



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DE USO DE SIG NO SISTEMA DE COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM UMA CIDADE DE
PEQUENO PORTE**

Márcio Gonçalves Lacerda

Dissertação apresentada à FEIS – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Luzenira Alves Brasileiro

Ilha Solteira - SP

Fevereiro de 2003

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da FEIS/UNESP

L131a Lacerda, Márcio Gonçalves
Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte / Márcio Gonçalves Lacerda. – Ilha Solteira : [s.n.], 2003
vii, 145 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de concentração: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2003.
Orientadora: Luzenira Alves Brasileiro
Bibliografia: p. 125-130

1. Resíduos sólidos urbanos . 2. Coleta domiciliar. 3. Roteirização de veículos. 4. Sistemas de informação geográfica.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que me ensinaram o sentimento humanitário
e sustentaram com carinho a realização desta tarefa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ensinar a perdoar...

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Luzenira Alves Brasileiro, pelo companheirismo, estímulo, tranquilidade e segura orientação.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil - DEC que colaboraram na elucidação de minhas dúvidas durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos que acompanharam a elaboração do meu trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio financeiro.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS..... | I |
| LISTA DE QUADROS..... | III |
| LISTA DE TABELAS..... | IV |
| RESUMO..... | VI |
| ABSTRACT..... | VII |
| 1 – INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA..... | 3 |
| 3 – OBJETIVO..... | 4 |
| 4 – RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 5 |
| 4.1 – Classificação dos Resíduos Sólidos..... | 6 |
| 4.2 – Composição dos Resíduos Sólidos..... | 9 |
| 4.3 – Geração dos Resíduos Sólidos..... | 11 |
| 4.4 – A Problemática dos Resíduos Sólidos..... | 13 |
| 5 – LIMPEZA URBANA..... | 19 |
| 6 – GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 25 |
| 6.1 – Características Gerais..... | 25 |
| 6.2 – O Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares..... | 31 |
| 6.2.1 – Etapas do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares..... | 31 |
| 6.3 – Gerenciamento Intermunicipal..... | 54 |
| 6.4 – A Experiência Internacional na Gestão de Resíduos Sólidos..... | 55 |
| 7 – ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE COLETA DE LIXO..... | 59 |
| 7.1 – Rede de Transportes..... | 59 |
| 7.1.1 – Grafo..... | 59 |
| 7.1.2 – Representação de Uma Rede..... | 62 |
| 7.2 – Formulação de Problemas de Roteirização de Veículos de Coleta de Lixo..... | 64 |

| | |
|---|-----|
| 7.3 – Métodos de Roteirização de Veículos de Coleta de Lixo..... | 67 |
| 7.4 – Sistema de Informação Geográfica – SIG..... | 69 |
| 8 – MATERIAIS E MÉTODO..... | 74 |
| 8.1 – Elaboração e Envio de Questionário a Cidades Brasileiras de Pequeno Porte..... | 74 |
| 8.2 – Estudo de Caso..... | 76 |
| 8.3 – Aplicação do Software..... | 79 |
| 8.3.1 – Descrição do Software e Hardware a Serem Utilizados..... | 79 |
| 8.3.2 – Obtenção, Entrada e Processamento dos Dados..... | 81 |
| 8.3.3 – A Rotina Arc Routing..... | 88 |
| 9 – RESULTADOS OBTIDOS..... | 90 |
| 9.1 – Caracterização dos Sistemas de Coleta de Resíduo Sólido Domiciliar em Cidade de Pequeno Porte..... | 90 |
| 9.2 – Resultados da Simulação pela Rotina Arc Routing para o Caso da Cidade de Ilha Solteira..... | 96 |
| 9.2.1 – Área de Estudo..... | 96 |
| 9.2.2 – Aplicação da Rotina Arc Routing..... | 97 |
| 9.2.3 – Problemas Observados..... | 120 |
| 10 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 122 |
| 10.1 – Caracterização dos Sistemas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em Cidades de Pequeno Porte..... | 122 |
| 10.2 – Aplicação do SIG para o Caso da Cidade de Ilha Solteira..... | 123 |
| 11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 125 |
| ANEXO A – Questionário Sobre Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares..... | 131 |
| ANEXO B – Relatório de Itinerário e Relatório de Entrada e Saída de Dados Relativo à Simulação para o Setor 1 na Segunda-feira..... | 134 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Resíduos sólidos e suas vias de contaminação..... | 16 |
| Figura 2 – Diagrama das vias de acesso de agentes patogênicos para o homem através do lixo disposto inadequadamente..... | 17 |
| Figura 3 – Fluxograma do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares..... | 31 |
| Figura 4 – Porcentagem de municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de domicílios com lixo coletado, segundo as regiões brasileiras..... | 35 |
| Figura 5 – Postos de entrega voluntária (PEVs)..... | 42 |
| Figura 6 – Vista de uma usina de triagem e compostagem..... | 46 |
| Figura 7 – Disposição final do lixo coletado em todo País..... | 54 |
| Figura 8 – Representação de uma rede viária e seu grafo..... | 60 |
| Figura 9 – Grafo ou rede orientada..... | 60 |
| Figura 10 – Grafo ou rede não orientada..... | 61 |
| Figura 11 – Grafo ou rede mista..... | 61 |
| Figura 12 – Grafo conexo..... | 62 |
| Figura 13 – Uma possível solução para se evitar curvas à esquerda..... | 63 |
| Figura 14 – Elementos de um SIG..... | 71 |
| Figura 15 – Localização geográfica da cidade de Ilha Solteira..... | 77 |
| Figura 16 – Rede viária da cidade de Ilha Solteira/SP..... | 82 |
| Figura 17 – Formulário de pesquisa sobre coleta de resíduos sólidos domiciliares..... | 85 |
| Figura 18 – Base de dados da camada de linhas..... | 88 |
| Figura 19 – Localização dos setores de coleta de resíduos sólidos domiciliares na cidade de Ilha Solteira/SP..... | 96 |
| Figura 20 – Representação gráfica da coleta no Setor 1 para segunda-feira..... | 97 |
| Figura 21 – Representação gráfica da coleta no Setor 2 para segunda-feira..... | 98 |

| | |
|--|-----|
| Figura 22 – Representação gráfica da coleta no Setor 3 para segunda-feira..... | 98 |
| Figura 23 – Representação gráfica da coleta no Setor 3 com a inclusão do Recanto da Águas (terça-feira)..... | 99 |
| Figura 24 – Representação gráfica da coleta em toda a cidade para segunda-feira..... | 100 |
| Figura 25 – Representação gráfica da coleta em toda a cidade com a inclusão do Recanto da Águas (terça-feira)..... | 100 |
| Figura 26 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 1, determinados pelos diferentes métodos de solução..... | 114 |
| Figura 27 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 1, determinados pelos diferentes métodos de solução..... | 114 |
| Figura 28 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 2, determinados pelos diferentes métodos de solução..... | 115 |
| Figura 29 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 2, determinados pelos diferentes métodos de solução..... | 116 |
| Figura 30 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 3, determinados pelos diferentes métodos de solução..... | 116 |
| Figura 31 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta no setor 3, determinados pelos diferentes métodos de solução..... | 117 |
| Figura 32 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo considerando toda a cidade e no valor total dos três setores..... | 118 |
| Figura 33 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo considerando toda a cidade e no valor total dos três setores..... | 118 |
| Figura 34 – Representação da escolha do sentido em que a rede viária deveria ser percorrida..... | 120 |
| Figura 35 – Aplicação da rotina após alguns ajustes..... | 121 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis do lixo municipal... | 10 |
| Quadro 2 – Classificação ambiental das doenças relacionadas com o lixo..... | 17 |
| Quadro 3 – Doenças relacionadas com o lixo e transmitidas por vetores..... | 18 |
| Quadro 4 – Tipos de serviços de limpeza urbana..... | 24 |
| Quadro 5 – Classificação dos municípios brasileiros..... | 74 |
| Quadro 6 – Campos a serem preenchidos na base de dados do arquivo geográfico de pontos..... | 86 |
| Quadro 7 – Campo a ser preenchido na base de dados do arquivo geográfico de linhas..... | 86 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Composição percentual média do lixo domiciliar em municípios brasileiros..... | 11 |
| Tabela 2 – Municípios, total e com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por natureza dos serviços, segundo as regiões brasileiras..... | 24 |
| Tabela 3 – Total de municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de domicílios com lixo coletado, segundo as regiões brasileiras..... | 34 |
| Tabela 4 – Quantidade diária de lixo coletado por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as regiões brasileiras..... | 53 |
| Tabela 5 – Distribuição da população pelas cidades brasileiras..... | 75 |
| Tabela 6 – Quantidade de questionários enviados por estado..... | 76 |
| Tabela 7 – Demonstrativo da produção diária de resíduo sólido domiciliar na cidade de Ilha Solteira/SP..... | 77 |
| Tabela 8 – Porcentagem de questionários retornados..... | 90 |
| Tabela 9 – Aspectos gerais dos sistemas de coleta domiciliar nos municípios de pequeno porte..... | 91 |
| Tabela 10 – Aspectos técnicos dos sistemas de coleta domiciliar nos municípios de pequeno porte..... | 93 |
| Tabela 11 – Aspectos social e sanitário dos sistemas de coleta domiciliar nos municípios de pequeno porte..... | 94 |
| Tabela 12 – Análise comparativa de custos de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares em municípios de pequeno porte..... | 95 |
| Tabela 13 – Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 1, determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo..... | 103 |
| Tabela 14 – Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 2, determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo..... | 104 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 15 – Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 3, determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo..... | 105 |
| Tabela 16 – Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 1, obtidos a partir dos resultados da rotina Arc Routing..... | 107 |
| Tabela 17 – Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 2, obtidos a partir dos resultados da rotina Arc Routing..... | 108 |
| Tabela 18 – Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 3, obtidos a partir dos resultados da rotina Arc Routing..... | 109 |
| Tabela 19 – Parâmetros operacionais de coleta considerando toda a cidade, obtidos a partir dos resultados da rotina Arc Routing..... | 110 |
| Tabela 20 – Demonstra a variação percentual entre os métodos de solução analisados..... | 113 |

RESUMO

LACERDA, M.G. Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em Uma Cidade de Pequeno Porte. 2003, 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Relata-se neste trabalho, a análise do uso de um Sistema de Informação Geográfica – SIG como ferramenta para roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. O software utilizado foi o TransCAD, versão 3.2, que é um SIG específico para profissionais de transportes, permitindo desenvolver rotas utilizando-se algoritmos que incluem um procedimento de roteirização em arco (*Rotina Arc Routing*). O objetivo dessa rotina é minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores. O estudo de caso foi realizado na cidade de Ilha Solteira – SP, localizada na região noroeste do estado. A cidade possui uma população de aproximadamente 24.000 habitantes, sendo considerada uma cidade de pequeno porte. O serviço de coleta de lixo domiciliar na cidade de Ilha Solteira é executado pelo Poder Público Municipal, sendo realizado por uma frota de três veículos que trabalham de segunda-feira a sábado cobrindo toda a cidade. Os resultados obtidos pelo TransCAD e os dados fornecidos pelo Setor de Obras e Serviços da Prefeitura Municipal foram processados no software Microsoft EXCEL, for Windows versão 2000, para a obtenção dos parâmetros operacionais. Os resultados obtidos com a rotina demonstraram reduções percentuais de até 41%, em termos de distância total percorrida, e, de 68% no tempo total de percurso, em relação ao serviço atual. Com relação às características dos sistemas de coleta dos municípios brasileiros de pequeno porte, observou-se que esses municípios não apresentam recursos humanos e materiais para lidarem com a problemática dos resíduos sólidos.

Palavras-chave: resíduos sólidos; coleta domiciliar; roteirização de veículos; SIG.

ABSTRACT

LACERDA, M.G. Analysis of Use of GIS of the System of Collection of Domestic Solid Waste in A City of Little Postage. 2003, 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

The use of Geographical Information System - GIS as tool for the routing of the collecting vehicles of domestic solid waste was analyzed. The software TransCAD, version 3.2, was used. This GIS serves to develop routes by algorithm that includes a procedure of arc routing (Routine Arc Routing). The objective of this routine is minimizing the total distance travelled by the collection vehicles. The case study it was carried in the city of Ilha Solteira/SP, Brazil, located in region the northwest of the state. The city has a population of approximately 24,000 inhabitants, being considered a city of little postage. The domestic solid waste collection in the city is execute of the municipal public power municipal, being carried for a fleet of three vehicles that work of monday the saturday, covering all the city. The results obtained by TransCAD and the data provided by the Sector of Works and Service of the City Hall Municipal, had been processed in software Microsoft EXCEL, for Windows 2000, for the obtaining of operational parameters. The results obtained with the routine showed reduce percentual of the until 41% in the distance total e, of the 68% in the time total, in comparison service current. Concerning the characteristics from the systems of collection from the counties Brazilians of little postage was observed that those counties no present resources human and material to get with the problematic from the solid waste.

Keywords: solid waste; domestic collection; vehicle routing; GIS.

1 - INTRODUÇÃO

Independente do tamanho do município, o poder público municipal busca incentivar o desenvolvimento econômico local, aumentando a produção agrícola, atraindo indústrias e expandindo as atividades voltadas ao comércio e à prestação de serviços, quase sempre sem levar em conta que a contrapartida do crescimento econômico é o aumento da produção de lixo. Essa situação está causando uma crescente degradação na vida da população, e esta degradação já vem causando sérios problemas políticos.

Os problemas são bem diferentes de município para município. Porém, pode-se garantir que frente aos recursos humanos e materiais de cada administração, as suas dificuldades serão sempre grandes. De maneira diferente, os problemas do lixo vêm incomodando hoje as diversas cidades brasileiras e, desta forma, afligindo mais fortemente alguns administradores do que outros. Isto, porém, não significa que os problemas sejam menores ou mais fáceis nos locais onde parecem que incomodam menos. Problemas atualmente invisíveis podem, em pouco tempo, causar grandes dificuldades para a coletividade (IPT e CEMPRE, 1995).

Os problemas ligados aos recursos básicos para manter uma cidade em funcionamento têm aumentado devido ao rápido crescimento populacional e a forma de ocupação do solo (processo de urbanização) que ocorreu nas últimas décadas. Enquanto a forma de ocupação territorial dificulta o acesso da população aos serviços de coleta de lixo e modifica o custo de transporte dos resíduos coletados, o crescimento populacional aumenta a quantidade de lixo produzida, significando maior custo para a manutenção dos serviços. Somando-se a isso, existe a forma desorganizada como as prefeituras têm conduzido esses serviços. Segundo Aguiar (1993), no caso da coleta, o setor privado tem se beneficiado, em função dessa desorganização das prefeituras, assumindo os serviços de limpeza pública de um número de municípios cada vez maior.

Para Deluqui (1998), a preocupação dos poderes públicos se faz crescente na tentativa de encontrar a melhor solução, pois representa hoje o equilíbrio de uma administração voltada para a saúde pública e a restauração do meio ambiente, que são pontos incontestáveis para o desenvolvimento urbano.

A coleta de resíduos é uma das atividades mais importantes a serem desenvolvidas dentro de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. A sua importância é decorrente de elevados custos operacionais (equipamento e pessoal envolvidos).

Do ponto de vista sanitário e ambiental, é importante garantir um atendimento adequado com o serviço de coleta regular, pois dessa forma, minimizam-se os efeitos negativos de um serviço deficiente, que se traduz no acúmulo indesejável de resíduos nas vias públicas, no lançamento de resíduos em lotes vagos e cursos d'água, e na queima de resíduos em fundos de quintal. Por outro lado, economias com os serviços de varrição e com a remoção periódica de lixo lançado em locais inadequados podem ser significativas quando a prestação dos serviços de coleta é feita com frequência apropriada.

A operação de coleta, especificamente, absorve uma considerável fatia dos recursos municipais destinados à limpeza urbana. Desta forma, torna-se importante um serviço bem planejado. O presente projeto de mestrado visa analisar o uso de SIG (Sistema de Informação Geográfica) na coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte.

A existência de uma representação da rede de trabalho de uma cidade através de um SIG pode conferir representatividade e fidelidade às condições reais em que os deslocamentos do veículo coletor ocorrem. A utilização de SIG é determinante para este tipo de estudo, uma vez que permite identificar quais são as características da cidade e da operação que mais contribuem para o acréscimo ou decréscimo nos custos totais.

2 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O lixo é um dos problemas sociais mais graves que as cidades enfrentam e é, também, fator determinante para um meio ambiente saudável. O lixo ameaça a vida no planeta Terra porque, além de poluir o solo, a água e o ar, também atrai animais que veiculam doenças. Daí pode-se perceber a importância que tem a limpeza urbana para a humanidade.

A limpeza urbana é uma ação normalmente realizada pela administração pública (seja pela atuação direta ou pelo gerenciamento de serviços terceirizados). O setor de limpeza pública tem sido muitas vezes negligenciado (com limites nos investimentos); muitas vezes afetado por injunções políticas, ou ainda, os modelos administrativos/organizacionais adotados tornaram-se inadequados em função do crescimento desordenado das cidades e de seus problemas (ambientais, econômicos e sociais).

As cidades de pequeno porte (até 50.000 habitantes) correspondem à grande maioria dos municípios brasileiros e se caracterizam por planejarem e operarem seus sistemas de limpeza pública, usualmente com soluções locais. No entanto, essas soluções acabam sendo dificultadas por problemas, tais como limitação financeira (orçamentos inadequados e arrecadação insuficiente), falta de capacitação técnica e profissional do pessoal envolvido no sistema, descontinuidade política e administrativa, e principalmente, falta de controle ambiental. Em muitas situações, a limitação financeira faz com que haja uma redução na coleta de lixo, devido aos custos operacionais.

O custo de coleta dos resíduos é a parte mais alta do gasto no gerenciamento de resíduos sólidos e, assim, a otimização no serviço de coleta dos resíduos pode gerar grande economia. Uma solução seria buscar uma alternativa que associe dados operacionais à tecnologia disponível. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) oferecem a funcionalidade e as ferramentas para desempenharem essa função.

3 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar o uso de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) na coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte.

De uma forma geral, levantaram-se informações a respeito de sistemas de coleta de resíduos sólidos domiciliares existentes em cidades brasileiras de pequeno porte, caracterizando desde o planejamento à execução dos serviços.

A intenção da elaboração deste trabalho é permitir às autoridades municipais um melhor entendimento da problemática dos resíduos sólidos, oferecendo elementos e orientações para as suas decisões, ajudando desse modo a diminuir os custos de operação.

