho teve enfoque nos catadores ligados a associações ou cooperativas, porém, muitos são os catadores que trabalham por si só. Estes, desprovidos de recursos financeiros e de acessos a serviços básicos e com baixa escolaridade, são submetidos à exploração de atravessadores, que pagam preços reduzidos pelos materiais recicláveis, além de serem coagidos por empréstimo de carrinho de coleta ou adiantamentos em dinheiro (LIMA et al., 2011). Visto o desejo da incorporação da coleta realizada por catadores no planejamento de coleta municipal, é importante elaborar uma estratégia para incorporar este percentual que trabalha individualmente ao corpo de trabalhadores das organizações de catadores de materiais recicláveis, a fim de que se atinja a universalização de catadores trabalhando coletivamente.

Por fim, considerando os gastos elevados despendidos no serviço de coleta e transporte, a participação dos catadores de materiais recicláveis de forma organizada, através de associações e cooperativas, tem uma colaboração significativa na redução dos gastos pelos órgãos responsáveis pela coleta.

Tendo em vista os argumentos apresentados, o modelo de planejamento e otimização de rotas apresentado nesta dissertação pode ser utilizado isoladamente ou integrado a um sistema de coleta seletiva mais complexo. Sua utilização certamente será viabilizada em municípios que considerarem os fatores citados acima, e neste caso, ele se mostrará como uma importante ferramenta de auxílio no gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo computacional em associações de catadores de materiais recicláveis no município de Curitiba – PR proporcionaram as seguintes conclusões:

- O tempo médio para a realização do percurso correspondente à rota realizada na atividade de coleta de materiais recicláveis pelos catadores acompanhados é de 01h28min33s, sendo que o tempo máximo verificado foi de 03h03min55s, e o mínimo de 29min17s;
- Ao analisar as rotas em termos da distância percorrida pelos catadores, obteve-se uma média de 5,33 km, sendo 9,09 km o valor máximo verificado e 2,38 km o valor mínimo;
- Todas as funcionalidades do modelo computacional apresentado foram testadas até que seu funcionamento estivesse condizente com os requisitos do sistema. São elas: obter rede viária, desenhar rotas, definir pontos de coleta, inserir dados do ponto, mover ponto, excluir ponto, otimizar rotas (gerar TSP – motorizado e/ou manual), dados da rota, obter distância da rota, editar rota, trocar cor, salvar, realizar cadastros, e obter relatórios;
- O modelo responde bem ao teste de condição de estresse quando submetido a um volume excessivo em termos de dados;
- Na otimização de rotas obteve-se como principal resultado a redução de 6,95% do tempo e 8,44% na distância de uma rota de coleta de materiais recicláveis, antes realizada empiricamente por um catador, resultados estes condizentes com a aplicação de outros modelos de roteirização encontradas na literatura;
- No planejamento de rotas obteve-se como principal resultado a redução de 13,77% do tempo e 31,70% na distância, demonstrando que a visualização em mapa do roteiro realizado empiricamente aliado a um olhar crítico de um planejador podem ser um grande diferencial para o trabalho do catador, o que representa uma importante aplicação do modelo;
- A visualização simultânea das rotas realizadas por catadores de uma associação levam a percepção de que existem sobreposições de rotas quando elas são realizadas aleatoriamente por cada catador. Portanto, verifica-se a

importância de um planejamento de rotas proporcionado pelo modelo apresentado.

É importante observar que as conclusões supracitadas são resultados da aplicação em um universo amostral específico. No caso, acompanharam-se apenas catadores que realizavam seus roteiros a pé, porém o modelo é bastante abrangente, sendo possível a sua aplicação nas diversas estruturas organizacionais que utilizam outros meios de locomoção na realização da coleta de materiais recicláveis, sendo necessária apenas a importação da rede viária da área de interesse atualizada.

5.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

A partir de toda a base teórica e prática obtida na realização do presente trabalho, algumas recomendações e sugestões são indicadas.

- É recomendado realizar a fase de implantação para que se atinja a validação do sistema como um todo, uma vez que suas funcionalidades encontram-se validadas. Nesta etapa, os novos usuários são reunidos para que o sistema seja apresentado e incorporado como uma nova ferramenta de trabalho no seu dia a dia. A implantação pode ser realizada diretamente por uma ou mais associações que se interessem pelos benefícios oferecidos pelo modelo.
- Existe a necessidade de um instrumento de gestão que concilie as diversas frentes de trabalho relacionadas à coleta de resíduos sólidos urbanos. O ideal seria que existisse um planejamento único que abrangesse os diversos agentes coletores. Entretanto, o que já é aplicável para municípios que contam com um sistema planejado de coleta seletiva, é o repasse das informações de seus roteiros e horários de coleta para as associações e cooperativas de catadores do mesmo município, para que estes possam realizar um planejamento baseado nessas informações e na realidade local.
- São necessários maiores estudos sobre a forma de organização dos catadores, principalmente no que cerne a instabilidade apresentada por alguns perante o trabalho realizado. É o caso de verificar a viabilidade de pagamento de salário, e a introdução de outros direitos para essa classe de trabalhadores, por exemplo, o trabalho com carteira assinada. Em contrapartida, tem-se a necessidade da definição dos deveres a serem cumpridos, como o cumprimento de carga horária, por