4 - RESÍDUOS SÓLIDOS

O termo resíduo sólido também é comumente denominado *lixo*. Segundo filósofos, a palavra *lixo* é derivada de *lix*, que em latim medieval é derivada do verbo *lixare*, cujo significado é poluir ou desbastar. Em qualquer dos casos, tanto a lixívia quanto o produto do desbaste podem ser entendidos como parte de um todo maior, o resto de uma ação sobre um objeto original.

Os resíduos sólidos são restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente) (IPT e CEMPRE, 1995).

Segundo Schneider et al. (2000) resíduo ou lixo é comumente definido como tudo aquilo que não tem mais utilidade e que se joga fora. O sentimento que o homem tem em relação ao lixo é algo do qual queremos nos desfazer rapidamente e, que deve ser lançado o mais longe possível da nossa visão e olfato. Devido a esta visão é necessário que se contextualize o lixo enquanto fator cultural, que é visto como algo desagradável, marginal e sujo, buscando uma nova imagem, onde o lixo é considerado como matéria desorganizada e disposta no momento e local impróprios.

A ABNT (1987), pela NBR 10004, define resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos como o que resultam das atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia possível.

4.1 - Classificação dos Resíduos Sólidos

Segundo Deluqui (1998) os resíduos sólidos podem ser classificados de várias formas, tais como o local de produção, a natureza física dos resíduos (seco ou molhado), a composição química (matéria orgânica e inorgânica) e o grau de biodegradabilidade (facilmente, moderadamente e não biodegradáveis).

IPT e CEMPRE (1995) classificaram os resíduos sólidos segundo sua origem, da seguinte forma: lixo domiciliar; lixo comercial; lixo público de varrição e feiras livres; lixo de serviços de saúde e hospitalares; lixo de portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários; lixo industrial; lixo agrícola e entulho.

- **Lixo Domiciliar**

É aquele originado da vida diária das residências, sendo constituído por restos de alimentos (como cascas de frutas e verduras), produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens, papel higiênico, fraldas descartáveis e, por outros itens.

- **Lixo Comercial**

É aquele originado de estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, bancos, lojas, bares e restaurantes.

O lixo comercial é composto por papel, plástico, embalagens e resíduos de asseio dos funcionários, tais como papel toalha e papel higiênico.

- **Lixo Público**

É aquele originado dos serviços de limpeza pública urbana (incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos e de terrenos e restos de podas de árvores) e de limpeza de áreas de feiras livres (constituído por embalagens e restos vegetais).

- **Lixo de Serviços de Saúde e Hospitalar**

Este tipo de lixo é constituído por resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contém ou potencialmente podem conter germes patogênicos. É aquele lixo produzido em serviços de saúde, tais como hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias e postos de saúde. O lixo desses serviços contém elementos do tipo: agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazos de validade vencidos, instrumentos de resina sintética e filmes fotográficos de raios X.

Os resíduos assépticos produzidos nesses locais são constituídos por papéis, restos da preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais (pó e cinzas), e outros materiais que não entram em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos. Estes resíduos assépticos são considerados como lixo domiciliar.

- **Lixo de Portos, Aeroportos, Terminais Rodoviários e Ferroviários**

Este tipo de lixo é constituído por resíduos sépticos gerados em portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários. Basicamente, esses resíduos originam-se de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação que podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados ou países.

Os resíduos assépticos destes locais também são considerados como lixo domiciliar.

- **Lixo Industrial**

É aquele originado pelas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalurgia, química, petroquímica, papelaria e alimentícia.

O lixo industrial é composto por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo tóxico.

- **Lixo Agrícola**

É o resíduo sólido proveniente das atividades agrícola e pecuária, constituído por embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita e outros.

Em várias regiões do mundo, este tipo de resíduo é preocupante pela grande quantidade de esterco animal gerado nas fazendas de pecuária intensiva. As embalagens de agroquímicos, que são geralmente tóxicas, têm sido alvo de legislação específica, que define os cuidados na destinação final e, por vezes, torna responsável a própria indústria fabricante destes produtos.

- **Entulho**

É constituído por resíduos da construção civil, tais como, demolições, restos de obras e solos de escavações. O entulho é geralmente um material inerte e passível de reaproveitamento.

Ainda pode-se citar alguns tipos de lixo que não despertam cuidados e podem causar grandes danos ao ambiente, principalmente por conter elementos químicos na forma iônica que são absorvidos e acumulados pelo organismo, tais como:

- **Cosméticos e maquiagem**

Este tipo de lixo contém alumínio e seu acúmulo no organismo pode causar a Síndrome de Alzheimer.

- **Lâmpadas**

A lâmpada fluorescente possui mercúrio, que é um metal pesado e tóxico, podendo contaminar o solo e as águas.

- **Pilhas e Baterias**

O vazamento de pilhas e baterias lança no ambiente níquel e cádmio.

- **Pastilhas e Lonas de Freio**

Estas peças contêm cimento amianto que, sob a forma de material particulado, ao ser respirado, acumula-se nos pulmões.

- **Material de Eletrônica**

Os tubos de televisão contêm chumbo, que é um metal pesado que se acumula no organismo.

- **Fertilizante**

O fertilizante é levado pela água da chuva para rios e lençóis freáticos, poluindo as águas. Os fertilizantes são ricos em fósforo, que é um elemento limitante em ecossistemas. O fósforo constitui matéria-prima dos ácidos nucleicos essenciais aos microorganismos, consumidores vorazes de oxigênio. O excesso de fósforo pode causar um desequilíbrio dentro dos ecossistemas.

- **Radiação**

A radiação foi descoberta em 1896 por Francis Becquerel. Trata-se de um dos lixos mais perigosos, pois alguns elementos radioativos podem levar milhares de anos para perder o potencial de danos ao ambiente. A radiação destrói as células humanas, matando-as ou causando-lhes mutações. Este tipo de lixo é proveniente, principalmente, de usinas, máquinas de radioterapia e raio X.

4.2 - Composição dos Resíduos Sólidos

Existem vários fatores que influenciam na composição física do lixo municipal:

- número de habitantes do município;
- poder aquisitivo da população;
- condições climáticas;
- hábitos e costumes da população;
- nível educacional.

As migrações periódicas nas férias de verão e inverno, também são responsáveis pelas variações na quantidade e qualidade do lixo. Nestes períodos, com a paralisação das atividades escolares, ocorrem mudanças na rotina dos estabelecimentos comerciais e industriais, principalmente de cidades potencialmente turísticas, o que obriga as autoridades competentes a reforçarem o sistema de coleta.

A composição dos resíduos sólidos, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo, é um dos dados básicos para o devido equacionamento da coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos.

a) Composição Qualitativa

De acordo como o IPT e CEMPRE (2000) o lixo municipal apresenta componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis. O Quadro 1 ilustra essa composição para os referidos componentes.

Quadro 1 – Componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis do lixo municipal

| Componentes | Putrescível | Reciclável | Combustível |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Borracha | | X | X |
| Couro | X | | X |
| Madeira | X | X | X |
| Matéria Orgânica | X | X | |
| Metais Ferrosos | | X | |
| Metais Não-ferrosos | | X | |
| Papel | X | X | X |
| Papelão | X | X | X |
| Plástico Duro | | X | X |
| Plástico-filme | | X | X |
| Trapos | | X | X |
| Vidro | | X | |

Fonte: IPT e CEMPRE (2000)

b) Composição Quantitativa

A composição quantitativa do lixo municipal varia de um lugar para outro, inclusive entre os diversos bairros de uma mesma cidade. A Tabela 1 ilustra as composições dos resíduos sólidos domiciliares em nível nacional.

Tabela 1 – Composição percentual média do lixo domiciliar em municípios brasileiros

| Cidade | Componente (%) | | | | |
|------------------|----------------|----------|-------|-------|--------|
| | Papel | Plástico | Metal | Vidro | Outros |
| São Paulo | 18,8 | 22,9 | 3,0 | 1,5 | 53,8 |
| Rio de Janeiro | 22,2 | 16,8 | 2,8 | 3,7 | 54,6 |
| Curitiba | 8,6 | 12,4 | 3,2 | 1,3 | 74,6 |
| Fortaleza | 22,6 | 8,2 | 7,3 | 3,3 | 58,6 |
| Salvador | 16,2 | 17,1 | 3,7 | 2,9 | 60,2 |
| Porto Alegre | 22,1 | 9,0 | 4,7 | 9,2 | 55,0 |
| Belo Horizonte | 10,1 | 11,7 | 2,6 | 2,5 | 73,0 |
| Distrito Federal | 26,2 | 2,4 | 3,2 | 2,8 | 65,4 |
| Vitória | 19,1 | 11,8 | 3,3 | 2,7 | 63,1 |

Fonte: IPT e CEMPRE (2000)

A quantidade de resíduos sólidos gerados tem importância fundamental para os aspectos que envolvem o seu gerenciamento. A geração e a coleta constituem a condição básica para a determinação dos diversos programas de minimização dos resíduos, além de fornecer subsídios para o dimensionamento da frota e definição dos roteiros de coleta e, também, para as unidades de disposição final.

4.3 - Geração dos Resíduos Sólidos

A urbanização acelerada e o rápido adensamento das cidades resultam na utilização predatória de recursos naturais e na degradação do meio ambiente. Um dos maiores problemas para se atender a esta demanda crescente de bens de consumo é a produção cada vez mais volumosa de lixo nos centros urbanos. A tendência deste problema é agravar-se com a elevação da população e, principalmente, com o estímulo dado ao consumo.

Segundo Schneider *et al.* (2000) os resíduos sólidos apresentam caráter antropogênico, pois são gerados pelo homem em suas atividades diárias em sociedade. Além disto, apresentam caráter inesgotável, uma vez que é também sem limite a capacidade do ser humano de crescer numericamente ou em conhecimentos e inventividade, gerando a cada dia novos produtos, promovendo sempre novas transformações nas matérias-primas e gerando cada vez mais necessidades de conforto e bem estar e, conseqüentemente, maior quantidade de resíduos.

Assim, como estão mudando as características gerais do cidadão brasileiro, tornando-se cada vez mais urbano, o perfil do lixo produzido por ele também está mudando. O ritmo de vida que a população está mantendo, também contribui para o aumento do volume de lixo produzido. Segundo a ABRELPE (*apud* ALAIMO, 2000) a condição de vida do brasileiro, que de forma geral, melhorou após a implantação do Plano Real devido ao seu maior poder de compra, estimulou um gradual aumento na produção do lixo. Em países desenvolvidos, onde o poder aquisitivo e o padrão de vida são elevados e a competição social é cada vez mais acirrada, o volume de lixo gerado é proporcionalmente maior.

O cidadão, de uma forma geral, é obrigado a consumir determinados produtos que antigamente não existiam. A mudança de hábito gera novos tipos de resíduos desde o nascimento de uma criança até sua fase adulta. Após a década de 60, as fraldas descartáveis foram substituindo as fraldas de pano, que depois de utilizadas, eram devidamente lavadas para posteriormente serem reutilizadas. Os bebês, ainda pelo fato das mães serem mais presentes, alimentavam-se por um longo período do leite materno. No momento da mudança da alimentação, as sopas eram feitas em casa e o leite era armazenado em garrafas reutilizáveis de vidro. O uso cada vez maior de materiais descartáveis aumentou o problema do volume de lixo produzido. A praticidade, o ritmo da vida moderna e as alternativas que visam facilitar de modo geral o cotidiano das pessoas só agravam esse problema.

No Brasil, a geração de resíduos sólidos urbanos tem sido crescente ao longo dos últimos anos. Ainda, a geração de resíduos é agravada pela falta de conscientização dos indivíduos, pelo déficit de cobertura dos serviços de coleta e pela baixa qualidade dos serviços oferecidos à população. Isto reflete a precariedade das políticas de gestão neste setor (SEPURB *apud* MACHADO e PRATA FILHO, 1999).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada pelo IBGE em 2000, os brasileiros produzem todos os dias 228.413 toneladas de lixo (IBGE, 2000c). A coleta do lixo já é feita em praticamente todos os municípios do País, ou seja, 99,4%. A PNSB mostra que não é correto creditar a sujeira nacional exclusivamente ao governo ou às empresas de saneamento e limpeza. Nos municípios com população entre 500 mil e um milhão de habitantes, o percentual de lixo público (jogado nas ruas) é de 25%. Isto demonstra a falta de educação da população, que joga vasos sanitários, sofás e outros objetos do tipo, nas vias públicas.

4.4 - A Problemática dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são o irmão temporão – e mais pobre – da família do saneamento: raramente são considerados com a importância que têm, ainda que se perceba uma mudança nesta percepção. Para Barros (1999) diante das inúmeras demandas pelos poucos recursos – mais uma vez, em geral pessimamente administrados – opta-se pela solução mais prática para lidar com o lixo, que é a de jogá-lo em qualquer lugar.

A problemática dos resíduos sólidos se agrava em todo mundo como resultado de um sistema de consumo desenfreado, balizado unicamente por parâmetros econômicos. Nos países desenvolvidos e nas grandes cidades do Terceiro Mundo, o problema vem sendo enfrentado graças a uma combinação de fatores que não ocorre nas demais regiões (profissionalização dos serviços, melhoria da gestão municipal, indisponibilidade de áreas onde tratar e dispor o lixo, percepção dos impactos face à proximidade física) e que se traduz, em última análise, na pressão da opinião pública (BARROS, 1999).

De acordo com Rezende e Barros (2000) o que se observa no Brasil é um estágio ainda inicial de equacionamento desta problemática, na maior parte dos casos restritos a cidades de grande porte (capitais estaduais ou pólos regionais) ou a cidades cujos administradores, mais sensíveis ou mais sensatos, resolvem respaldar suas atividades.

Segundo Mandelli e Botomé (1999) os problemas relacionados com o processamento dos resíduos sólidos domésticos iniciam muito antes de sua coleta na via pública. Começam com a concepção, produção e o uso dos bens de consumo, com as características desses bens (grau de durabilidade, de consertabilidade e de reciclabilidade), com o comportamento da população urbana ao descartar esses bens após o seu uso e com as condições de manejo dos resíduos sólidos, no âmbito das residências e na via pública, no que diz respeito aos espaços para estocagem e às características dos dispositivos de acondicionamento.

Em geral esses problemas não são considerados, ou o são de forma parcial nos programas de manejo de resíduos sólidos domésticos nos municípios. Para Mandelli e Botomé (1999) devido à falta de planejamento desses programas, muitas vezes justificada pela escassez de recursos humanos, os administradores e técnicos dos municípios agem para “resolver problemas” somente quando esses resíduos são colocados na via pública. Também, outro problema que freqüentemente ocorre nas mudanças de administração pública está relacionado à não-continuidade dos programas já implantados e que apresentam resultados satisfatórios.

Problemas que são de economia, de marketing, de engenharia de materiais, de processos produtivos, de agências de publicidade e de pessoas no âmbito das residências, passam a ser no momento do descarte desses resíduos na via pública, de responsabilidade do poder público. A falta de interlocução entre os diferentes agentes responsáveis pelo ciclo dos resíduos sólidos (concepção, produção e uso dos bens de consumo, descarte dos resíduos sólidos, coleta, tratamento e destino final) contribui para a manutenção dos atuais problemas que decorrem do processamento dos resíduos sólidos domésticos.

Um problema, talvez ainda maior, é a definição do papel do poder público, uma vez que o mesmo está numa posição de “resolver problemas” localizados e não o de gerenciar o sistema como um todo. A quem compete a função de gerenciar todas as atividades relacionadas ao ciclo dos resíduos sólidos domésticos? A necessidade de identificar a natureza e os determinantes desses problemas parece ser importante para a implantação de programas de gerenciamento de resíduos sólidos nos municípios.

O acúmulo de lixo nas áreas urbanas constitui-se num dos maiores desafios enfrentados pela sociedade e pela administração pública. Trata-se de um sério problema de saúde pública, como demonstram os surtos epidêmicos de enfermidades relacionadas à ausência ou carência de saneamento básico e, ainda, um dos graves entraves ao desenvolvimento da atividade turística.

Levando em consideração a questão estética relacionada aos resíduos, percebe-se que a imagem do município é seriamente afetada, tornando-se um aspecto desfavorável à beleza do município.

São grandes os danos causados ao meio ambiente pelo acúmulo irregular de resíduos sólidos. Esses resíduos são capazes de causar impactos ao meio ambiente, tais como: degradação ambiental, deslizamentos, enchentes, proliferação de transmissores de enfermidades, poluição das águas superficiais e subterrâneas e, poluição do solo e ar. Daí pode-se perceber a importância que tem a limpeza urbana para a humanidade. Sem ela, o número de doenças cresceria e o cheiro seria insuportável, prejudicando a qualidade de vida da população.

Segundo Gebara (1985) o não tratamento ou tratamento inadequado dos resíduos sólidos terá implicações na contaminação de vias fluviais e da atmosfera, favorecendo a proliferação de doenças e desequilíbrios ecológicos. A Figura 1 ilustra este ciclo.