exemplo. O salário poderia ser composto por um salário base, com adicional por produção individual. Neste caso, as condicionantes devem estar muito bem estruturadas antes de ser implantado o novo sistema, para que as condições sejam satisfatórias e condizentes com a realidade dos trabalhadores, e que não aconteça o caminho inverso aumentado o número de catadores independentes (não associados), que vendem seus materiais a preços irrisórios.

- No âmbito administrativo, poderia ser desenvolvido um software para auxiliar na parte de finanças das cooperativas e associações. Nos casos acompanhados, os pagamentos são realizados por quinzena e todos os cálculos são feitos manualmente. As variáveis envolvidas são: catador (rendimento individual); quantidade de resíduo coletado por tipo de material (kg); e preço pago por quilo de material (papel, papelão, alumínio, etc.).
- Tornando a aplicação do modelo como uma base para uma tecnologia ainda mais robusta, poderia ser criado um sistema com extensão para aparelho de GPS, e no caso, cada catador teria, acoplado ao seu carrinho (elétrico, de preferência), um GPS que controlaria a rota realizada pelo mesmo, além de estar interligado por um sistema aos demais membros da associação, inclusive com a função de recalcular rotas, etc.
- Sugere-se, no caso de melhorias serem feitas no sistema, que se inclua a opção de visualizar o mapa gerado por fotos de satélites, já que isso pode facilitar que o usuário se localize identificando pontos conhecidos por ele.
- No modelo, substituir o termo “Gerar TSP” por “Gerar rota”.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gustavo Ivanchechen de. **Informações ACAT**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <natti_b@hotmail.com>. Em: 14 jan. 2014.

APAYDIN, Omer. **Geographical information system (GIS) supported optimization of solid waste management alternatives in Trabzon City**. Tese (Pós Doutorado), Universidade Técnica de Yildiz, Instituto Científico, Engenharia Ambiental, Istanbul, 2004.

ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinicius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 526 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2011.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2013.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos - Terminologia. NBR 12.980**. Rio de Janeiro, 1993. 6p.

_____. **Resíduos sólidos - Classificação. NBR 10.004**. São Paulo, 2004. 71 p.

_____. **Coleta de resíduos sólidos - Classificação. NBR 13.463**. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

_____. **Engenharia de software - Qualidade de produto - Parte 1: Modelo de qualidade. NBR ISO/IEC 9126-1**. Rio de Janeiro, 2003. 21p.

AQUINO, Israel Fernandes. **Proposição de uma rede de associações de catadores na região da grande Florianópolis**: alternativa de

agregação de valor aos materiais recicláveis. 2007. 238 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BARÃO, Fábio Roberto; KRIPKA, Moacir; KRIPKA, Rosana Maria Luvezute. **Determinação da rota ótima para a coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo – RS.** In: XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional. Belém, 2008. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/eventos/cnmac/xxxi_cnmac/PDF//134.pdf>. Acesso em: 22 set. 2012.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade (Coord.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais:** eliminação e valorização. Porto Alegre: RiMa, 2001. 218 p. PROSAB 2.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos: USP, EESC, 1999. 109 p.

BODIN, Lawrence; KURSH, Samuel Joel. **A computer-assited system for the routing and scheduling of street sweepers.** Operation Research, vol. 26. n. 4, 1978.

BODIN, Lawrence; GOLDEN, Bruce L.; ASSAD, Arjang; BALL, Michael. **Routing and scheduling of vehicles and crews:** The state of art. Journal of Computer and Operations Research, vol. 10, n. 2, 1983.

BORTOLI, Mari Aparecida. **Catadores de materiais recicláveis:** a construção de novos sujeitos políticos. 2009. 114f. Relato de experiência – Programa de Pós-Graduação em Serviço Social. Porto Alegre, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei N° 11.445 de 5 de janeiro de 2007.** 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 07 nov. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Lei N° 12.305 de 2 de agosto de 2010.** 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 07 nov. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Lei N° 9.795 de 27 de abril de 1999**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm>. Acesso em: 27 jan. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Lei N° 8.666, de 21 de junho de 1993**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18666cons.htm>. Acesso em: 27 jan. 2013.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)**. Disponível em: <<http://www.mteco.gov.br/cbsite/pages/pesquisas/BuscaPorTituloResultado.jsf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

BRASILEIRO, Luzenira A. **Análise do Roteamento de Veículos na Coleta de Resíduos Domésticos, Comerciais e de Serviços de Saúde**. 2004. 94f. Tese (Livre-Docência), Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.