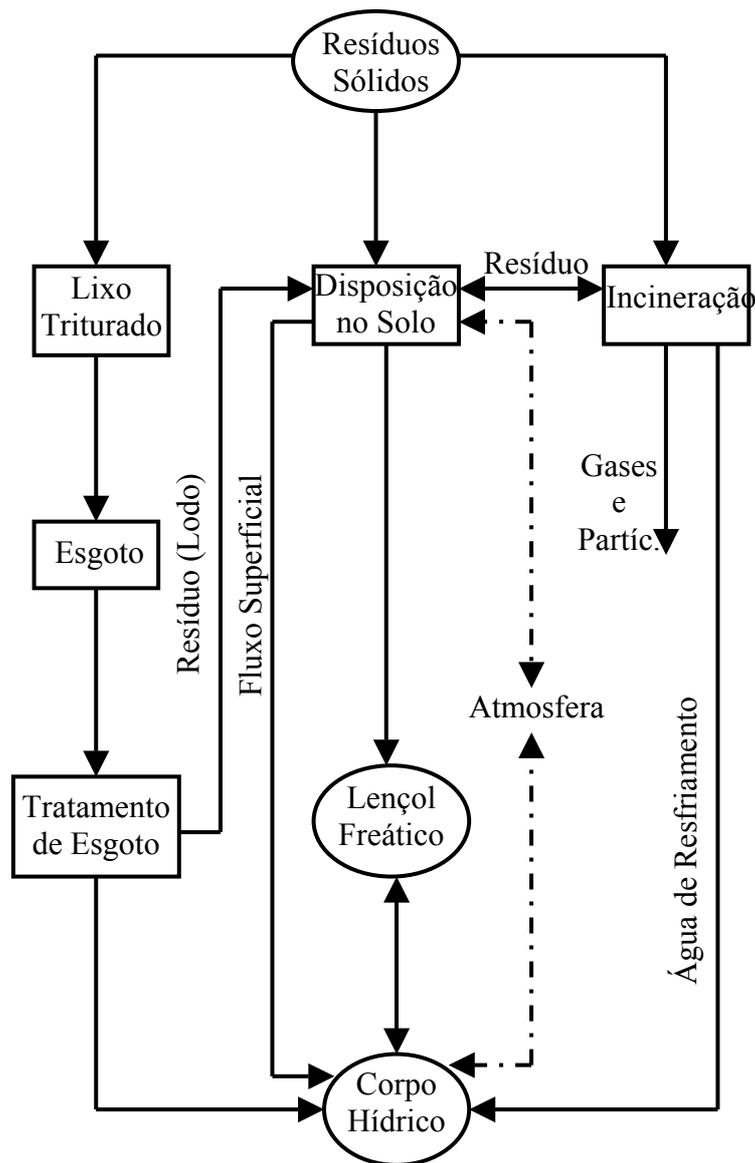


Figura 1 – Resíduos sólidos e suas vias de contaminação

Fonte: Gebara (1985)

Quanto aos aspectos epidemiológicos, dependendo da forma de disposição, muitas são as possibilidades de comprometimento do meio ambiente, que colocam em risco a vida do homem no meio urbano.

Forantini (1976) mostrou, segundo sua concepção, as principais vias de acesso dos efeitos da ação de agentes patogênicos oriundos do lixo em disposição inadequada. A Figura 2 ilustra esta concepção.

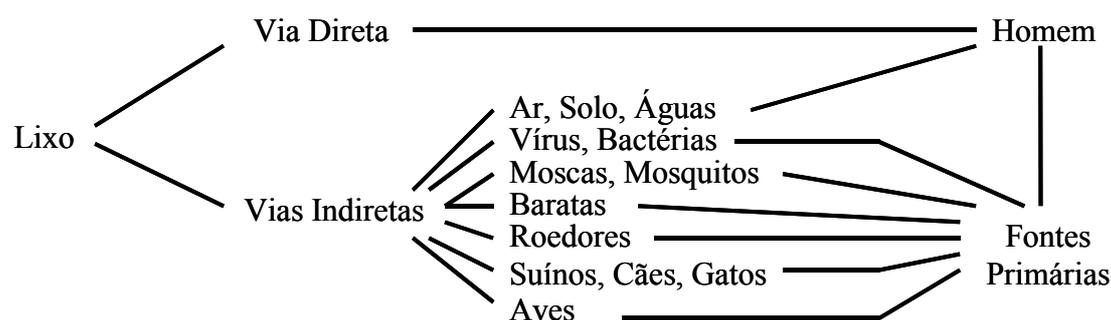


Figura 2 – Diagrama das vias de acesso de agentes patogênicos para o homem através do lixo disposto inadequadamente

Fonte: Forantini (1976)

Segundo Azevedo *et al.* (2000) apesar de reconhecida a importância dos resíduos sólidos urbanos na estrutura epidemiológica das comunidades, estando relacionados à incidência de várias doenças, poucos estudos têm sido realizados com o intuito de associar os efeitos do gerenciamento inadequado desses resíduos sobre a saúde pública. Em consequência, ações efetivas para a melhoria da gestão dos resíduos sólidos urbanos visando especificamente à melhoria da saúde pública das municipalidades têm sido relegadas ao plano secundário e desconsideradas pelas autoridades públicas.

Os Quadros 2 e 3 ilustram duas classificações existentes.

Quadro 2 – Classificação ambiental das doenças relacionadas com o lixo

| Categoria | Doenças | Controle |
|--|--|--|
| 1. Doenças relacionadas com insetos vetores | Infecções excretadas transmitidas por moscas ou baratas Filariose Tularemia | Melhoria do acondicionamento e da coleta do lixo Controle de insetos |
| 2. Doenças relacionadas com vetores roedores | Peste Leptospirose Demais doenças relacionadas com a moradia, a água e os excretas, e cuja transmissão ocorre por roedores | Melhoria do acondicionamento e da coleta do lixo Controle de roedores |

Fonte: Mara & Alabaster (*apud* AZEVEDO *et al.*, 2000)

Quadro 3 – Doenças relacionadas com o lixo e transmitidas por vetores

| Vetores | Formas de Transmissão | Principais Doenças |
|----------------|--|---|
| Ratos | - através da mordida - através da pulga que vive no corpo do rato | - peste bubônica - tifo murino - leptospirose |
| Moscas | - por via mecânica - através das fezes e saliva | - febre tifóide - salmonelose - cólera - amebíase - disenteria - giardíase |
| Mosquitos | - através da picada da fêmea | - malária - leishmaniose - febre amarela - dengue - filariose |
| Baratas | - por via mecânica (através das asas, patas e corpo) e pelas fezes | - febre tifóide - cólera - giardíase |
| Suínos | - pela ingestão de carne contaminada | - cisticercose - toxoplasmose - triquinelose - teníase |
| Aves | - através das fezes | - toxoplasmose |

Fonte: Heller & Möller (*apud AZEVEDO et al., 2000*)

Segundo Günther (1999) é essencial o conhecimento dos problemas ocasionados pelos resíduos sólidos, a busca de alternativas viáveis e a participação de toda a sociedade na implantação de soluções adequadas, que visem a promoção do desenvolvimento sustentável, a redução dos riscos sanitários e ambientais decorrentes, melhorando o nível de qualidade de vida e o estado de saúde das populações.

5 - LIMPEZA URBANA

A limpeza urbana é um serviço público essencial, formado por vários sistemas operacionais de competência local do município e que constitui um dos grandes e complexos problemas de saneamento básico das pequenas, médias e grandes cidades do País. De acordo com Borges (2002) em decorrência do produto gerado pela limpeza ser um material perecível, o lixo, torna-se importante a rapidez na prestação do serviço com garantia de abrangência, regularidade, eficiência, eficácia e efetividade. Acresce, ainda, que, dos serviços prestados pelo Poder Público à comunidade, é a limpeza urbana que tem um contato diário e permanente com toda a população. Qualquer deficiência na prestação do serviço gera, imediatamente, crítica à administração municipal, do mesmo modo que um serviço bem executado forma uma imagem bastante positiva da cidade e dos seus dirigentes e administradores públicos, garantindo melhor qualidade de vida para toda a população.

Segundo Aragão e Alencar (2000) a despeito de ser gerenciado e/ou operado por entidades públicas ou privadas, os serviços de limpeza urbana devem ser entendidos como qualquer outro serviço público a ser prestado à população, a exemplo dos serviços de transporte público de passageiros, com o qual guarda muitas similaridades. Ou seja, deve ser executado de forma eficiente, com melhor qualidade e menor custo.

A limpeza urbana é uma ação normalmente realizada pela administração pública (seja pela atuação direta ou pelo gerenciamento de serviços terceirizados). Este setor tem sido muitas vezes negligenciado (com limites nos investimentos) e afetado por injunções políticas, ou ainda, os modelos administrativos/organizacionais adotados tornaram-se inadequados em função do crescimento desordenado das cidades e de seus problemas (ambientais, econômicos e sociais).

Para Bianchini (1998) o setor de limpeza urbana passou por várias mudanças e se especializou, principalmente, depois de sua terceirização iniciada na cidade de São Paulo na década de 60. Antes, os serviços eram realizados pelas prefeituras, responsáveis até hoje pela administração da limpeza pública. Para reduzir os gastos, a capital paulista manteve a fiscalização sob seu controle e contratou empresas para a execução dos trabalhos.

Por causa dos resultados promissores na capital paulista, outros municípios seguiram o exemplo paulistano e a terceirização transformou-se em uma realidade que vem beneficiando os habitantes em todo o País. Assim, as empresas investem recursos para desenvolver novas tecnologias visando melhorar a qualidade do trabalho prestado. Esta meta também é atingida pela preocupação no treinamento de funcionários e aquisição de equipamentos modernos, que são investimentos com alto custo para o poder público, pois suas verbas já estão comprometidas com outros setores.

Segundo Ferreira (1999) na grande maioria das cidades brasileiras (e da América Latina) a limpeza urbana é operada de forma empírica. Os dados e parâmetros utilizados no dimensionamento das atividades operacionais são resultantes da experiência das pessoas e, em geral, não passaram por avaliações e análises sistemáticas. Além de ser um fator de personalização da operação, que passa a depender da concepção de cada chefe, encarregado ou gerente, isto dificulta o planejamento de ações globais para a melhoria da qualidade da limpeza urbana, bem como para a avaliação de resultados destas ações.

Para Machado e Prata Filho (1999) as responsabilidades na realização dos serviços de limpeza urbana precisam ser regulamentadas, definindo-se claramente aquelas relativas aos cidadãos, às organizações e ao governo municipal, de modo a alcançar melhorias da qualidade de vida e do ambiente urbano. Mudar o hábito e a cultura é obrigação das lideranças, mas é um trabalho a longo prazo e com resultados a serem vistos em longo prazo. Mesmo assim, a educação ambiental deve ser implementada no sentido de buscar esforços, provocar vontades e estimular desejos de viver num ambiente saudável.

Para Amynthas (2001) a estruturação/adequação da atividade de limpeza urbana, com vista à otimização de sua qualidade e eficiência, deve se basear nos seguintes pontos:

- *planejamento e gerenciamento*: com aplicação de parâmetros básicos de projeto, levantamento de subsídios para escolha da melhor forma de execução e administração dos serviços (direta ou terceirização) e escolha de processos de limpeza urbana, tratamento e destinação final do lixo;

- *atualização tecnológica*: com adequação e inovação de equipamentos e instalações, de modo a ampliar o atendimento às áreas excluídas ou mal atendidas na cidade e tratar os resíduos sólidos para obter o máximo reaproveitamento, através da reciclagem ou retornando-os ao meio ambiente após o tratamento;

- *capacitação e valorização dos trabalhadores da limpeza urbana*: possibilitando a eles o acesso ao conhecimento e às informações específicas da área, a fim de transformá-los em agentes de educação junto à população;

- *participação da sociedade*: com a implementação de um programa de comunicação e mobilização social de caráter educativo, sensibilizatório e organizativo, com o objetivo de estimular a participação efetiva da população na busca de soluções para os problemas decorrentes da geração de resíduos sólidos.

Segundo Pereira (2002) uma pesquisa realizada pela Fundação João Pinheiro de Belo Horizonte constatou ser comum, na maioria dos municípios brasileiros, uma situação deficiente quanto ao gerenciamento de serviços de limpeza urbana, causada por três fatores básicos, que são:

- escassez geral dos recursos dos municípios, o que acarreta, muitas vezes, prejuízos aos serviços de limpeza urbana em função da necessidade de aplicação dos saldos disponíveis em problemas mais críticos, de urgência ou inevitáveis;

- a falta de esclarecimento ou insensibilidade dos administradores municipais para com os problemas de limpeza urbana, suas conseqüências e inconveniências;

- o desconhecimento da população a respeito dos problemas decorrentes da presença do lixo e a falta de educação sanitária e ambiental, aliada à inexistência da indispensável colaboração por parte dos munícipes.

Amyntas (2001) resumiu assim a situação do serviço de limpeza urbana: “o primeiro erro é a falta de planejamento, pois se houvesse um, a execução seria iniciada e concluída. A justificativa da falta de recursos é sempre empregada pelo poder público para se esquivar diante dos problemas. Agora, não se justifica de forma alguma iniciar uma atividade que não possa ser concluída. Isso se chama de desperdício do dinheiro público. Infelizmente, essa é uma realidade em vários segmentos da área pública. O que está precisando é uma maior seriedade na aplicação de recursos. Falta gestão”.

Ao longo dos últimos anos, não se verificou avanço no setor de limpeza urbana tão significativo como em outros segmentos do saneamento, tais como a cobertura do abastecimento de água e da rede de coleta de esgoto. Mesmo considerando que nos últimos dez anos houve algum avanço importante nas atividades de limpeza urbana, estes serviços ainda estão organizados de forma bastante precária em muitos municípios brasileiros (MACHADO e PRATA FILHO, 1999).

Segundo Ferreira (1999) a baixa qualidade da limpeza nas cidades brasileiras (existem exceções) é decorrente de diversos fatores que podem ser, tanto de natureza interna à administração quanto de natureza externa.

Certamente, o principal fator de natureza externa é o lançamento indiscriminado de lixo nas ruas e logradouros públicos por uma população deseducada que, ainda não consegue assumir seu papel pleno no exercício da cidadania e para cuja evolução muito pouco tem sido feito pelas autoridades públicas. Outro importante fator externo é a perda da capacidade econômica do País como um todo, com um processo de desenvolvimento que tem produzido uma população cada vez maior de desempregados que, sem outra opção, acaba por instalar-se no território livre que são as ruas e logradouros públicos. Pessoas morando em locais públicos, exercendo ali alguma atividade (camelôs, ambulantes, flanelinhas) ou remexendo e procurando nos restos das cidades (catadores) uma forma de sobrevivência, aumentam a quantidade de lixo nas ruas e as dificuldades para sua limpeza.

Além disso, a situação econômica reduziu a possibilidade de investimentos do País e, por extensão, a dos municípios, diminuindo sua capacidade de atuação nos serviços públicos. Existem, ainda, outros fatores externos que interferem com maior ou menor significação na questão da limpeza (ou sujeira) das cidades. A introdução de descartáveis de forma mais intensa, a deterioração da pavimentação de vias e de calçadas e o aumento das áreas de favelas são alguns deles.

Entre os fatores internos estão: a posição relativamente secundária que as questões da limpeza urbana ocupam nas prioridades das administrações públicas, a ausência de investimentos para qualificação da mão-de-obra e o despreparo dos responsáveis pelo gerenciamento dos sistemas, muitas vezes escolhidos por critérios políticos, ou entre empregados antigos com experiência prática, uns e outros incapazes de operar a limpeza urbana como um sistema de engenharia.

A esses fatores, agrega-se um outro fator de extrema importância para a melhoria da qualidade ambiental das cidades que é a dicotomia entre o conceito de limpeza de quem administra os serviços e a percepção de limpeza da população. Alterar o horário da coleta para o período noturno pode significar uma melhoria acentuada na produtividade dos serviços na visão do administrador; mas pode também significar um aumento na percepção da presença do lixo pela população não acostumada à visão da exposição dos sacos ou containers no trajeto de volta do trabalho, nas caminhadas noturnas ou no gozo do lazer noturno.

O estabelecimento de um padrão de limpeza urbana para toda uma cidade é meta a ser perseguida (pelo menos deveria ser) por todo e qualquer administrador público que tenha a percepção do quanto a limpeza urbana (ou a sujeira urbana) interfere com a qualidade de vida da população e com o seu bem estar (FERREIRA, 1999).

Os serviços de limpeza urbana abrangem os serviços de limpeza propriamente dito e também os serviços de tratamento e disposição final do lixo. Em geral, esses serviços absorvem entre 7 e 15% dos recursos de um orçamento municipal (IPT e CEMPRE, 1995). O Quadro 4 mostra os tipos de serviços de limpeza urbana.

Quadro 4 – Tipos de serviços de limpeza urbana

| Serviços de Limpeza Urbana | |
|-----------------------------------|--|
| • | Acondicionamento |
| • | Coleta e Transporte do Lixo Domiciliar |
| • | Coleta e Transporte do Lixo dos Serviços de Saúde e Hospitalar |
| • | Outros Serviços de Limpeza: |
| - | Varrição |
| - | Capinação e roçagem |
| - | Limpeza de praias |
| - | Limpeza de feiras livres |
| - | Limpeza de bocas-de-lobo, galerias e córregos |
| - | Remoção de animais mortos |
| - | Pintura de guias |
| - | Coleta de resíduos volumosos e entulho |

Fonte: IPT e CEMPRE (1995)

A Tabela 2 ilustra os resultados da PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico), realizada em 2000, demonstrando a seguinte situação dos serviços de limpeza urbana no País:

Tabela 2 – Municípios, total e com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por natureza dos serviços, segundo as regiões brasileiras

| Regiões | Total de Municípios | Municípios com Limpeza Urbana e/ou Coleta de Lixo | | | | | | |
|--------------|---------------------|---|-----------------------|----------------|-----------------|------------|---------------------|-------------------------|
| | | Total | Natureza dos Serviços | | | | | |
| | | | Limpeza Urbana | Coleta de Lixo | Coleta Seletiva | Reciclagem | Remoção de Entulhos | Coleta de Lixo Especial |
| Norte | 449 | 445 | 442 | 445 | 1 | 2 | 334 | 192 |
| Nordeste | 1.787 | 1.769 | 1.769 | 1.767 | 27 | 23 | 1.512 | 1.049 |
| Sudeste | 1.666 | 1.666 | 1.666 | 1.666 | 140 | 115 | 1.468 | 1.283 |
| Sul | 1.159 | 1.149 | 1.138 | 1.147 | 274 | 193 | 963 | 757 |
| Centro-Oeste | 446 | 446 | 446 | 446 | 9 | 19 | 413 | 286 |
| Brasil | 5.507 | 5.475 | 5.461 | 5.471 | 451 | 352 | 4.690 | 3.567 |

Nota: Um mesmo município pode apresentar mais de um tipo de serviço

Fonte: IBGE (2000a)

6 - GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

6.1 – Características Gerais

Para Machado e Prata Filho (1999) a gestão de resíduos sólidos é entendida como o conjunto das estratégias de ação nos níveis técnico, político e administrativo para o gerenciamento dos resíduos, visando preservar a saúde pública, proteger e melhorar a qualidade do ambiente urbano.

De acordo com Leite *et al.* (1999) o termo gerenciamento de resíduos sólidos refere-se aos aspectos tecnológicos e operacionais da questão, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho (produtividade e qualidade). Este termo relaciona-se à prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final de resíduos sólidos.

Gerenciar o lixo de forma integrada é o conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, baseado em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor o lixo da cidade. Portanto, gerenciar significa limpar o município (com um sistema de coleta e transporte adequado) e tratar o lixo utilizando as tecnologias mais compatíveis com a realidade local, dando-lhe um destino final ambientalmente seguro, tanto no presente, como no futuro (IPT e CEMPRE, 1995).