BRASILEIRO, Luzenira A. **Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares**. 2008. Disponível: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n4/a02v13n4.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

BURROUGH, Peter. A.; MCDONNELL, Rachael. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333p.

CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo**. 3. Ed. São Paulo: Humanitas/ FFLCH, USP, 1999.

CALIJURI, Maria Lúcia; ROHM, Sérgio Antônio. **Sistemas de Informações Geográficas**. Viçosa: Editora da Universidade de Viçosa, 1995. 34 p.

CÂMARA, Gilberto. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. 1995. 264 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Geoprocessamento, Universidade de Campinas, São Paulo, 1995.

CAMARGO, Edimar Gruba. **Informações arepar**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <natti_b@hotmail.com>. Em: 16 jan. 2014.

CANASSA, Edson Marco. **Planejamento de roteiros dos veículos coletores de resíduos sólidos urbanos**. 1992.134f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1992.

CARVALHO, Priscilla. **Catadores melhoram coleta seletiva com triciclo**. 2008. Disponível em: <<http://www.fbb.org.br/portal/pages/publico/expandir.fbb?codConteudoLog=5876>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges (Coord.); LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo; PESSIN, Neide. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 278p.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges. **Apresentação da aula ministrada na disciplina Resíduos Sólidos**. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

CHANG, Ni-Bin, WEI, Yan-Ling. Siting recycling drop-o stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. **Fuzzy Sets and Systems**, v.114, p. 133-149, 2000.

CHRISTOFIDES, Nicos. **Graph theory: An algorithmic approach**. Academic Press, London, 1975. 400p.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **O lixo que não é lixo**. Curitiba, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 1993.

_____. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 3. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010. 350 p.

_____. **Pesquisa Ciclosoft 2012: Radiografando a Coleta Seletiva**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/ciclosoft2012.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

CONCEITOS Básicos da Teoria de Grafos. INF/UFSC. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/grafos/definicoes/definicao.html>>. Acesso em: 05 set. 2012.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não linear de programação por metas. **Revista Gestão e Produção**, v.9, n.2, p.143-161, 2002.

DETOFENO, Thober Coradi. **Otimização de rotas e coleta de resíduos sólidos urbanos, utilizando técnicas de Pesquisa Operacional**. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia). Universidade Federal do Paraná. Programação Matemática. Curitiba, 2009.

DIAS NETO, Arilo Claudio. Introdução a teste de software. **Revista Engenharia de Software**. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/artigo-engenharia-de-software-introducao-a-teste-de-software/8035#ixzz2AgtFLEZ7>>. Acesso em: 24 out. 2012.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **Lixo e desperdício**. In: EIGENHEER, Emílio Maciel (org.). Raízes do desperdício. Centro de Informações sobre resíduos sólidos. Rio de Janeiro: In-Fólio, 1993.

EIGENHEER, Emílio Maciel; FERREIRA, João Alberto. **Reciclagem e seus equívocos**. In: EIGENHEER, Emílio Maciel; FERREIRA, João Alberto; ADLER, Roberto Rinder. Reciclagem: mito e realidade. Rio de Janeiro: In-Fólio, 2005.

EISELT, H.A.; GENDREAU, Michel; LAPORTE, Gilbert. Arc routing problems, part I: The chinese postman problem. **Operation Research**, v. 43, n. 2, p. 231-242. 1995.

FERRAZZA, Daniele de Andrade; YAMAMOTO, Fernanda; CARVALHO, A. M. Rodrigues de; LADEIA, C. Rodrigues. Catadores de materiais recicláveis: representações sociais de coleta seletiva. **Revista ciência em extensão**, v.2, p.49, 2006.

FUNDAÇÃO ITAIPU BINACIONAL (Brasil). **Coleta Solidária**. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/responsabilidade/coleta-solidaria>>. Acesso em: 19 jan. 2013.

GARMIN (2013). Disponível em: <<http://sites.garmin.com/etrex/>>. Acesso em: 21 out. 2013.

GODINHO, Moacir; JUNQUEIRA, Rogério A. R. Problema do Carteiro Chinês: escolha de métodos de solução e análise de tempos computacionais. **Revista Produção**, v.16, n.3, p.538-551, 2006.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOLDEN, Bruce. L., BODIN, Lawrence; DOYLE, Tarrant; e STEWART Jr., Walter. **Approximate traveling salesman algorithms**. Operations Reserch, Vol. 28, No.3, 1980, p. 694-711.

GRACIOLLI, Odacir Deonísio. **Otimização de roteiros de veículos coletores de resíduos sólidos de serviços de saúde**. 1994. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

GRIPPI, Sidney. **Lixo, reciclagem e sua história: Guia para as prefeituras brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Relatório de Pesquisa: Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. 2010. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100514_relatsau.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2013.