Gerenciar resíduos sólidos urbanos significa ter consciência de que todas as ações e operações envolvidas no processo estão interligadas, influenciando umas as outras da seguinte forma:

- coleta mal planejada encarece o transporte;
- transporte mal dimensionado, além de gerar prejuízos, prejudica as formas de tratamento e de disposição final;
- tratamento mal dimensionado e vira alvo fácil de críticas.

Modelo de gestão de resíduos sólidos pode ser entendido como um conjunto de referências político-estratégicas, institucionais, legais e financeiras capaz de orientar a organização do setor. De uma forma geral, os modelos para gerenciamento de resíduos sólidos urbanos devem atender às seguintes exigências:

- coleta de todo o lixo gerado no município;
- destinação final adequada, a fim de evitar a degradação ambiental;
- busca de formas de tratamento para o lixo municipal. O objetivo principal é a redução do volume de lixo gerado, aumentando a vida útil dos aterros sanitários;
- implantação de programas educacionais voltados à conscientização pela limpeza da cidade. O cidadão deve saber sobre o seu papel como gerador de lixo;
- incentivar a participação da população em programas de coleta seletiva, com o intuito de recuperar materiais possíveis de reutilização.

Para Portugal Filho (1998) três princípios básicos devem ser seguidos para que o gerenciamento dos resíduos sólidos possa ser um dos fundamentos do desenvolvimento sustentável. Eles estão descritos abaixo:

- Redução: sempre que possível, deve-se reduzir a geração dos resíduos, por meio de procedimentos e hábitos aplicados no dia-a-dia. Nos domicílios, deve-se reduzir o consumo e evitar o uso de produtos descartáveis. No caso das indústrias, deve-se buscar constantemente tecnologias que reduzam as quantidades de resíduos gerados.
- Reutilização: obtém-se a reutilização maximizando a utilização, principalmente se os produtos forem descartáveis, como no caso das embalagens. Um exemplo é a reutilização das sacolas plásticas dos supermercados para acondicionamentos diversos, inclusive de lixo, evitando-se que outro saco de plástico seja incorporado ao lixo final das casas. No caso das indústrias, um exemplo é o aproveitamento dos pós-gerados no processo produtivo e captados por sistemas de controle de poluição atmosférica, fazendo-os voltar ao processo.

- Reciclagem: é a reutilização do resíduo para a fabricação de outro bem de consumo, ou até mesmo o próprio bem. Um exemplo é o papel usado e utilizado para fabricar papel novo. Outro exemplo é o pneu usado para fabricação de tapetes de borracha.

Segundo Trocoli e Moraes (2000), no que tange aos resíduos sólidos, o rumo tomado no Brasil nos últimos 25 anos permitem identificar três fases de gestão caracterizadas por objetivos distintos.

A primeira fase, que prevaleceu até o início da década de 70, priorizou a destinação final, tendo como consequência mais positiva a eliminação de lixões a céu aberto, passando a maior parte dos resíduos a ser encaminhada para aterros sanitários e incineradores. Em meados de 70, o papel da reciclagem aflorou de forma conjunta com a conscientização dos problemas ambientais que passava a ser admitida como uma necessidade de sobrevivência, inclusive formadora de um novo mercado de bens e serviços.

No início da década de 80, como a redução de resíduos continuou mera figura de discurso, a reciclagem e a recuperação passaram a ser as metas prioritárias do que se pode considerar como a segunda fase da política de gestão de resíduos sólidos. O final dos anos 80 tornou-se palco da consolidação de uma nova realidade de atividades sócio-ambientais, dentre elas estão as de readequação das práticas e técnicas de manejo, estabelecendo o enfoque ambiental da questão de resíduos sólidos.

Inaugurou-se uma terceira fase, onde reduzir e impedir a geração de resíduos passou a ser a palavra de ordem. No lugar da reciclagem propôs-se a reutilização e, a atenção passou a se concentrar na redução dos resíduos, desde o início do processo produtivo até o final e em todas as suas etapas, condenando os processos de fim de tubo. Alterando todo o processo de produção, vingaram as políticas de tecnologias limpas, de tecnologias de baixo desperdício e de tecnologias sem desperdício.

O setor de saneamento, ao qual o componente dos resíduos sólidos está formalmente ligado, resente-se de uma política nacional nos moldes da política pública, tornando-se alvo fácil da ganância pública e privada devido à fragilidade que se estabelece por falta de instrumentos normativos para o setor.

Por muitos anos, os problemas ambientais foram discutidos isoladamente, isto é, soluções para um só problema. Um exemplo é a disposição de resíduos sólidos que foi designada e implementada com pouca consideração aos efeitos potenciais sobre outras áreas do meio ambiente, tais como a contaminação do ar e da água. O planejamento de resíduos sólidos envolve situações com uma variedade de fatores, tais como: economia de custos, exigências legislativas, uso da terra e geração de poluição. Nas decisões sobre sistemas de resíduos sólidos, o intercâmbio entre estes fatores deve ser considerado, resultando em uma grande quantidade de dados, que devem ser organizados e analisados.

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos enfrenta uma variedade de problemas inter-relacionados, que dependem particularmente do tipo de lixo em questão e também da estratégia política adotada. Segundo Deluqui (1998) a preocupação dos poderes públicos se faz crescente na tentativa de encontrar a melhor solução, pois representa hoje o equilíbrio de uma administração voltada para a saúde pública e a restauração do meio ambiente, que são pontos incontestáveis para o desenvolvimento urbano.

Para Barros (1999) as atividades de planejamento são pouco profissionais, no sentido de não se terem elementos técnicos que balizem sua operação: tudo é feito para demandas muito específicas e localizadas, a partir de decisões pessoais do(s) encarregado(s) ou das autoridades locais, ainda, sem a consideração do conjunto e uma preocupação especial com a eficiência, como uma boa gestão exigiria.

Cada município se organiza de uma maneira particular para solucionar seus problemas com resíduos. Existem diferenças entre a legislação e os serviços prestados. Segundo Aguiar e Philippi Junior (1999) alguns municípios prestam também serviço gratuito de coleta de entulho de construção, enquanto outros deixam a responsabilidade operacional da destinação totalmente para o gerador. Alguns estabelecem limites de quantidade por gerador, de forma que os grandes geradores precisem contratar serviços particulares de remoção, admitindo-se a disposição nos aterros municipais quando os resíduos são compatíveis, ao passo que outros coletam qualquer quantidade de resíduos comerciais e institucionais.

De acordo com Leite *et al.* (2000) a gestão adequada dos resíduos sólidos no Brasil deve ser efetivada com a máxima urgência, definindo uma política para gestão e gerenciamento, que assegure a melhoria continuada do nível de qualidade de vida, promova práticas recomendadas para a saúde pública e proteja o meio ambiente contra as fontes poluidoras. A inexistência de uma política para o setor tem desencadeado ações públicas desarticuladas que, além de impedirem o equacionamento dos problemas, geram desperdícios significativos na aplicação de recursos públicos.

Ainda, segundo Leite *et al.* (2000), se comparar a eficácia dos serviços de coleta, transporte, recuperação, qualidade de tratamento e destinação final existentes no Brasil com a de outros países que se adiantaram no enfrentamento do problema, constatar-se-á que o Brasil está longe de ser um país moderno, vendo cada vez mais reduzidas as possibilidades de uma maior inserção no mercado internacional, que gradativamente restringe o comércio de produtos, que não são gerados através de tecnologias limpas.

Na maioria dos municípios brasileiros, o circuito dos resíduos sólidos apresenta características muito semelhantes da geração à disposição final, envolvendo apenas as atividades de coleta regular, transporte e descarga final, em locais quase sempre selecionados pela disponibilidade de áreas e pela distância, em relação ao centro urbano e às vias de acesso, ocorrendo em muitos casos, a céu aberto. Em raras situações, este circuito inclui procedimentos diferenciados, tais como: coleta seletiva, processos de compostagem e tratamento térmico. Mesmo assim, freqüentemente esses processos são mal planejados, o que dificulta a operação e torna-os inviáveis em curtíssimo prazo.

Cada município deve buscar o seu próprio modelo de gerenciamento, sabendo que a quantidade e a qualidade de lixo gerado por ele são, principalmente, funções de sua população, economia e grau de urbanização. Uma vez estipulada as metas a curto, médio e longo prazos, de acordo com a situação do município, uma série de ações deve ser planejada com o intuito de atingir tais metas. Estas ações devem ser executadas de maneira integrada.

A execução das ações planejadas de forma racional e integrada leva a um gerenciamento adequado de lixo. Isto representa boa aceitação da administração municipal por parte da população, assegura saúde e bem-estar e significa economia de recursos públicos. Além disso, o gerenciamento adequado do lixo vem ao encontro de um desejo maior que é a melhoria da qualidade de vida da geração atual e das futuras, e, também, a conservação do meio ambiente.

A solução dos problemas urbanos deverá contar com a participação da sociedade, de forma que a administração das cidades não se realize com um único interlocutor, no caso, o Estado. Por outro lado, é preciso que este continue a cumprir seu papel regulador e fiscalizador.

Segundo UNICEF (2000) toda a população do município precisa participar da questão do gerenciamento do lixo. Para isto, as prefeituras, com apoio das escolas, das empresas e de organizações não governamentais, precisam promover programas de educação ambiental para adultos e crianças.

Os adultos podem participar, principalmente, consumindo menos e com mais critérios e dando preferência aos produtos que tenham menor número de embalagens. Posteriormente, os adultos podem ainda separar papéis, vidros, plásticos e latas na sua própria casa, participando de programas de coleta seletiva e procurando apoiar associações e cooperativas de catadores. Assim, os adultos contribuirão para diminuir a poluição e aumentar a geração de renda dos catadores.

As crianças e os adolescentes têm um papel fundamental e precisam saber disso. Nas escolas, eles devem ser estimulados a participarem de projetos de coleta seletiva dentro das salas de aula. Com os colegas e professores, eles podem visitar o aterro de lixo da cidade para entenderem qual é o destino final daquilo que jogam fora, tanto em casa, quanto na escola. Eles podem ainda convidar catadores que participam de associações ou cooperativas para visitarem suas escolas e falarem de seus trabalhos.

Avaliando-se os critérios adotados nos sistemas modernos de gerenciamento de lixo urbano, pode-se concluir que a solução do problema passa por medidas que priorizem a minimização na geração e a reciclagem, bem como a participação da comunidade. E, esta última é considerada como força propulsora para o sucesso da implantação desses sistemas (PEREIRA NETO e LELIS, 1999).

6.2 – O Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares

Um sistema completo de gerenciamento de resíduos sólidos promove a limpeza pública, garante uma cidade saudável e por isso, bonita. A Figura 3 apresenta um fluxograma com as diversas etapas do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares, compreendendo as seguintes atividades: acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final do lixo domiciliar.

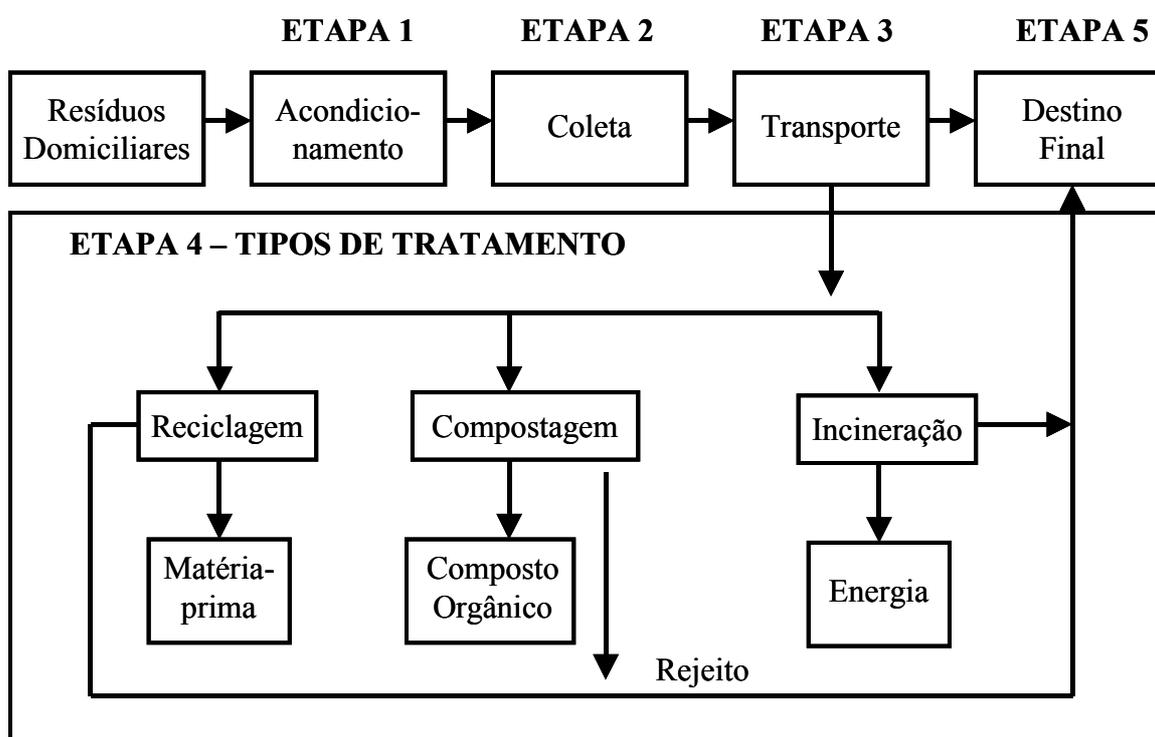


Figura 3 – Fluxograma do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares

Fonte: Ruberg e Philippi Junior (2000)

6.2.1 – Etapas do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares

a) Acondicionamento

A primeira etapa, descrita como acondicionamento, ocorre no próprio estabelecimento de geração do resíduo. O gerador do resíduo tem por responsabilidade acondicionar e armazenar seu lixo até o horário do recolhimento pelo veículo coletor.

Para o acondicionamento adequado do lixo, deve-se ter embalagens que apresentem bom desempenho, a fim de atender os requisitos de acondicionamento local e estático do lixo. Diversos recipientes podem ser encontrados para o acondicionamento dos resíduos. Um recipiente de armazenagem adequado deve apresentar as seguintes características: ser de fácil higienização, impedir o escoamento de líquidos, possuir tampa ou outro tipo de vedação e ser de fácil manipulação pelo funcionário coletor. Além dos sacos plásticos, os coletores plásticos basculantes também são indicados como adequados para acondicionar os resíduos.

Para o serviço de coleta domiciliar a utilização de sacos plásticos no acondicionamento dos resíduos apresenta algumas vantagens, tais como:

- requer menor esforço dos coletores;
- reduz o tempo de coleta;
- impede a absorção de água de chuva;
- diminui a poluição sonora.

b) Coleta e Transporte

A operação de coleta caracteriza-se pelo envolvimento dos cidadãos, que devem acondicionar o lixo adequadamente e apresenta-los em dias, locais e horários pré-estabelecidos. Este serviço consiste em remover os resíduos dos locais de onde foram acondicionados, englobando desde a partida do veículo da garagem e todo o percurso gasto na viagem. O término ocorre quando o resíduo é descartado nos locais de processamento ou disposição final. Para que o serviço de coleta de lixo ocorra de forma satisfatória, é necessária a implantação de um sistema eficiente que opere em toda a área urbana e também que seja regular, ou seja, os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmos locais, dias e horários.

O caminhão compactador é o mais indicado para o transporte dos resíduos coletados, pois permite o transporte de uma quantidade maior de resíduos e diminui o mau cheiro exalado pelo veículo coletor. Já o uso de carroças a tração animal, tratores ou caminhões abertos é desaconselhado para a coleta convencional, principalmente devido ao aspecto estético, aos transtornos no trânsito e à pequena capacidade de coleta.

De acordo com Canassa (1992), a operação de coleta visa recolher todos os resíduos sólidos gerados pela comunidade, de forma organizada, segura e econômica e, depositá-los em locais de tratamento ou em estações de transbordo, ou, ainda, encaminhá-los para a disposição final.

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

Segundo Briones (2000) o serviço de coleta de lixo envolve inúmeros componentes, dos quais o principal é o resíduo orgânico, que representa de 55% a 60% do lixo doméstico. Para ele, o Brasil é campeão mundial de jogar comida fora. Além do desperdício, esse resíduo orgânico quando misturado com os materiais recicláveis no lixo das residências, limita ou até mesmo inviabiliza a reciclagem daqueles materiais.

A significativa presença de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos resíduos sólidos domiciliares, determina a necessidade de transporte ágil e destinação final imediata. Este serviço impede o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo no lixo.

A coleta de lixo é mais deficiente nas áreas mais pobres das cidades, justamente aquelas que são vizinhas dos cursos d'água. E são exatamente estes rios que acabam se tornando local de despejo de lixo por parte desta parcela da população. Daí surgem problemas que afetam diretamente a saúde pública, tais como: assoreamento de rios e canais, poluição das águas, contaminação dos lençóis d'água e poluição atmosférica.

Para Deluqui (1998) a gravidade desses problemas é de ordem econômica e social, prejudicando a saúde pública e levando a maioria das prefeituras a considerar mais a questão da coleta dos resíduos sólidos.

A Tabela 3 ilustra os resultados da PNSB realizada em 2000, demonstrando a seguinte situação dos serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo no País:

Tabela 3 – Total de municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de domicílios com lixo coletado, segundo as regiões brasileiras

| Regiões | Municípios com Limpeza Urbana e/ou Coleta de Lixo | | | | | | | |
|--------------|---|--|------------|------------|------------|------------|---------|----------------------------|
| | Total | Percentual de Domicílios com Lixo Coletado (%) | | | | | | |
| | | Até 50 | De 50 a 70 | De 70 a 80 | De 80 a 90 | De 90 a 99 | Com 100 | Sem Declaração ou Não Sabe |
| Norte | 445 | 66 | 139 | 99 | 74 | 18 | 33 | 16 |
| (%) | 100 | 14,83 | 31,24 | 22,25 | 16,63 | 4,04 | 7,42 | 3,60 |
| Nordeste | 1.769 | 241 | 357 | 329 | 306 | 131 | 345 | 60 |
| (%) | 100 | 13,62 | 20,18 | 18,60 | 17,30 | 7,41 | 19,50 | 3,39 |
| Sudeste | 1.666 | 28 | 84 | 163 | 270 | 190 | 854 | 77 |
| (%) | 100 | 1,68 | 5,04 | 9,78 | 16,21 | 11,40 | 51,26 | 4,62 |
| Sul | 1.149 | 148 | 127 | 132 | 202 | 134 | 367 | 39 |
| (%) | 100 | 12,88 | 11,05 | 11,49 | 17,58 | 11,66 | 31,94 | 3,39 |
| Centro-Oeste | 446 | 6 | 21 | 48 | 102 | 52 | 215 | 2 |
| (%) | 100 | 1,35 | 4,71 | 10,76 | 22,87 | 11,66 | 48,21 | 0,45 |
| Brasil | 5.475 | 489 | 728 | 771 | 954 | 525 | 1.814 | 194 |
| (%) | 100 | 8,93 | 13,30 | 14,08 | 17,42 | 9,59 | 33,13 | 3,54 |

Fonte: IBGE (2000b)

Com base nos resultados gerais da Tabela 3, elaborou-se o histograma mostrado na Figura 4.