INSTITUTO PRÓ-CIDADANIA DE CURITIBA (IPCC). **EcoCidadão receberá recursos para fortalecimento das associações de catadores**. 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc.org.br/noticia.aspx?id=1663>>. Acesso em: 30 dez. 2013.

KIRCHNER, Rosane Maria; SAIDELLES, Ana Paula F.; STUMM, Enilva Miladi F. Percepções e perfil de catadores de materiais recicláveis de uma cidade do RS. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté: UNITAU, v.5, n.3, p.221-232, set./dez. 2009.

KONOWALENKO, Flávia. **Problema do carteiro chinês não orientado e misto para a otimização de rotas na cidade de Irati/PR**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Departamento de Construção Civil e de Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LACERDA, Márcio Gonçalves. **Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em uma Cidade de Pequeno Porte**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira/SP, 2003.

LARSON, Richard C.; ODONI, Amedeo R. **Urban Operations Research**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981. Disponível em: < http://web.mit.edu/urban_or_book/www/book/>. Acesso em: nov. 2013.

LAPORTE, Gilbert; LOUVEAUX, François; MERCURE, Hélène. **The vehicle routing problem with stochastic travel times**. Transportation Science, vol. 26, n.3, 1992, p. 161-170.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003. 250 p.

LEME FILHO, Trajano. **Metodologia de desenvolvimento de sistemas**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2003. 154 p.

LIMA, Francisco de Paula Antunes, et al. Tecnologias Sociais da Reciclagem: Efetivando Políticas de Coleta Seletiva com Catadores. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, Minas Gerais, v. 4, n. 2, p.131-146, dez. 2011.

LIMA, Renato da Silva; LIMA, Josiane Palma; SILVA, Thiago Vitali de Vito. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal Of Transport Literature: Research Directory**. Vol. 6, p. 180-196, abr. 2012.

LIMA, Rosimeire Midori Suzuki Rosa. **Implantação de um programa de coleta seletiva porta a porta com inclusão de catadores**: Estudo De Caso Em Londrina-PR. 2006. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

MAGERA, Marcio Conceição. **Os empresários do lixo**: um paradoxo da modernidade. Análise interdisciplinar das cooperativas de reciclagem de lixo. Campinas: Átomo, 2005. 193 p.

MARCHIORI, Raphael (Paraná). Vida e Cidadania. **Catadores vão ganhar carrinho elétrico**: 108 modelos movidos à eletricidade vão substituir parte da frota de carrinhos de tração manual usada em Curitiba. 2012. Especial para a Gazeta do Povo. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1303478>>. Acesso em: 3 jan. 2014.

MARTINELLI Jr., Delair Osvaldo; FERNANDES, Eraldo Luis Rezende; MEDEIROS, Marcos Leal. **Problema do Caixeiro Viajante**: Travelling Salesman Problem. Campo Grande: UFMT, 2002. 42 p.

MOLINARI, Leonardo. **Testes de software**: Produzindo sistemas melhores e mais confiáveis. 4. ed. São Paulo: Érica, 2003. 228 p.

MOLINARI, Leonardo. **Gerência de Configuração**: Técnicas e Práticas no Desenvolvimento do Software. São Paulo: Visual Books, 2007. 208 p.

MOTA, Adriana Vale. Do lixo à cidadania. **Revista democracia viva**, Rio de Janeiro: IBASE, v.27, p.3-8, 2005.

MONTEIRO, José Henrique Penido (org.); ZVEIBIL, Victor Zular (coord.). **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM). Rio de Janeiro: 2001.

MONTIBELLER FILHO, Gilberto. **O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. Florianópolis: UFSC, 2004. 306 p.

OLIVEIRA, Marina Cardoso et al. Valores de Trabalho de Catadores de Materiais Recicláveis: expectativas com o trabalho cooperado. **Revista paranaense de desenvolvimento**, Curitiba, n. 122, p. 201-220, jan./jun. 2012.

OLIVEIRA FILHO, João Damásio de (Coord.). **Análise do custo de geração de postos de trabalho na economia urbana para o segmento dos catadores de materiais recicláveis**: relatório técnico final. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, 2006. Disponível em: <<http://www.coletasolidaria.gov.br/menu/material-de-apoio/Analise%20do%20Custo%20de%20Geracao%20de%20Postos%20de%20Trabalho.pdf>>. Acesso em: nov. 2013.

ORNELAS, Adílio Rodrigues. **Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PASCOAL Jr., Alcides; OLIVEIRA FILHO, Paulo Costa. Análise de Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares com o Uso de Geoprocessamento. **Revista Acadêmica**, Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 8, n° 2, Abril/Junho, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Parolin terá segundo parque de reciclagem daqui a 90 dias**. Secretaria municipal da comunicação social. Disponível em:

<www.curitiba.pr.gov.br/noticias/noticiaimprensa.aspx?codigo=26298>. Acesso em: jul. 2013.

PRESSMAN, Roger S.. **Engenharia de Software**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2010. 752 p. Tradução: Rosângela Ap. D. Penteadó; Revisão técnica: Fernão Stella R. Germano, José Carlos Maldonado, Paulo Cesar Masiero.

RAMOS, Naiara Francisca. **Levantamento do perfil de catadores de materiais recicláveis e de requisitos para subsidiar o desenvolvimento de veículo coletor e de sistema de apoio à definição dos roteiros de coleta**. 2012. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

REDE NACIONAL DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO (RECESA). **Resíduos Sólidos: Otimização de Rotas para Veículos Coletores**. Recesa. 2009. 35p.

REINFELD, Nyles V. **Sistemas de reciclagem comunitária: do projeto à administração**. Tradução de José Carlos B. dos Santos. São Paulo: Makron Books, 1994. 285 p.

RODRIGUES, Marco Antônio P. **Problema do caixeiro viajante: um algoritmo para resolução de problemas de grande porte baseado em busca local dirigida**. 2000. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2000.

ROTH, Berenice; ISAIA, Enise Bezerra Ito; ISAIA, Tarso. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. **Ciência e Ambiente**, n. 18, p. 25-40, jan./jun. 1999.

SANTA CATARINA. **Lei Nº 13.557 de 17 de novembro de 2005**.

Disponível em: <

http://www.carvaomineral.com.br/abcm/meioambiente/legislacoes/bd_carboniferas/residuo/lei_estadual_13557-2005.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2012.

_____. **Lei N° 14.675 de 13 de abril de 2009.** Disponível em:<
http://www.sc.gov.br/downloads/Lei_14675.pdf>. Acesso em: 08 nov.
2012.

SANTOS, Fernando César dos. **Desenvolvimento de software para equipamento de prototipagem rápida por sinterização seletiva a laser (SLS).** 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SÃO PAULO (ESTADO). José Flávio de Oliveira. Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental (Coord.). **Guia pedagógico do lixo.** São Paulo: SMA, 1998. 96 p.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). **Diferenças entre associações e cooperativas.** (s.d.). Disponível em:
<<http://www.sebraemg.com.br/culturadacooperacao/associacoes/05.htm>
>. Acesso em: 13 jan. 2013.

SHERAFAT, Hassan. **Algoritmos heurísticos de cobertura de arcos.** 2004. 174f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVA, Robson Garcia da; SILVA, Glauber Nóbrega; SANTOS, Polyana Augusta Costa. **SIG aplicado ao DMRSU/RN:** identificação de agrupamentos dos sistemas de limpeza urbana. In: V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (CONNEPI). Maceió, 2010. Disponível em:
<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1378/928>. Acesso em: 27 out. 2013.

SOUSA, Cleide Maria. **A dinâmica prazer-sofrimento na ocupação de catadores de materiais recicláveis:** estudo com duas cooperativas do Distrito Federal. 2007. 121f. Dissertação (Mestrado em Psicologia) - Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2007.

SOUSA, Bruno Carlos da Silva; RANGEL, Luís Alberto Duncan. **Determinação de Rota Ótima de um Caminhão de Coleta de Resíduos por um Bairro Baseado no Problema do Carteiro Chinês.**

In: IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2009.

Disponível em:

<http://www.aedb.br/seget/artigos09/279_Determinacao_Rota_Otima_Caminhao_de_Lixo_com_Carteiro_Chines.pdf>. Acesso em: 22 out. 2012.

TCHOBANOGLIOUS, G. **Solid wastes: engineering principles and management.** Issues. Tokyo: McGraw-Hill, 1977.

TESTAR (São Paulo). **Introdução ao teste de software:** Teste de Performance. Capítulo 18 - Aplicações para Web Stress Testing.

Disponível em:

<http://www.testar.me/pages/teste_de_software_performance_capitulo18.html>. Acesso em: 20 fev. 2013.

TETRA PAK. **Rota da reciclagem: onde reciclar embalagens longa vida.** Disponível em:

<<http://www.rotadareciclagem.com.br/index.html>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

TONSIG, Sérgio Luiz. **Engenharia de Software:** Análise e projeto de sistemas. 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2008. 319 p.

APÊNDICE A – Questionário aplicado para a seleção das organizações e dos catadores colaboradores

Organização: _____

Cidade sede: _____

Tipo: () associação () cooperativa

Número de catadores ligados à organização? _____

Destes, quantos trabalham de segunda a sexta? _____

Quais os tipos de veículos de coleta utilizados por estes catadores?

Quantos deles seguem:

Uma rota pré-determinada: _____

Percursos empíricos (que variam diariamente): _____

Quanto à organização

Possui computador na sede? () Sim () Não

Possui internet com conexão banda larga? () Sim () Não

Endereço:

ANEXO A - Desenvolvimento de um protótipo para apoio ao planejamento de rotas para catadores de material reciclável.