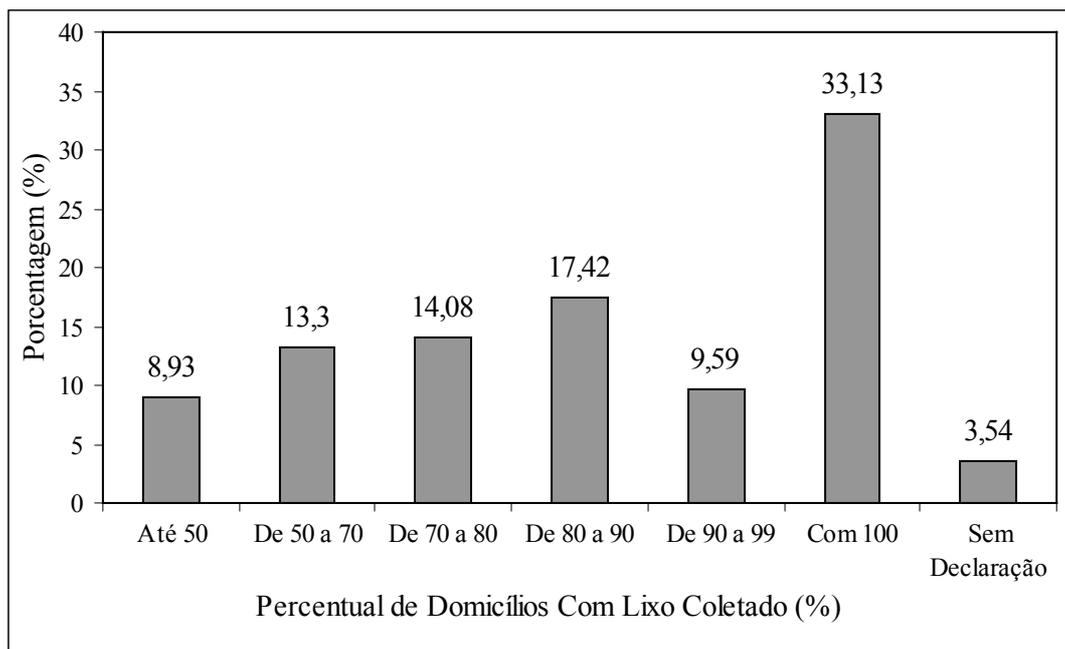


Figura 4 – Porcentagem de municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de domicílios com lixo coletado em todo País

Fonte: IBGE (2000b)

Para o planejamento do serviço de coleta e transporte, é importante também definir os custos. Estes podem ser divididos em diretos e indiretos. Segundo o IPT e CEMPRE (2000) os custos diretos abrangem: depreciação da frota, remuneração do capital, salário e gratificações de motoristas e ajudantes, cobertura de risco, combustível, lubrificação, pneus e licenciamento. Os custos indiretos são as despesas que não se relacionam diretamente com a produção/operação, como a contabilidade da empresa e a administração de pessoal.

A determinação dos custos de coleta é um aspecto importante que permite:

- o gerenciamento adequado dos recursos humanos e materiais;
- o planejamento dos serviços;
- a atualização da taxa de limpeza visando o custeio integral dos serviços de limpeza pública;
- a elaboração do orçamento anual municipal;
- a negociação em condições de igualdade com a prestadora de serviços contratada (informação é poder);
- o cálculo da taxa a ser cobrada do munícipe pela execução do serviço.

A coleta de resíduos sólidos é um dos serviços mais caros fornecidos pela cidade a suas residências. De acordo com IPT e CEMPRE (2000), dos recursos destinados aos serviços de limpeza urbana, cerca de 50% a 70 % são gastos na coleta e no transporte dos resíduos. Por esta razão, as operações de coleta e transporte são negócios significativos para a administração da cidade.

A coleta de resíduos domiciliares é um dos problemas operacionais mais difíceis, encarados pelo poder local. Para que o sistema de coleta e transporte funcione de maneira otimizada é necessário um fluxo permanente de informações que subsidiem seu planejamento e gerenciamento.

Segundo Azevedo e Lima Neto (1999), no Brasil, as dificuldades de manutenção de um sistema de coleta eficiente estão atreladas, em geral, às dificuldades financeiras, à falta de capacidade administrativa gerencial das prefeituras, assim como ao nível cultural das populações precariamente conscientizadas sobre a importância dos serviços de limpeza urbana.

Segundo Amyntas (2001) a administração municipal poderia firmar convênios com as associações de moradores no sentido de empregar mão-de-obra remunerada do próprio local. Os moradores fariam o serviço de coleta domiciliar, de limpeza das valas e encostas, limpeza de ralos e sarjetas, varrição de vias internas, remoção de entulhos e materiais sem uso, capinação e limpeza de córregos. Ficaria a cargo da Prefeitura, o transporte e a destinação final adequada dos resíduos, garantindo, também, mais saúde aos habitantes do local e, educando-os quanto à importância da limpeza e higiene ambiental. Outro ponto importante a ser considerado é o estímulo que a Prefeitura deve dar à formação de cooperativas de catadores de recicláveis, tirando da marginalidade segmentos significativos da população, melhorando o meio ambiente e reduzindo o volume de lixo da cidade e, conseqüentemente, os custos de coleta, gastando melhor os impostos arrecadados.

Korfmacher (1997) classifica quatro tipos de sistemas de coleta de resíduos sólidos domiciliares: coleta porta a porta, coleta comunitária, coleta por bloco e sem coleta.

Sistema de Coleta Porta a Porta

Diversos sistemas de coleta porta a porta (coleta direta) têm sido designados por sua adequação às áreas urbanas em desenvolvimento. Estes programas são diferentes dos tradicionais sistemas de coleta de primeiro mundo com relação ao financiamento, organização e tecnologia. Essas diferenças são ilustradas por diversos exemplos de cidades em desenvolvimento.

Um exemplo de tecnologia apropriada para coleta porta a porta é a do comitê local de gerenciamento de resíduos em Wogodogo, uma área residencial de Ouagadougou, Burkina Faso. Este programa usou carroças de burro para coleta.

Sistema de Coleta Comunitária

Métodos alternativos de coleta envolvem caçambas de lixo comunitárias ou locais de coleta. Algumas vezes, estes programas consistem de diversas camadas de redes de coleta. Um programa em Adjoufou II, uma região de Abidjan na Costa do Marfim, usou dois carrinhos-de-mão para transportarem tambores comunitários (que estão colocados à cerca de 30 m das residências) até as caçambas de lixo nos pontos de coleta. Essas caçambas são periodicamente esvaziadas pela companhia de coleta. Muitos destes programas utilizam incentivos financeiros para promover a reciclagem, tal como, pagado pelos materiais.

Sistema de Coleta por Blocos

A coleta por blocos tem sido implementada em diversas áreas. Neste sistema, um veículo de coleta viaja por uma rota programada, parando periodicamente para a coleta do lixo. Embora isto seja menos conveniente às residências, a coleta por bloco elimina a necessidade de intermediar armazenagem em recipientes e, assim, pode ser menos onerosa. Houve experiências positivas e negativas com este tipo de coleta.

Este sistema foi criado em Adjoufou II, Abidjan na Costa do Marfim, onde as coletas semanais foram feitas ao longo da rodovia principal. A princípio, este serviço gratuito foi mais popular do que um serviço de coleta que percorria a comunidade e não era gratuito. Após um período de tempo, entretanto, os habitantes pararam de conduzir seu lixo aos caminhões e os resíduos começaram a degradar o ambiente.

Uma versão tecnológica inferior, mas melhor sucedida foi usada em Alladjan, também na Costa do Marfim. Neste caso, o sistema de coleta básico consistiu de dois carrinhos-de-mão que faziam rotas diárias. O sucesso deste programa é devido a conveniência do serviço (serviço diário para toda a vizinhança). O aspecto adicional deste programa é uma taxa de coleta. A equipe de coleta dos resíduos também recolhe semanalmente dos habitantes a taxa do serviço.

Sistema Sem Coleta

Diversas áreas têm implementado sistemas de coleta que não envolvem coleta por contratantes. Em vez disso, os habitantes recebem incentivos para levarem seu lixo a um local central. O programa “Compra de Lixo”, em Curitiba, Brasil, é um exemplo de tal sistema. Em uma área de Curitiba, onde não há serviços de coleta formal do lixo, há um estabelecimento onde os habitantes negociam seu lixo em troca de tickets de ônibus, produtos agrícolas ou produtos de laticínio. O programa tem o mesmo custo que um serviço de coleta privado para esta área.

c) Tratamento

A revisão da literatura referente à poluição ambiental evidencia que os esforços, no sentido de desenvolver a Tecnologia do Saneamento foram, inicialmente, concentrados nos recursos hídricos, logo em seguida no ar e, somente mais tarde o solo passou a ser considerado como área de problema. Este fato muito contribuiu para a prática de dispor lixo no solo, a céu aberto e sem receber sequer tratamento.

Posteriormente, originaram-se os lixões que trazem como conseqüência, a poluição do solo, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se num problema de ordem estética e, mais ainda, numa séria ameaça à saúde pública.

A necessidade de tratamento do lixo surge devido aos seguintes fatores:

- escassez de áreas para a destinação final do lixo;
- disputa pelo uso das áreas remanescentes com as populações da periferia;
- valorização dos componentes do lixo como forma de promover a conservação de recursos;
- inertização de resíduos sépticos.

Para Gebara (1985) os sistemas de tratamento, em primeira instância, visam diminuir os riscos que pesam sobre a saúde pública. Em primeira e decisiva instância, os tratamentos objetivam redução dos volumes aterrados e mudanças na composição do lixo a ser disposto, resultando em reduções dos custos de disposição em aterros sanitários.

O tratamento dos resíduos sólidos tem por objetivo aproveitar o material que está sendo descartado ou reduzir sua quantidade e/ou periculosidade. Segundo Ruberg e Philippi Junior (2000) diversos são os benefícios advindos do tratamento do lixo; tais como: transformação de materiais contaminados em materiais inertes, economia de áreas para aterros sanitários, diminuição da extração de materiais virgens, redução da degradação ambiental e geração de empregos.

O tratamento do lixo pode ser feito através de dois processos:

- segregar os diversos componentes existentes no lixo, visando a sua reciclagem e conseqüente redução no volume aterrado;
- incinerar o lixo, visando a sua redução e inertização, se possível com recuperação de energia.

Dos dois processos de tratamento do lixo mencionados, a segregação para reciclagem de materiais é a que vem sendo mais utilizada, provavelmente por seus benefícios serem mais divulgados e por permitir vários graus de implantação, tais como um programa restrito a um bairro ou um programa em nível municipal, além de seu custo ser inferior ao outro.

Há mais complementaridade entre os modelos do que antagonismo. Uma incineração eficiente, se por um lado disputa materiais de alto poder calorífico com a coleta seletiva, por outro lado, pressupõe uma segregação prévia de matéria orgânica (que contém muita umidade) e de outros materiais, que podem ser prejudiciais ao incinerador.

Independente do(s) tratamento(s) escolhido(s) sempre sobrar um resíduo que deverá ter uma disposição final em aterro.

c.1) Segregação de Materiais

A segregação de materiais do lixo tem como objetivo principal a reciclagem de seus componentes. A reciclagem é o resultado de uma série de atividades, através da qual materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados: sendo coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, feitos anteriormente apenas através de matéria-prima virgem. Alguns benefícios da reciclagem são:

- diminui a quantidade de lixo a ser aterrado (conseqüentemente aumenta a vida útil dos aterros sanitários);
- preserva os recursos naturais e economiza energia;
- diminui a poluição do ar e das águas;
- gera empregos, através da criação de indústrias recicladoras.

A reciclagem, no entanto, não pode ser vista como a principal solução para o lixo. É uma atividade econômica que deve ser encarada como um elemento dentro de um conjunto de soluções. Estas são integradas no gerenciamento do lixo, já que nem todos os materiais são técnica ou economicamente recicláveis.

Reciclagem de Materiais

A separação de materiais do lixo aumenta a oferta de materiais recicláveis. Entretanto, se não houver demanda por parte da sociedade, de produtos reciclados, o processo é interrompido, os materiais abarrotam os depósitos, e por fim, são aterrados ou incinerados como rejeitos.

Antes de uma prefeitura decidir se vai estimular ou implantar a segregação de materiais, visando à sua reciclagem, é importante verificar se existem na região esquemas através dos quais possa haver escoamento desses materiais (venda ou doação). A análise de mercado ditará quais os produtos do lixo poderão ser reciclados industrialmente. De nada valerá proceder à seleção de vidros, por exemplo, através de coleta seletiva ou de triagem das usinas de reciclagem, se não existir demanda para o aproveitamento industrial deste material. E sempre que possível, a venda dos materiais recicláveis deve ser feita para várias empresas. Essa é uma maneira de promover a competitividade de preços entre os compradores. Quando a venda for operada pela própria prefeitura, aconselha-se a prática dos leilões.

Quando uma prefeitura opta por um programa de reciclagem, ela tem que tomar uma decisão estratégica em relação ao processo de separação ou de triagem dos materiais a serem reciclados, como uma das seguintes:

- a separação dos materiais na fonte, pelo gerador (população) com posterior coleta seletiva e envio a usinas de triagem;
- a separação dos materiais, após a coleta normal e transporte de lixo, em usinas de triagem.

Coleta Seletiva

A coleta seletiva consiste em separar, na própria fonte geradora, os componentes que podem ser recuperados, mediante um acondicionamento distinto para cada componente ou grupo de componentes. Os requisitos para coleta seletiva são:

- deve existir um mercado para os recicláveis;
- o cidadão deve estar consciente das vantagens dos custos e deve querer cooperar.

Alguns aspectos favoráveis da coleta seletiva:

- a qualidade dos materiais recuperados é relativamente boa, uma vez que estes estão menos contaminados pelos outros materiais presentes no lixo;
- estimula a cidadania, pois a participação popular reforça o espírito comunitário;
- permite maior flexibilidade, uma vez que pode ser feita em pequena escala e ampliada gradativamente;
- permite parcerias com catadores, empresas, associações ecológicas, escolas e sucateiros;
- reduz o volume do lixo que deve ser disposto.

Alguns aspectos desfavoráveis da coleta seletiva:

- necessidade de caminhões especiais que passam em dias diferentes aos da coleta convencional e, conseqüentemente, proporcionam maior custo nos itens de coleta e transporte. Este custo é muito maior que o da coleta convencional;
- necessidade, mesmo com a segregação na fonte, de um centro de triagem onde os recicláveis são separados por tipo.

A operação de coleta seletiva pode ser:

- domiciliar, realizada por caminhão de carroceria passando semanalmente coletando os materiais;
- através de Postos de Entrega Voluntária (PEVs), consistindo de caçambas e contêineres de diferentes cores, instalados em pontos estratégicos onde a população possa levar os materiais segregados, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 – Postos de entrega voluntária (PEVs)

A educação ambiental é uma peça fundamental para o sucesso de qualquer programa de coleta seletiva. Esta forma de educação, que neste caso visa ensinar o cidadão sobre o seu papel como gerador de lixo, é principalmente dirigida a escolas, mas sem deixar de abranger a comunidade inteira através de:

- escolas;
- escritórios e repartições públicas;
- residências;
- fábricas;
- lojas;
- outros locais onde cidadãos geram lixo.

Quando a população fica ciente do seu poder ou dever de separar o lixo, ela passa a contribuir mais ativamente para o programa. Com isto, haverá um desvio cada vez maior dos materiais que outrora iam para o aterro e uma economia de recursos.

Coleta seletiva sem ampla educação ambiental cai na mesma infelicidade de um cinema sem anúncio ou placa: ninguém vai saber, levando a iniciativa ao fracasso. E pior, a suposta economia obtida por não ter havido gasto com campanhas educativas, é transformada em altos custos por caminhões de coleta seletiva circularem vazios.

Catadores

Há anos, a reciclagem é sustentada no Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, através da catação informal de papéis e outros materiais achados nas ruas e nos lixões. Em cada região metropolitana, estima-se a existência de milhares de homens e mulheres que vivem da catação dos materiais deixados nas calçadas. Nos municípios menores, também é comum a presença de catadores de rua.

Ao contrário do que aparentam, os catadores ganham acima da média brasileira e não são mendigos. Estudos em várias cidades brasileiras já comprovaram que a renda de catadores de rua, na maioria dos casos supera, o salário mínimo. A grande maioria destes trabalhadores já teve outras funções em empresas, mas devido à crise econômica nos últimos anos, ficou desempregada e aderiu à função de catador (IPT e CEMPRE, 1995).

Segundo o IPT e CEMPRE (1995), o impacto da catação do lixo nas ruas é tão grande que nos últimos anos chegou a influir na composição dos materiais coletados pelo caminhão. No caso da cidade do Rio de Janeiro, o peso do papel caiu de 42% do lixo oficialmente coletado em 1981 para 24% em 1993. O benefício que traz os catadores para a limpeza urbana é grande, mas, passa despercebido. Eles coletam recicláveis antes do caminhão da prefeitura passar, portanto, reduzem os gastos com a limpeza pública. Os materiais que eles encaminham para a indústria geram empregos e poupam recursos naturais.

A respeito dos catadores em lixão, estes chegam a mil pessoas nos lixões das principais cidades do País, obtém a sua renda através da catação dos componentes recicláveis do lixo, que são vendidos a sucateiros. A renda do catador em lixão varia em função da composição do lixo e do número de catadores. Em muitos locais, a renda supera o salário mínimo. As condições de trabalho, embora extremamente insalubres, proporcionam uma liberdade de horário de trabalho e de comportamento inexistente em empregos fixos. Portanto, muitos catadores recusam oportunidades de empregos na cidade, preferindo ficar no lixão.

Em suma, a catação em lixão, assim como a catação na rua, não é apenas um sintoma da crise econômica que o Brasil tem passado é, também, uma opção de vida para milhares de brasileiros. Portanto, o fechamento de um lixão cria grandes transtornos para as comunidades de periferias que vivem próximas ao local (IPT e CEMPRE, 1995).

Usinas de Triagem

A triagem consiste na separação dos materiais do lixo, após coleta normal e transporte, em locais apropriados. É comum existir conjuntamente com a usina de triagem, a compostagem da fração orgânica, que representa cerca da metade do lixo. Uma usina de triagem pode existir independentemente de haver ou não a compostagem. Entretanto, a compostagem exige uma triagem prévia do lixo. Assim como no caso da coleta seletiva, deve haver um mercado para os recicláveis, tanto orgânico quanto inorgânico.

Alguns aspectos favoráveis da implantação de uma usina de triagem são:

- reduz o lixo coletado em até 80%;
- economiza aterro;
- não requer alteração do sistema convencional de coleta, apenas a mudança no destino do caminhão, que passa a parar em uma usina de triagem, ao invés de seguir direto para o lixão ou aterro;
- possibilita o aproveitamento da fração orgânica do lixo;
- gera empregos diretos e indiretos através de associações ou cooperativas;
- elimina patógenos;
- causa menor impacto ambiental.

Alguns aspectos desfavoráveis da implantação de uma usina de triagem são:

- investimento inicial em equipamentos que vão constituir a usina (existem vários tipos de equipamentos de separação e, ainda, há debates sobre as melhores técnicas de operação);
- necessidade de técnicos capacitados para operar a usina (investimento em treinamento);
- a qualidade dos materiais, que são potencialmente recicláveis, separados da fração orgânica, não é tão boa devido à contaminação por outros componentes do lixo. No caso do papel, por exemplo, a contaminação impede a sua reciclagem.

A denominação usina de triagem e compostagem é comum pela própria inerência dos dois processos e a Figura 6 apresenta uma visão geral das instalações dessa usina.

Segundo IPT e CEMPRE (2000) o potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas pelos materiais descartados em usinas é consideravelmente menor que aquele dos resíduos brutos, por serem constituídos, principalmente, de rejeitos inertes da triagem e rejeitos inertes ou bioestabilizados, desde o peneiramento até o final do processo de compostagem. Desta forma, os aterros destes materiais não requerem os mesmos rigores de operação que os receptores de resíduos brutos, pois fica quase eliminada a produção de chorume. Daí, decorre, portanto, certa redução do custo por tonelada aterrada, tanto na implantação quanto na operação ou, no mínimo, uma solução ambientalmente mais segura.

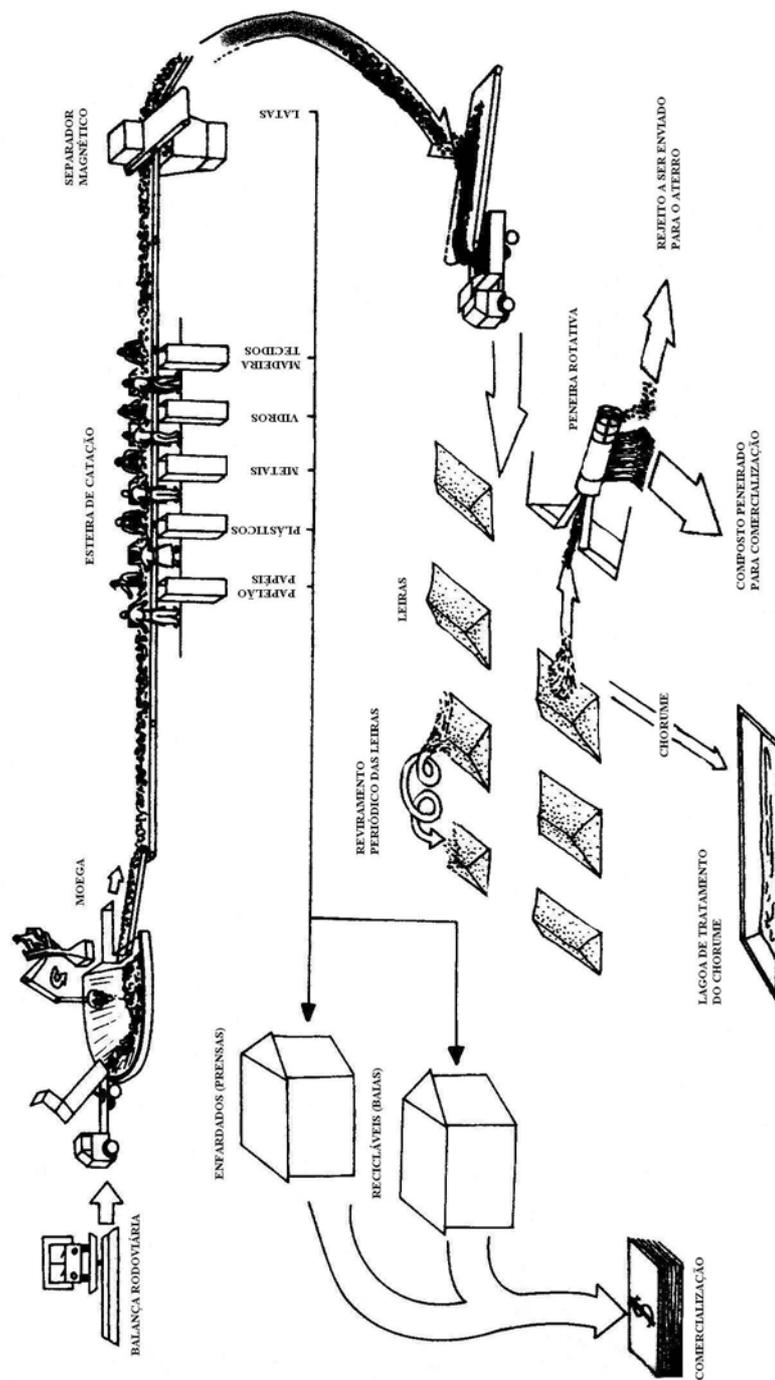


Figura 6 – Vista de uma usina de triagem e compostagem

Fonte: IPT e CEMPRE (1995)

Reciclagem da Matéria Orgânica - Compostagem

Segundo IPT e CEMPRE (2000) dá-se o nome de compostagem ao processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto – o composto orgânico – que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

Há muito tempo a compostagem é praticada no meio rural, utilizando-se de restos vegetais e esterco animal. Pode-se, também, utilizar a fração orgânica do lixo domiciliar, mas de forma controlada por instalações industriais, chamadas usinas de triagem e compostagem. No contexto brasileiro, a compostagem tem grande importância, uma vez que cerca de 50% do lixo municipal é constituído por matéria orgânica.

Algumas vantagens da compostagem são:

- redução de cerca de 50% do lixo destinado ao aterro;
- economia de aterro;
- aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- reciclagem de nutrientes para o solo;
- processo ambientalmente seguro;
- eliminação de patógenos;
- economia de tratamento de efluentes.

A usina de compostagem só deve processar o lixo domiciliar e o comercial (proveniente de lojas, restaurantes e centros comerciais). Eventualmente, ela pode processar podas de jardim, desde que devidamente trituradas. Esta usina não deve processar os resíduos de varrição e, muito menos o resíduo de serviço de saúde, sendo estes destinados ao aterro e à incineração, respectivamente. A produção de um composto orgânico de boa qualidade requer matéria orgânica não contaminada e que não seja compostada juntamente com substâncias tóxicas.

O grau de qualidade do composto orgânico irá indicar seu uso mais apropriado. A qualidade do composto orgânico produzido é função de três fatores básicos: a característica da matéria-prima, o tipo de sistema e a eficiência do controle operacional. Os usos mais comuns do composto orgânico contemplam: hortas, viveiros, fruticultura, floricultura, paisagismo, programas de reflorestamentos, controle de erosão e recuperação de áreas degradadas.

O lixo domiciliar tem composição variável, conforme a estação do ano e as características diversas de cada localidade, em função dos aspectos socioeconômicos e culturais da população. Genericamente, ele contém sobras de cozinha e restos de origem vegetal e animal, além de papel, papelão e outros materiais passíveis de se decompor biologicamente.

Segundo IPT e CEMPRE (2000), em termos médios, entre 30% e 40% do peso do material que entra nas usinas sai na forma de composto orgânico. Cerca de 20% a 30% representam perda de gases e umidade por evaporação e/ou infiltração e cerca de 5% a 15% é comercializado no mercado de recicláveis. A parcela de rejeitos a ser descartada situa-se entre 25% e 35% do total coletado, evidenciando substancial redução do espaço físico para disposição final.

As variações observadas nesses percentuais, entre outros fatores, devem-se à variabilidade do material coletado quanto ao cuidado na triagem, à intensidade da demanda por recicláveis e ao tempo de residência no pátio de cura.

c.2) Incineração

A incineração é o processo mais antigo e o mais empregado de tratamento térmico de resíduos sólidos, sendo feita a temperaturas acima de 800⁰C. Segundo IPT e CEMPRE (2000) os gases de combustão devem se manter a 1200⁰C por cerca de dois segundos, com excesso de ar e turbulência elevados a fim de garantir a conversão total dos componentes orgânicos presentes nos resíduos sólidos, em gás carbônico e água. Os teores de oxigênio nos gases de combustão emitidos pela chaminé devem ficar acima de 7% em volume. Esta combustão acontece numa instalação, usualmente denominada usina de incineração, projetada e construída para este fim.

É importante salientar que todo equipamento de incineração deve ser equipado por um sistema eficiente de limpeza de gases, independentemente do porte e projeto do incinerador. Em alguns casos, como os incineradores de pequeno porte (menores que 200 kg/dia), os níveis legais de emissão de compostos poluentes são menos restritivos, podendo-se atingi-los sem o emprego de equipamentos de limpeza de gases eficientes. Isto pode ocorrer desde que boas técnicas de combustão sejam adotadas, o que depende de uma série de condicionantes, tais como emprego de operadores especializados, existência de instrumentação adequada e pequena variação na composição de resíduos. Estes requisitos geralmente não estão presentes nesses casos. De uma forma geral, pode-se afirmar que a incineração de resíduos, de forma segura em termos ambientais, somente é possível com a instalação de sistemas de limpeza de gases.

Algumas desvantagens da incineração de resíduos sólidos são:

- custo elevado: a incineração apresenta custos elevados de instalação e de operação, no entanto, estes custos, nas grandes metrópoles com baixa disponibilidade de áreas adequadas, estão se aproximando do custo de disposição em aterros sanitários;
- exigência de mão-de-obra qualificada: o processo de incineração independe do porte da unidade, mas exige pessoal qualificado para garantir a qualidade da operação;
- presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos: tais como pilhas e plásticos que liberam compostos tóxicos e ácidos.

Algumas vantagens da incineração de resíduos sólidos são:

- redução drástica de massa e volume a ser descartado: a taxa de redução média em massa é de 70% e em volume, 90%, diminuindo o volume destinado ao aterro;
- recuperação de energia: parte da energia contida nos resíduos pode ser recuperada para geração de energia elétrica e/ou vapor d'água;
- redução do impacto ambiental: com as novas tecnologias de limpeza de gases de combustão, os níveis de emissão de poluentes podem ficar abaixo dos observados em processos de combustão convencionais, bem como contribuir para a diminuição do efeito estufa, devido à combustão de materiais renováveis e à redução de gás metano;
- esterilização dos resíduos: a incineração destrói bactérias e vírus presentes nos resíduos devido às elevadas temperaturas atingidas no interior dos incineradores;

d) Disposição Final

A disposição final é a última etapa do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos e também a mais preocupante, porque representa risco ambiental e sanitário. De acordo com Günther (1999), em função de não ser dada devida atenção ao setor de saneamento e, principalmente, a essa etapa do gerenciamento, os resíduos sólidos acabam sendo simplesmente afastados do local de geração e descartados em locais periféricos, no que se denomina disposição a céu aberto (lixão ou vazadouro).

Segundo Ruberg e Philippi Junior (2000) o destino que se apresenta mais adequado para os resíduos urbanos, que sofreram tratamento ou não, é o aterro sanitário, um local que segue normas específicas de construção e operação de modo a impedir problemas ambientais, sanitários, econômicos e sociais.

A prática de aterrar lixo como forma de destino final não é privilégio da civilização moderna. Também os antigos já faziam uso desta prática. Por exemplo, os Nabateus da Mesopotâmia, há quase 2500 anos antes de Cristo, enterravam seus resíduos domésticos e agrícolas em trincheiras escavadas no solo. Depois de algum tempo, as trincheiras eram abertas e a matéria orgânica, já decomposta, era removida e utilizada como fertilizante orgânico na produção de cereais.

São três os métodos de disposição final: lançamento a céu aberto, aterro controlado e aterro sanitário.

Lançamento a Céu Aberto

É uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos, na qual estes são simplesmente descarregados sobre o solo, sem tratamento ou medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Essa forma de disposição também é conhecida por lixão, lixeira ou vazadouro.

Este tipo de disposição facilita a proliferação de vetores (moscas, mosquitos, baratas ou ratos), geração de maus odores, poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado - mistura do chorume (líquido) gerado pela degradação da matéria orgânica com a água de chuva – além de não possibilitar o controle dos resíduos que são encaminhados para o local de disposição. É, sob todos os aspectos, a pior forma de disposição de resíduos sólidos, sendo prejudicial ao homem e ao meio ambiente. Todavia, é o mais usado no Brasil e nos países em desenvolvimento.

Acrescenta-se a esta situação, o total descontrole dos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados de serviços de saúde e de indústrias. Comumente, ainda, associam-se aos lixões, a criação de animais e a presença de pessoas (catadores), os quais, algumas vezes, residem no próprio local.

Aterro Controlado

É uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, na qual são adotadas precauções tecnológicas executadas durante o desenvolvimento do aterro, tal como o recobrimento diário dos resíduos com argila que aumenta a segurança do local, minimizando os riscos de impactos ao meio ambiente e à saúde pública. Esta cobertura diária, entretanto, é realizada de forma aleatória, não resolvendo satisfatoriamente os problemas de poluição gerados pelo lixo, uma vez que os mecanismos de formação de líquidos e gases não são levados a termo.

Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada pois, similarmente ao aterro sanitário, a área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem de sistemas de tratamento do lixiviado ou do biogás gerado.

Embora seja uma técnica preferível ao lançamento a céu aberto, ela não substitui o aterro sanitário. O aterro controlado é uma solução compatível (não completamente adequada) para municípios pequenos que não dispõem de equipamentos compactadores (sua maior dificuldade).

Aterro Sanitário

Segundo Bidone e Povinelli (1999), o aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos, evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais.

Os critérios de engenharia materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento de águas de chuva, de drenagem de fundo para a coleta do lixiviado drenado, de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica.

O procedimento de disposição final de resíduos em aterro sanitário representa solução técnica de fácil execução e viável economicamente para países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Trata-se de uma solução para qualquer volume, apresenta simplicidade executiva, não exige equipamentos especiais que não sejam unidades de componentes de qualquer administração municipal, permite o controle de vetores e a transformação do material degradável de forma natural e biológica.

A operação de aterro sanitário é uma complexa obra de engenharia, pois envolve a condição de aliar a armazenagem de lixo com a necessidade de proteção e conservação do meio ambiente, principalmente, na preservação do ecossistema da região envolvida. Para tanto, a instalação de aterros sanitários deve ser feita em áreas criteriosamente escolhidas, levando-se em conta a condição das águas do local, para evitar a contaminação do lençol freático. Tal situação somente será atendida se forem observadas as condições de absorção do solo, além da correta disposição dos resíduos e do tratamento dos líquidos oriundos do aterro.

A Tabela 4 ilustra os resultados da PNSB realizada em 2000, demonstrando a quantidade diária de lixo coletado no País.

Tabela 4 – Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as regiões brasileiras

| Regiões | Quantidade Diária de Lixo Coletado (ton/dia) | | | | | | | | | |
|--------------|--|---|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------------|--------------------|-------------|------------------|-------|
| | Total | Unidade de Destino Final do Lixo Coletado | | | | | | | | |
| | | Vazadouro a Céu Aberto (Lixão) | Vazadouro em Áreas Alagadas | Aterro Controlado | Aterro Sanitário | Estação de Compostagem | Estação de Triagem | Incineração | Locais Não-Fixos | Outra |
| Norte | 11.067 | 6.279 | 56 | 3.134 | 1.469 | 5 | 0 | 8 | 96 | 20 |
| (%) | 100 | 56,74 | 0,51 | 28,32 | 13,27 | 0,05 | 0,00 | 0,07 | 0,86 | 0,18 |
| Nordeste | 41.558 | 20.044 | 45 | 6.072 | 15.030 | 74 | 93 | 22 | 128 | 50 |
| (%) | 100 | 48,23 | 0,11 | 14,61 | 36,17 | 0,18 | 0,22 | 0,05 | 0,31 | 0,12 |
| Sudeste | 141.617 | 13.756 | 87 | 65.851 | 52.542 | 5.438 | 1.263 | 945 | 781 | 953 |
| (%) | 100 | 9,71 | 0,06 | 46,50 | 37,10 | 3,84 | 0,89 | 0,67 | 0,55 | 0,67 |
| Sul | 19.875 | 5.112 | 37 | 4.834 | 8.046 | 347 | 833 | 30 | 120 | 516 |
| (%) | 100 | 25,72 | 0,18 | 24,32 | 40,48 | 1,75 | 4,19 | 0,15 | 0,60 | 2,60 |
| Centro-Oeste | 14.296 | 3.131 | 8 | 4.684 | 5.553 | 686 | 77 | 26 | 105 | 27 |
| (%) | 100 | 21,90 | 0,06 | 32,77 | 38,84 | 4,80 | 0,54 | 0,18 | 0,73 | 0,19 |
| Brasil | 228.413 | 48.322 | 233 | 84.576 | 82.640 | 6.550 | 2.265 | 1.032 | 1.230 | 1.566 |
| (%) | 100 | 21,16 | 0,10 | 37,03 | 36,18 | 2,87 | 0,99 | 0,45 | 0,54 | 0,69 |

Fonte: IBGE (2000c)

Com base nos resultados gerais da Tabela 4, elaborou-se o histograma mostrado na Figura 7.