O desenvolvimento do protótipo seguiu as fases definidas na metodologia apresentada abaixo, tanto na criação das interfaces quanto na codificação de algoritmos heurísticos de otimização.

Quanto à plataforma escolhida para atender os requisitos definidos no projeto (principalmente o uso de softwares gratuitos e de interface amigável), são apresentados a seguir as características quanto às plataformas e aos algoritmos.

Metodologia para o desenvolvimento do sistema

1. LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS

- a) Requisitos funcionais (funções que o sistema deve possuir):
 - Definir uma área para o planejamento dos roteiros;
 - Definir os catadores;
 - Definir a capacidade dos carrinhos;
 - Desenhar roteiros existentes;
 - Melhorar roteiros;
 - Definir as ruas e pontos onde haverá coleta;
 - Dividir (clusterizar) – não implementado;
 - Determinar roteiro.
- b) Requisitos não funcionais (dispositivos, performance, interface, etc.):
 - Acesso rápido (banda larga) à internet;
 - Apresentar os roteiros em tempo aceitável (alguns segundos);
 - Interface amigável (considerando o perfil do usuário).
- c) Recursos disponíveis (mapas, dispositivos, sistemas, etc.):
 - Base de dados livre (Open Street Maps);
 - Acesso à internet;
 - Sistema operacional livre (Ubuntu);
 - Banco de dados livre (PostgreSQL, adicionado módulo Postgis para suporte a dados geográficos e módulo PGRouting para efetuar cálculos de menor distância sobre a base local);
 - Servidor HTTP livre (Apache);
 - Linguagem de programação livre (PHP, JavaScript);
 - Biblioteca livre para apresentação dos dados geográficos (Open layers).

Quanto à plataforma

a) Web:

- Para serviços de mapeamento da rede viária foi utilizado OSM;
- Para os serviços de visualização em mapas (rede viária e imagens de satélite) é possível a visualização no google maps.

b) Sistema Gerenciador de Banco de Dados:

- PostgreSql e PostGis.

c) Webgis:

- Openlayers.

d) Outras Tecnologias:

- Sistema Operacional – Ubuntu;
- Servidor – Apache;
- Linguagem de programação – PHP;
- Linguagem de programação – Javascript;
- Biblioteca com função aplicadas sobre a rede viária - PGRouting.

Quanto aos algoritmos

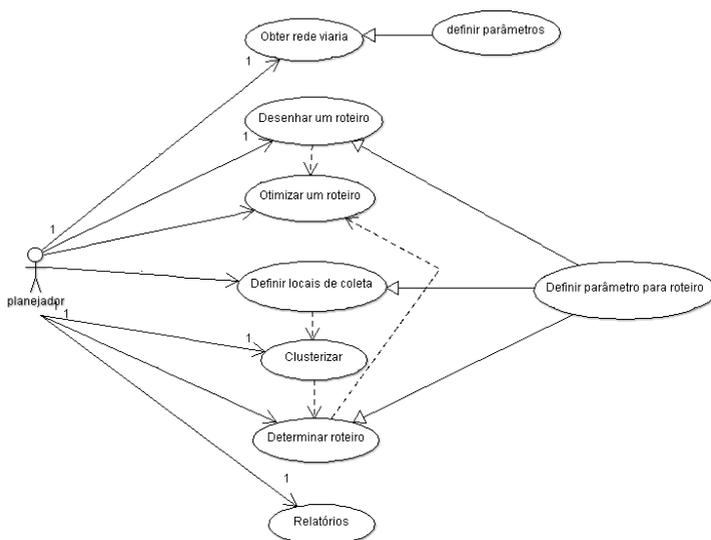
- a) Calcular a menor distância entre dois pontos - Algoritmos Dijkstra (PGRouting).
- b) Determinar o roteiro do problema do caixeiro viajante – Algoritmo Lin-Kernighan.
- c) Clustering/Agrupamentos - Problema de p-medianas/p-centros (não foi necessária a implementação destes algoritmos).

A seguir é apresentada a modelagem (Análise e Projeto do Sistema) para atender os requisitos do protótipo do sistema de apoio ao planejamento das rotas de coleta de materiais recicláveis.

2. ANÁLISE E PROJETO DO SISTEMA

Os requisitos funcionais são modelados através de casos de uso. A figura 1 apresenta os principais casos de uso que representam as funcionalidades que o sistema deverá disponibilizar para o usuário que fará o planejamento dos roteiros. Os casos de uso são: a) Obter rede viária; b) Definir pontos de coleta; c) Otimizar um roteiro/Determinar um roteiro; d) Relatórios.

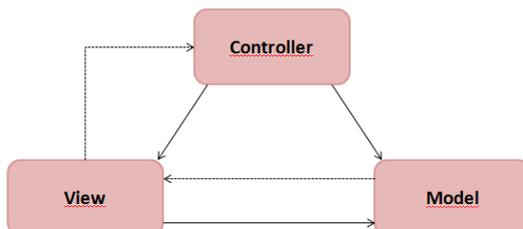
Figura 1 – Principais casos de uso.