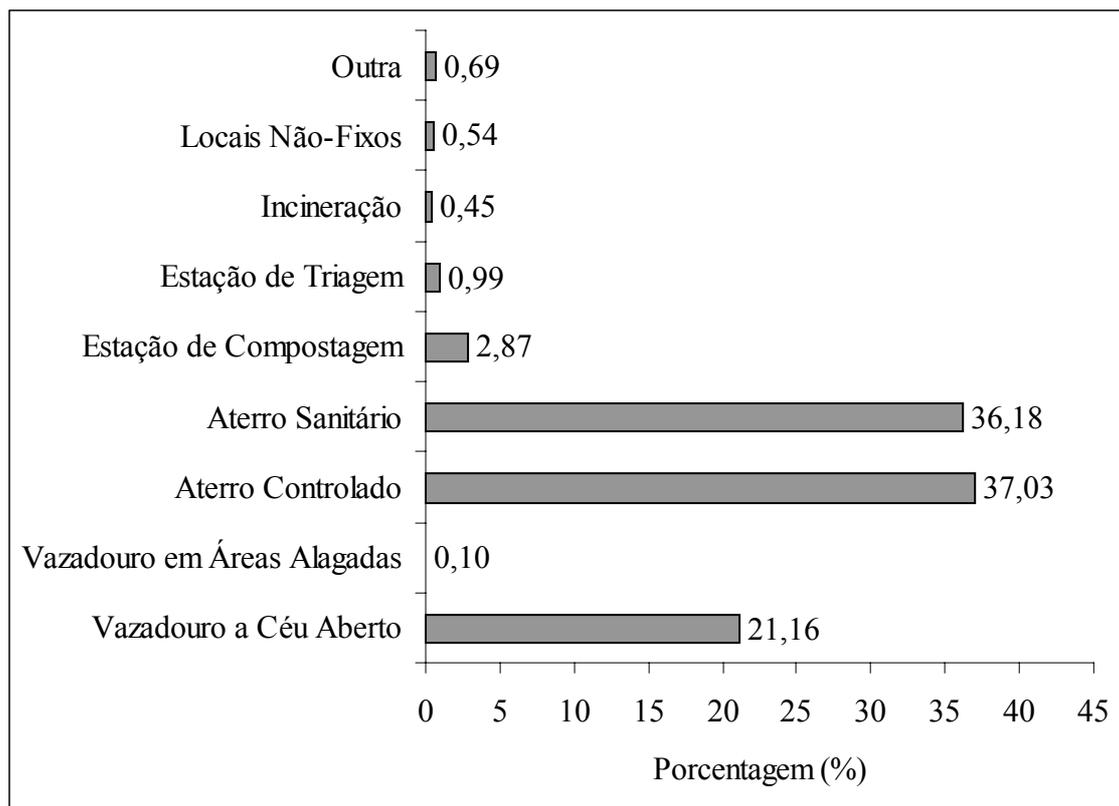


Figura 7 – Disposição final do lixo coletado em todo País

Fonte: IBGE (2000c)

6.3 – Gerenciamento Intermunicipal

Apesar dos vários trabalhos versando sobre inúmeros aspectos da problemática dos resíduos sólidos – visto a constatação das graves conseqüências ambientais de sua disposição inadequada – poucos deles se dedicam a considerar a alternativa de solução intermunicipal conjunta para tratamento e destinação final. A boa receptividade e o reconhecimento da importância do tema esbarram nas dificuldades antevistas para sua implantação, mantendo uma expectativa por informações mais detalhadas e passíveis de adaptação para casos distintos das regiões metropolitanas, áreas sobre as quais já existem algumas experiências implantadas, embora ainda não registradas.

A Constituição Federal, em seu artigo 30, estabelece que compete aos municípios legislar sobre assuntos de interesse local. Baseado nesse preceito constitucional, a coleta e disposição final dos resíduos sólidos têm ficado a cargo dos municípios. No entanto, a questão dos resíduos sólidos, sobretudo a disposição final, em geral, ultrapassa os limites dos municípios e exige a cooperação intermunicipal e ações do Estado na gestão das soluções conjuntas. A mesma Constituição Federal, no parágrafo 3º do artigo 25, resguarda a competência do Estado de planejar e agir em assuntos de interesse comum.

Para Lima e Piza (1999) os pequenos municípios, em geral, não têm condições técnicas e econômicas adequadas, a não ser que haja subsídios do Estado ou dotações orçamentárias municipais subtraídas de outros seguimentos. Uma solução integrada facilitaria a fiscalização, o controle de qualidade e permitiria que todos os municípios tivessem uma disposição final de seus resíduos com qualidade ambiental.

Segundo Fiuza e Barros (1999) a principal justificativa para a não adoção de soluções conjuntas pelos municípios são os entraves políticos, argumento que desestimula as iniciativas de implantação desta alternativa, espelhando uma visão reducionista do problema e da realidade. A falta de planejamento e de políticas regionais para tratar da questão dos resíduos sólidos dificulta a implementação de soluções conjuntas que apresentam uma economia de escala, capaz de maximizar os recursos municipais e minimizar os impactos ambientais provenientes da implantação de sistemas de tratamento de resíduos.

6.4 – A Experiência Internacional na Gestão de Resíduos Sólidos

Internacionalmente, muitos dos trabalhos feitos sobre gerenciamento de resíduos sólidos focalizam tecnologias de reciclagem inovadoras e opções de disposição (aterros de lixo e incineradores) em comunidades do primeiro mundo. As metas principais desses trabalhos são redução dos custos e fabricação de produtos ambientais (KORFMACHER, 1997). Há também um conjunto de pesquisas sobre problemas de resíduos sólidos em regiões em desenvolvimento. O propósito é melhorar a saúde e a segurança de áreas urbanas em desenvolvimento, por meio de sistemas apropriados.

Segundo Leite *et al.* (2000) pode-se dizer que a base conceitual para a gestão de resíduos nos países da Comunidade Européia, Estados Unidos da América e Japão, contempla diretrizes que objetivam:

- a redução de resíduos na fonte, por vias tecnológicas e através da análise do Ciclo de Vida (LCA) de novos produtos a serem colocados no mercado;
- a reciclagem/reutilização e o tratamento adequado dos resíduos gerados, com tendência à instalação de incineradores modernos e, também, com vistas à recuperação de energia;
- a destinação final em aterros sanitários dos resíduos não mais passíveis de recuperação (“resíduos últimos”).

Inversamente ao que ocorre no Brasil, esses países possuem há algum tempo políticas definidas para a área de resíduos sólidos. Cada nação define as instituições responsáveis para colocarem em prática seus objetivos e os meios para atingi-los.

Com exceção do Japão, essa política é implementada de forma descentralizada, cabendo aos municípios e províncias as tarefas relacionadas à elaboração de planos operacionais de gerenciamento de resíduos: acondicionamento, coleta, transporte, valorização, tratamento e destinação final. Às instâncias superiores, como as regiões administrativas e os Estados, cabe o papel de analisar, regulamentar e fiscalizar o gerenciamento.

Nos Estados Unidos, a possibilidade de redução de resíduos é limitada pelo fato de a sociedade ser extremamente dirigida ao consumo. Essa situação resultou no que se convencionou chamar “o dilema dos resíduos sólidos municipais”, que consistiu na delegação de responsabilidades aos mais diferentes agentes públicos e privados como forma de contornar o anterior descaso com relação ao problema de resíduos sólidos.

A Dinamarca, por exemplo, privilegia a participação do setor público no controle de empresas auto-sustentáveis de coleta, tratamento e destinação final de resíduos, que são constituídas por grupos de municípios (acionistas).

Já em outros países, a exemplo do que ocorre na Holanda, o sistema é baseado na parceria público-privada, onde o setor público detém a propriedade das instalações e o setor privado se encarrega da operação das mesmas, normalmente em regime de concessão sob a fiscalização e o controle do Estado.

Duas tendências parecem estar se consolidando como prática na gestão de resíduos na Europa: *i)* a mudança de foco da regulamentação para o “acordo de cavalheiros” que é o resultado da organização dos atores na solução de um determinado problema e *ii)* a responsabilidade do produtor (indústria) sobre o resíduo gerado pelo produto ao final de sua vida útil – é o caso dos pneus, baterias e veículos usados.

O investimento em mecanismos de controle ambiental e em padrões de desempenho do sistema de gerenciamento de resíduos é uma preocupação constante. A utilização de instrumentos reguladores (como padrões de emissão e uso do solo) e econômicos (taxas ambientais sobre produtos e práticas indesejáveis, por exemplo) vêm se multiplicando como medida importante na consolidação da política de resíduos. Além disso, e por determinação legal, o público deve ser informado acerca de tudo o que afeta o manejo de resíduos para que se possa efetivamente exercer o controle social sobre a implementação dessas atividades.

Países como a Dinamarca e a Holanda cobram taxas de controle ambiental diferenciadas, de acordo com a hierarquização dos processos de tratamento de resíduos, por exemplo, estabelecida pela política de gestão de resíduos. Assim, as taxas ambientais impostas para a destinação final de resíduos diretamente em aterros sanitários (processo que deve ser desestimulado) são maiores que aquelas cobradas para o tratamento em incineradores com recuperação de energia ou para unidades de compostagem e reciclagem (soluções incentivadas). Os recursos oriundos dessas taxas se destinam a um fundo de financiamento para programas e projetos priorizados pela política, inclusive educação ambiental, que naqueles países é uma atividade sistemática e permanente.

A operação e manutenção dos sistemas de gerenciamento de resíduos devem ser realizadas de forma a garantir a auto-sustentabilidade, ou seja, o próprio usuário dos serviços financia o sistema através de pagamento de taxas, tarifas e preços públicos. Já o financiamento de novas instalações e equipamentos (investimento de capital) pode ser realizado com os recursos próprios das empresas para esse fim ou, através de empréstimos junto a instituições financeiras públicas ou privadas.

A Comunidade Européia administra fundos especiais para apoio à implementação de ações relacionadas com o meio ambiente. Estados-membros que, comprovadamente, estiverem enfrentando dificuldades na elaboração e implementação de seus planos de gerenciamento de resíduos poderão recorrer aos fundos, como o de coerção, por exemplo, onde terão acesso a linhas de financiamento a juros subsidiados ou, extraordinariamente, a créditos a fundo perdido (“grants”).

7 - ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE COLETA DE LIXO

7.1 - Rede de Transportes

O espaço urbano, no qual os serviços de transporte são oferecidos, consiste de uma rede com vários elementos, tais como, estradas, ruas, interseções e terminais. As características desses elementos são estudadas através dos modelos como produto das operações dentro do espaço urbano.

Em geral, os problemas de roteirização em área urbana tendem a ser mais complexos do ponto de vista de sua natureza combinatória, uma vez que há um número maior de alternativas de caminhos e, conseqüentemente, de roteiros viáveis. Adicionalmente, há restrições à circulação de veículos e incertezas quanto aos tempos de viagem.

A rede de transportes pode ser representada através de um sistema de coordenadas (cartesianas ou polares) ou na forma de grafos. A forma mais simples de representar uma rede de transportes é através de pontos e linhas. As linhas representam os trechos de vias e os pontos representa a origem e os destinos de viagem. Esta forma de representação gráfica é transferida para a forma de representação matemática, que por sua vez é utilizada na formulação de algoritmos, solucionando os problemas de transporte em rede.

7.1.1 - Grafo

Um grafo G é definido como sendo um par ordenado (V,E) , onde V é um conjunto e E uma relação binária sobre V . Os elementos V são denominados vértices ou nós, e os pares ordenados de E são denominados arestas ou arcos do grafo. A representação de um grafo é através de pontos e linhas.

Segundo Deluqui (1998) a representação por grafos se constitui numa ferramenta muito simples, natural e poderosa em pesquisa operacional, especificamente em problemas de roteamento. A Figura 8 exemplifica o mapeamento de uma rede viária para representação em um grafo.

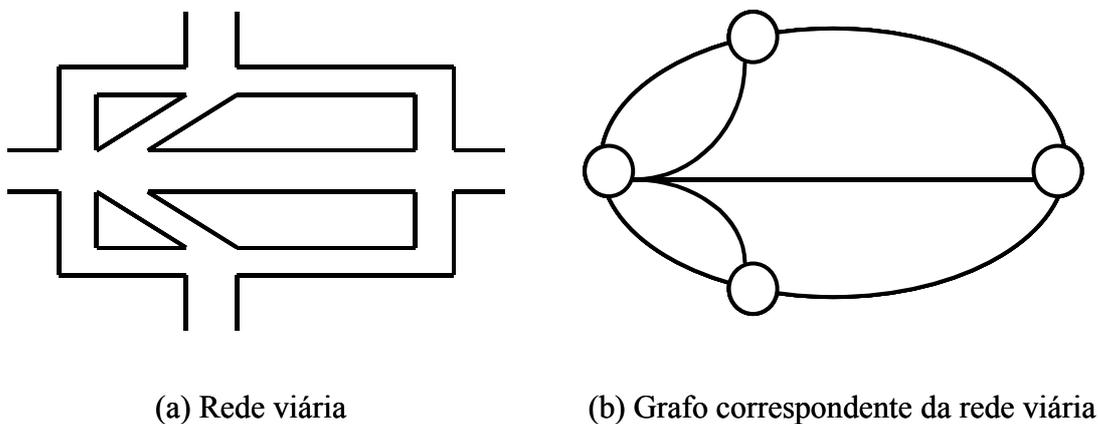


Figura 8 – Representação de uma rede viária e seu grafo

Fonte: Graciolli (*apud* DELUQUI, 1998)

a) Grafo orientado

Se todas as linhas têm sentido, o que usualmente é mostrado por uma seta, elas são chamadas de arcos e, o grafo resultante é denominado de grafo orientado, ilustrado na Figura 9.

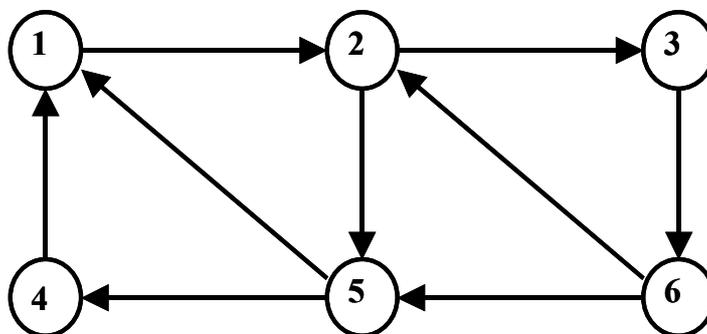


Figura 9 – Grafo ou rede orientada

Fonte: Canassa (*apud* DELUQUI, 1998)

b) Grafo não orientado

Se todas as linhas estão sem orientação, então elas são chamadas de arestas e, o grafo resultante é denominado grafo não orientado, ilustrado na Figura 10. É importante ressaltar que toda aresta pode ser substituída por dois arcos em sentidos opostos.

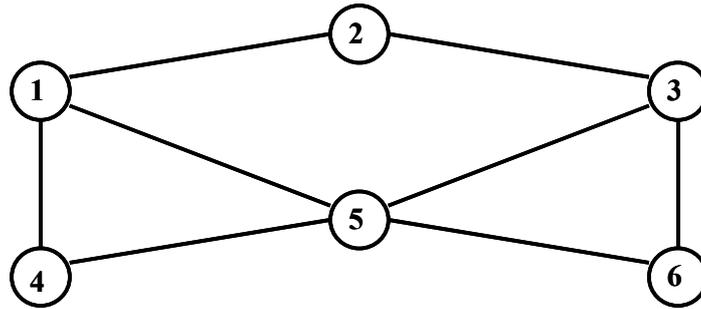


Figura 10 – Grafo ou rede não orientada

Fonte: Canassa (*apud* DELUQUI, 1998)

c) Grafo misto

Se existirem linhas orientadas e linhas não orientadas, ou seja, se o grafo for composto tanto por arcos como por arestas, então o grafo resultante é denominado de grafo misto, ilustrado na Figura 11.

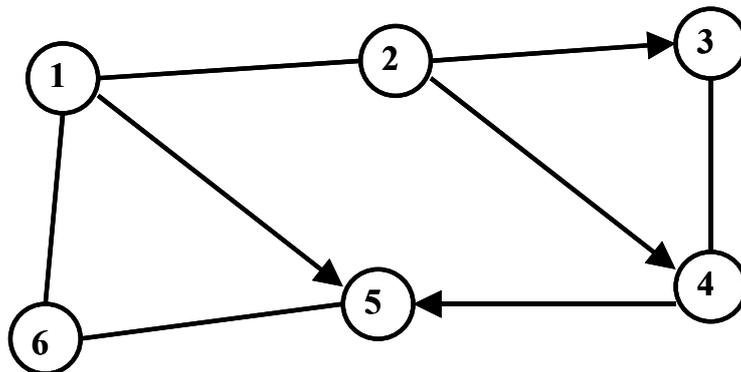


Figura 11 – Grafo ou rede mista

Fonte: Canassa (*apud* DELUQUI, 1998)

d) Grafo conexo

Se for possível visitar qualquer ponto, partindo de um outro e passando por arcos/arestas, tem-se um *grafo conexo* como mostrado na Figura 12. Quando existir um caminho entre cada par de pontos, o grafo é dito *não orientado conexo*.

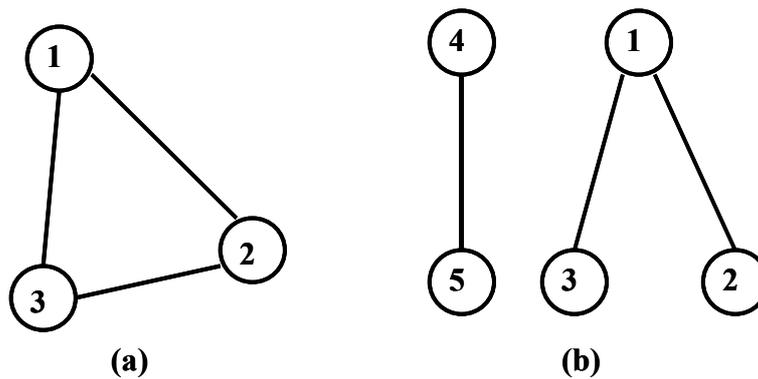


Figura 12 – Grafo conexo (a) e grafo não conexo (b)

Fonte: Canassa (*apud* DELUQUI, 1998)

7.1.2 - Representação de Uma Rede

As redes de coleta em situações reais são, geralmente, formadas por grafos mistos, com linhas orientadas e linhas não orientadas. Se a coleta ocorre em ambos os lados de uma rua ao mesmo tempo e, a rua não for de caminho único, então essa rua é representada por uma linha orientada. Se a coleta ocorre separadamente em cada lado da rua, então deve-se indicar a direção com a qual o veículo coletor deve percorrê-la realizando o serviço. Liebman *et al.* (1975) consideraram três casos para representação de uma rede:

- (1) redes que são inteiramente não orientadas;
- (2) redes que são inteiramente orientadas;

(3) redes que são uma mistura de linhas orientadas e linhas não orientadas. Este caso é o problema de roteirização mais complexo. Se a rede tem poucas linhas orientadas, pode ser conveniente ignorar o sentido indicado e determinar uma rota como se a rede fosse inteiramente não orientada. Esta situação também é válida para a situação contrária, ou seja, quando a rede possuir poucas linhas não orientadas.