3. IMPLEMENTAÇÃO

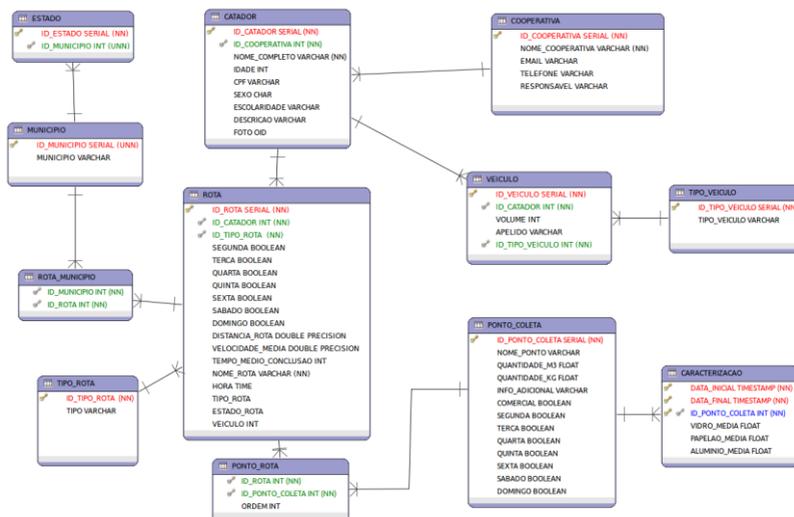
A implementação utiliza o modelo MVC (Model-View-Controller) como padrão de projeto. A proposta do MVC é separar o código em três partes: o Modelo (dados), a Visão (apresentação) e o Controle (fluxo e regra de negócio). A figura 2 mostra um diagrama simples exemplificando a relação entre Model, View e Controller. As linhas sólidas indicam associação direta e as tracejadas indicam associação indireta.

Figura 2 – Modelo MVC.



O banco de dados utilizado é o PostgreSQL, com a sua extensão para tratamento de dados geográficos, PostGIS. A modelagem dos dados do sistema é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Modelagem do banco de dados.



4. TESTES

O sistema de apoio ao planejamento de roteiros para catadores de materiais recicláveis foi testado em associações de catadores na cidade de Curitiba-PR, conforme a dissertação “Avaliação de modelo computacional para planejamento e otimização de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis”.

Descrição dos algoritmos para a determinação de roteiros otimizados

O problema a ser tratado é do tipo do Problema do Caixeiro Viajante - PCV. Os trechos de ruas que devem ser percorridos integralmente (característica do Problema do Carteiro Chinês - PCC) serão transformados em pontos de forma a serem tratados pelo algoritmo para o PCV.

Após a definição dos pontos de coleta (em que alguns podem representar trechos de ruas), para um conjunto de pontos (cluster) segue os seguintes passos:

- Gerar uma matriz de distância entre todos os pontos selecionados;
- Calcular a menor distância entre todos os pontos (algoritmo Dijkstra);
- Determinar um roteiro otimizado com base na matriz de distâncias (algoritmo Lin-Kernighan);
- Aplicar um algoritmo de construção (algoritmo colônia das formigas);
- Aplicar um algoritmo de melhoria no roteiro (algoritmo 2-opt).

Algoritmo Lin-Kernighan

Este é o algoritmo de busca local desenvolvido por Lin e Kernighan (1973), que atualmente é a mais conhecida e utilizada busca local para o problema do caixeiro viajante. O algoritmo busca a sequência de arestas $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ que, quando trocadas pelas arestas $\{y_1, y_2, \dots, y_k\}$, retornam um caminho factível e de menor custo (HELSSGAUN, 2007).

O algoritmo inicia construindo um caminho aleatório e sorteando um nó n_1 por onde deve começar as trocas. Em seguida, é escolhida uma aresta contendo o nó inicial $x_1 = (n_1, n_2)$ e uma aresta de troca que parta de n_2 e gere um ganho positivo $y_1 = (n_2, n_3)$. Escolhida a primeira aresta de troca, começa então o processo iterativo com $i = 2$, onde a cada passo uma aresta é escolhida contendo o último nó escolhido na iteração anterior $x_i = (n_{2(i-1)}, n_{2i})$, e escolhe-se uma aresta partindo de n_{2i} tal que algumas condições sejam satisfeitas:

- a) Se a aresta (n_1, n_{2i}) é criada, então um caminho completo é formado;
- b) A aresta y_i é uma aresta não utilizada contendo o nó n_{2i} ;
- c) Para garantir a disjunção entre x_i e y_i , x_i não pode ser uma aresta já escolhida para o conjunto y , e y_i não pode ser uma aresta já escolhida pelo conjunto x ;
- d) O ganho deve ser positivo;
- e) A aresta y_i deve permitir a quebra de $x_{(i+1)}$ para possibilitar que na iteração seguinte existam trocas factíveis;
- f) Antes da decisão final da escolha de y_i é verificado se, ao fechar n_{2i} com n_1 , gera-se um caminho com custo menor do que o original.

Terminada a construção do conjunto de arestas originais (x) e o conjunto de arestas de troca (y), o novo caminho é construído e os

passos são executados novamente até que não ocorra mais nenhum ganho.

Referências Bibliográficas

HELSSGAUN, Keld. An Effective Implementation of K-opt Moves for the Lin-Kernighan TSP Heuristic. 2007.

LIN, Shen; KERNIGHAN, B. W. An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, n.21, v.2, p.498–516. 1973.

ANEXO B – Princípios de sustentabilidade específicos para a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

| | |
|-----|--|
| 1. | Garantia das condições adequadas de trabalho: os trabalhadores do sistema de RSU (formais ou não-formais) devem trabalhar em um ambiente seguro, salubre e motivador. Se a atenção da sustentabilidade deve ser voltada ao ser humano, não se pode permitir sua exploração ou o comprometimento de sua saúde, física ou mental, em qualquer circunstância. Deve-se valorizar as pessoas que desempenham tais papéis e a importância do serviço que prestam e constatar a existência de situações de risco no sistema de RSU. |
| 2. | Geração de renda e trabalho: entre as alternativas tecnológicas para a gestão dos RSU deve-se optar por aquelas intensivas em mão-de-obra, sendo dada prioridade às pessoas que já desenvolvem atividades relacionadas com os RSU. |
| 3. | Gestão solidária: a gestão dos RSU, especialmente os processos decisórios, deve ser realizada com ampla participação dos diversos agentes da sociedade. Quando há comprometimento da população com os projetos desenvolvidos, diminui-se a possibilidade de que mudanças no governo interrompam esses projetos. |
| 4. | Democratização da informação: as informações relativas à gestão dos RSU devem ser sistematizadas e divulgadas à população. Para ser capaz de decidir e de mudar sua conduta, a população deve ser esclarecida quanto aos problemas associados aos RSU, incluindo as consequências do consumo excessivo e do desperdício. |
| 5. | Universalização dos serviços: todas as pessoas devem ser atendidas pelo serviço de gestão dos RSU adequadamente, de forma a garantir as condições de saúde pública. |
| 6. | Eficiência econômica da gestão dos RSU: tendo sido garantidas as condições de saúde pública e ambiental, bem como a geração de trabalho e renda, deve-se procurar oferecer os serviços de limpeza pública com o menor gasto possível. Por se tratar de um serviço de responsabilidade do poder público, a gestão dos RSU é financiada com recursos da sociedade, portanto, deve ser o mais responsável possível, porém a redução de custos não servirá de justificativa para redução do nível de serviço e comprometimento da saúde pública e do meio ambiente. |
| 7. | Internalização pelos geradores dos custos e benefícios: os custos da gestão dos RSU devem ser assumidos pelos seus geradores. Os custos da gestão dos RSU devem ser sempre explicitados, sendo assumidos proporcionalmente pelos seus geradores, inclusive pela população, de forma a que esta tenha consciência dos gastos envolvidos. A estrutura de cobrança deverá, entretanto, considerar as diferentes condições socioeconômicas das pessoas. |
| 8. | Respeito ao contexto local: as soluções para a gestão dos RSU deve sempre considerar características locais com relação à sociedade, economia, cultura e meio físico. Antes da implantação das tecnologias, deve-se avaliar sua eficiência e eficácia para a realidade apresentada pelo município. Apesar de ser importante aprender com as experiências de outras localidades, os tomadores de decisão devem considerar, em seus projetos, as particularidades de sua comunidade e do ambiente onde ela está localizada. |
| 9. | Recuperação da degradação devida à gestão incorreta dos RSU: deve-se recuperar os impactos (passivo ambiental) decorrentes da má gestão dos resíduos realizada no passado. |
| 10. | Previsão dos impactos socioambientais: os impactos das alternativas relativas à gestão dos RSU devem ser identificados e minimizados. Deve-se procurar prever e avaliar seus impactos sobre o ambiente ou sobre grupos da sociedade, planejando também o que poderá ser feito para minimizá-los, ou para compensar os agentes prejudicados. |
| 11. | Preservação dos recursos naturais: os RSU constituem-se em matérias-primas para diversas atividades. Deve-se procurar mantê-los no ciclo, o maior tempo possível. Ao se escolher determinada tecnologia ou matéria-prima, deve-se priorizar aquelas que, durante o seu ciclo de vida, sejam menos intensivas em recursos não-renováveis, e uma vez gerados, deve-se sempre buscar seu aproveitamento antes da disposição final. |

Fonte: Lima, 2006.