Para o serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares, a rede viária é composta por ruas que necessitam ser atendidas e por ruas que não necessitam ser atendidas (*links deadhead*). Se for possível determinar uma rota somente com ruas que necessitem ser atendidas, então essa rota é conhecida como rota ótima. Se tal rota não existir, então a rota determinada que tiver a mínima quantidade de ruas que não necessitem ser atendidas será conhecida como rota ótima. Esta rota pode ser ótima em termos de distância, tempo ou custo de viagem.

Segundo Benavent e Soler (1999), quando as rotas são determinadas dentro de uma cidade, elas devem obedecer a regras de tráfego, tais como sentido de ruas e proibição de certos tipos de curvas, principalmente, curvas à esquerda e retornos em U. Geralmente, mesmo que não sejam proibidas, certas curvas são arriscadas para manobra de alguns veículos ou consomem muito tempo. Para Gendrau *et al.* (1997) curvas à esquerda são perigosas e podem ser evitadas. Assim, uma situação como mostrada na Figura 13, algumas vezes é mais preferível.

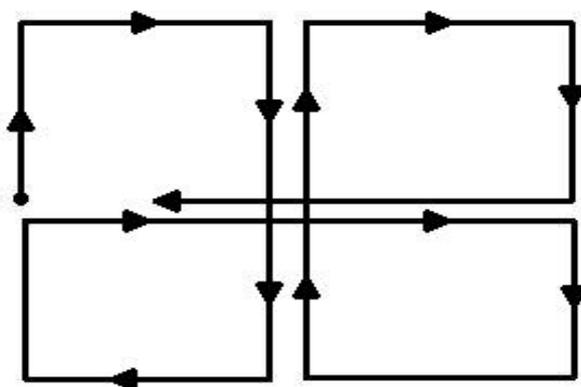


Figura 13 – Uma possível solução para se evitar curvas à esquerda

Fonte: Gendrau *et al.* (1997)

7.2 - Formulação de Problemas de Roteirização de Veículos de Coleta de Lixo

Segundo Liebman *et al.* (1975), o problema de roteirização de veículos de coleta de lixo pode ser dividido em três partes:

- (1) a divisão da área de coleta em áreas menores ou distritos;
- (2) a determinação da viagem ou caminho do veículo, desde sua entrada no distrito até sua saída;
- (3) a agregação dos distritos e suas viagens associadas a um dia completo de trabalho para um veículo, que é chamada rota e deve incluir uma ou mais viagens ao ponto de disposição ou depósito.

Na prática, esses três passos não necessariamente são cumpridos na ordem dada. Alguns roteirizadores não determinam primeiramente um distrito. Ao contrário, eles especificam uma área que represente uma carga de trabalho diária para um único veículo e, então, estabelecem uma rota dentro desta área. Este método pode ser conveniente se a rota não exigir mais do que duas viagens. Entretanto, a localização do limite do distrito terá mais efeito sobre os custos de viagem e, estes custos devem ser considerados no processo de distritamento.

Entre todos os objetivos que possam ser levados em consideração, o planejamento de rotas balanceadas é entendido como o que mais reduz os custos. A cidade é dividida em um número fixo de setores de coleta de resíduos para que minimize a carga de trabalho (tempo) por setor. Para cada setor, as rotas são projetadas satisfazendo todas as restrições conhecidas.

Hickman (1981) destacou alguns pontos que se pode identificar para equilibrar as rotas dos veículos coletores de resíduos sólidos, tais como:

- estimar o número de veículos e equipes de coleta em sistemas novos ou que estão passando por processos de reformas;
- desenvolver ou avaliar o custo de serviços terceirizados;
- avaliar o rendimento da equipe de coleta, em conjunto ou individualmente;
- balancear a quantidade de trabalho a ser realizado pelos coletores;
- determinar o tamanho ótimo de novas frotas de veículos ou otimizar o uso da existente.

O uso de modelos analíticos e informação tecnológica no gerenciamento de resíduos sólidos tem evoluído nas últimas décadas. Técnicas tradicionais de programação matemática têm sido aplicadas desde a seleção do local até a roteirização da frota. Essas técnicas foram expandindo seus limites, auxiliando na modelagem dinâmica e considerando múltiplos atributos através da inclusão de restrições operacionais (MACDONALD, 1996).

Para Chang *et al.* (1997) o planejamento de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos tem recebido grande atenção dos pesquisadores ambientais por causa de sua complexa coordenação entre as várias estratégias de gerenciamento. Devido às variações temporais e espaciais sobre fatores sociais, econômicos e regionais, os programas de gerenciamento de resíduos sólidos têm sido freqüentemente reorganizados por várias questões. Uma questão é como distribuir efetivamente o pessoal de coleta em uma região metropolitana. O uso de modelos matemáticos associados à capacidade de análises espaciais em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é o novo foco dos recentes estudos em sistemas de gerenciamento ambiental.

Segundo Hanafi *et al.* (1999), o planejamento de rotas de coleta depende de condições humanas e recursos, tais como: facilidades de construções, localização de depósitos de lixo, centros de transferência, composição e tamanho dos veículos de coleta de lixo, tipo de resíduo e freqüência de coleta.

Uma grande variedade de problemas de roteirização de veículos de coleta tem sido identificada, representando uma importante contribuição para este campo de pesquisa. A variação que é encontrada nos problemas de roteirização de veículos do mundo real pode influenciar o tipo de decisão a ser feita. Um número de características padrões distingue os problemas de roteirização. A mais importante destas características inclui: a localização da demanda em nós ou sobre arcos da rede, a restrição de capacidade do veículo e o objetivo que define o melhor roteamento. Esta característica afeta os dados relevantes e o grau de dificuldade em encontrar a melhor solução para o problema (KEENAN, 1998).

De acordo com Beltrami e Bodin (1974) há diversas coisas que devem ser observadas na determinação do tipo de algoritmo a ser utilizado para simulação de rotas dos veículos de coleta. Geralmente, uma região de coleta é transformada em uma rede com um conjunto de nós e um conjunto de ramos ou arcos. A primeira questão que aparece é quando se executa a roteirização sobre nós ou arcos da rede. A primeira classe de problemas tem sido chamada de problemas de roteirização em nó, enquanto a segunda classe tem sido chamada de problemas de roteirização em arcos.

Problema de Roteirização em Nós

Para o problema de roteirização em nós, o objetivo é combinar os nós em rotas, a fim de minimizar o número de veículos necessários para coleta de resíduo nos vértices da rede. Ao mesmo tempo em que isso ocorre, deve-se observar as restrições de capacidade do veículo e a carga de trabalho dos funcionários.

Problema de Roteirização em Arcos

O problema de percurso na coleta de lixo é definir um conjunto de rotas que atendem a um conjunto de determinadas áreas. Deseja-se realizar este percurso com o menor custo, atendendo às restrições de movimentação dos veículos nas ruas da cidade, capacidade dos caminhões e tempo máximo da frota em serviço. Este problema está relacionado ao Problema de Roteirização em Arcos (Arc Routing Problem – ARP).

Nos Problemas de Roteirização em Arcos (ARPs), o objetivo é determinar o menor custo de travessia sobre um conjunto de arcos especificados de um grafo, com ou sem restrições (EISELT *et al.*, 1995). Talvez a mais antiga referência documentada aos ARPs é o problema das pontes Königsberg. A meta é determinar se existe um caminho fechado atravessando exatamente uma vez cada uma das sete pontes sobre o Rio Pregel em Königsberg, agora chamada Kaliningrad. O problema foi elaborado pelo matemático suíço Leonhard Euler, em 1736, que encontrou condições para existência de um caminho fechado. A questão de determinar tal caminho foi discutida e resolvida mais de um século depois, por Hierholzer, em 1873.

Outro Problema de Roteirização em Arcos é o Problema do Carteiro Chinês proposto por *Meigu Guan* (ou *Kwan Mei-Ko*). Segundo *Eiselt et al.* (1995) a diferença deste para o problema das pontes de Königsberg é somente com respeito a existência e determinação de um caminho fechado. Neste caso, a meta é determinar um caminho de comprimento mínimo, cobrindo cada segmento pelo menos uma vez.

Problemas de Roteirização em Arcos aparecem em vários contextos práticos, tal como entrega de correspondência, coleta de lixo, remoção de neve e roteirização de veículo escolar. Bilhões de dólares são gastos cada ano pelo governos e empresas privadas nestas operações. Grandes quantidades de dinheiro são desperdiçadas devido a fracos planejamentos. Há vários anos, pesquisadores operacionais vêm estudando a estrutura destes problemas e propondo soluções viáveis (*EISELT et al.*, 1995).

7.3 - Métodos de Roteirização de Veículos de Coleta de Lixo

A roteirização de veículos pode ser definida através do método empírico ou de método matemático.

Método Empírico

No método empírico, as rotas são definidas com base na experiência particular dos operadores sobre a área. Os métodos empíricos utilizam dados sobre as ruas, enfocando o grau de intensidade do tráfego, tipo de pavimentação, acidentes geográficos, declividades existentes e outros parâmetros que, com o auxílio de um mapa da cidade, permitem calcular os roteiros e o tempo gasto no serviço de coleta. Este método consome tempo e nem sempre é eficiente.

Um estudo feito utilizando este método foi realizado por Galvez (1979) para a cidade de Santiago, no Chile, que fez uma análise dos roteiros dos caminhões coletores. Com linha cheia foram marcadas as ruas nas quais o caminhão coletor deveria passar e, com linha tracejada foram marcadas as ruas que não necessitavam de atendimento. O objetivo principal era construir o traçado do veículo coletor, de tal forma que as linhas

tracejadas fossem as mais curtas possíveis, eliminando os percursos improdutivos (tempo morto). Nesse estudo, o caminhão não passava em todas as ruas. As ruas, consideradas curtas, eram percorridas pelo gari, que trazia os resíduos até a esquina onde o caminhão coletor esperava. Esta operação, chamada de alcance, era marcada com uma seta e uma linha cheia delgada. Ao final da análise, conseguiu-se uma redução no tempo de coleta e as 119 rotas existentes foram reduzidas para 66.

Método Matemático

No método matemático, as rotas são definidas com base nas variáveis referentes aos pontos de visita, tais como distância e tempo de viagem. Os modelos matemáticos possuem a característica de serem submetidos a procedimentos metodológicos (algoritmos) com a finalidade de lhes proporcionar soluções ótimas ou próximas de ótimas.

O problema matemático clássico que auxilia na roteirização e na programação da coleta domiciliar é conhecido como Problema do Carteiro Chinês (Chinese Postman Problem-CPP). Este problema consiste em achar um caminho de comprimento mínimo que passe pelo menos uma vez por cada trecho de rua que compreenda o setor de coleta. O veículo coletor deve sair de um nó (garagem) e voltar a ele, cobrindo toda a rede de forma a minimizar a extensão total percorrida. O problema do carteiro chinês escolhe uma rota de forma racional, garantindo que o percurso total seja mínimo e considerando que haverá trechos a serem percorridos mais de uma vez (DELUQUI, 1998).

Segundo Eiselt *et al.* (1995), o primeiro autor que apresentou a solução para redes não-orientadas foi o matemático *Mei Guan*, em 1962. Durante a revolução cultural chinesa, ele trabalhou como carteiro, daí a origem do nome Problema do Carteiro Chinês.

O método matemático de roteirização pode ser feito por processo manual ou computacional. No processo manual, utiliza-se um algoritmo com estratégia de solução para o problema. Porém, os processos manuais de planejamento do serviço de coleta produzem resultados de forma demorada e também exigem do planejador experiência e conhecimento sobre a área de atuação.

O processo computacional é uma técnica matemática automatizada que também utiliza um algoritmo, mas a roteirização é definida através de computador. Neste processo, o software é chamado de roteirizador - uma ferramenta que proporciona vários cenários e possibilita a análise de mudanças das variáveis e das restrições envolvidas. Os modelos matemáticos automatizados permitem fazer análises espaciais com precisão e visualização das informações nos mapas, mas exigem tempo e recursos consideráveis para implantação.

O software do tipo roteirizador define a melhor rota entre vários pontos, segundo a variável que se quer otimizar – distância ou tempo de viagem. Alguns softwares utilizados para a roteirização de veículos não realizam apenas esta tarefa. Além de definir a rota, os softwares desempenham um mapeamento computadorizado e permitem um gerenciamento da base de dados. Esses softwares são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Neste caso, um algoritmo para roteamento de veículos é integrado a um SIG, de cuja base de dados se obtém as informações necessárias para o roteamento que mostra as rotas resultantes.

Contudo, as peculiaridades de cada situação é que direcionam à sistematização do problema e auxiliam na escolha do método de solução. Pois, as restrições e extensões dos problemas tornam suas soluções mais complexas, exigindo, assim, um método de solução mais abrangente.

7.4 - Sistema de Informação Geográfica - SIG

Modelos de roteirização e áreas relacionadas com gerenciamento, tal como análise de localização, fazem grande uso de dados geográficos. Um sistema para auxiliar estas decisões deve ser capaz de manusear esses dados espaciais. Segundo Keenan (1998), a exibição e manipulação das informações geográficas e espaciais em um computador são realizadas usando-se um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

No passado, a análise das informações espaciais era realizada basicamente através da utilização de mapas em papel. Atualmente, existem softwares que permitem o uso de tais informações para auxiliar na tomada de decisão. Para Nazário (1998), análise do tipo quantos e quais clientes serão atendidos no raio de 150 km é facilmente

realizada pela tecnologia SIG. Além disso, pode-se fazer análises e gerar mapas temáticos, utilizando mapas digitalizados contendo rodovias, ferrovias e informações sobre dados georeferenciados. No roteamento de veículos, um Sistema de Informação Geográfica é fundamental, pois permite ao usuário visualizar as rotas que foram geradas a partir de um algoritmo.

Segundo Teixeira *et al.* (1992) os SIGs gerenciam e integram três tipos de arquivos: banco de dados, arquivos geográficos e arquivos de pontos. Eles se baseiam em uma tecnologia de coleta, armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais e temporais e na geração de informações.

De uma maneira geral, um SIG pode ser visto como um sistema composto por um banco de dados, por um conjunto de software destinado à execução de operações sobre os dados (análise espacial) e pelo hardware. Um SIG é constituído basicamente por um mapeador temático automatizado, onde as informações obtidas são representadas na forma de camadas (*layers*) e tais características se unem à potencialidade dos bancos de dados automatizados.

Segundo Câmara (1994) os SIGs se destinam à manipulação de informações, que se apresentam na forma de dados referenciados espacialmente e de atributos. Esta tecnologia não é um mero auxílio à produção cartográfica. Além da possibilidade de lidar com diversas projeções cartográficas, os SIGs possuem capacidade de tratar as relações espaciais entre objetos geográficos, definidas por topologia, obtidos através de algoritmos. Os SIGs são ferramentas para modelagens e simulações diversas, não constituindo-se simplesmente por inventários de informação, sendo esta a principal característica que difere o SIG de um aplicativo do tipo CAD.

Para Demers (2000) SIG é uma ferramenta que permite o processamento de dados espaciais dentro da informação, geralmente quando se trata de informação relacionada e utilizada para fazer decisões sobre alguma parte da terra.

Uma definição comum de SIG encontrada na literatura, segundo Nazário (1998), relaciona esta tecnologia com uma ferramenta que associa banco de dados a mapas digitalizados. Sistema de Informação Geográfica é uma coleção de software, hardware, dados geográficos e pessoais para facilitar o processo de tomada de decisão que envolve o uso de informações georeferenciadas na organização.

O uso do termo SIG relacionado a atividades tecnológicas computacionais geograficamente orientadas ainda não apresenta uma definição amplamente aceita. Isto é contribuído por: recente desenvolvimento do setor; diversidade das áreas de atuação; isolamento de pesquisadores e cientistas desenvolvendo terminologias e produtos dissociados dos conceitos de base e diversidade de critérios utilizados na sua classificação que são genealogia, custos, tamanho, plataforma, área de aplicação e modelo de dados (DANTAS *et al.*, 1996).

Segundo Dantas *et al.* (1996), pode-se considerar o SIG como um tipo de sistema de informação que envolve de forma sistêmica e interativa, banco de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georeferenciados para obtenção de novas informações. Essa concepção de SIG é proposta pela Figura 14.

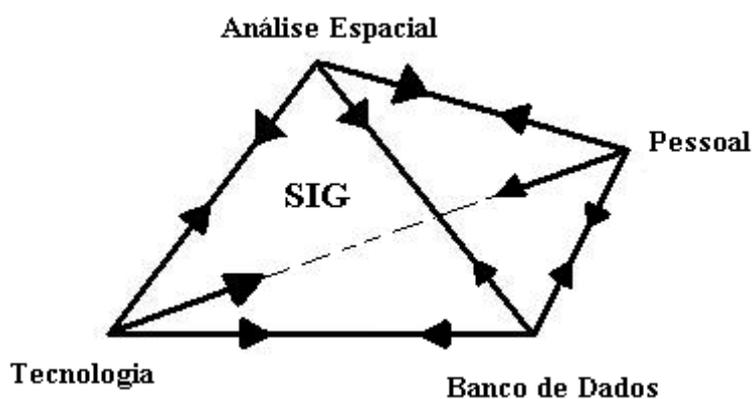


Figura 14 – Elementos de um Sistema de Informação Geográfica

Fonte: Dantas *et al.* (1996)

O termo SIG é frequentemente usado para descrever um número de aplicações e sistemas. Ele cobre grandes áreas, envolvendo dados espaciais que criam confusão na mente dos novos pesquisadores. Por esta razão uma definição simples é dada por Aldosary e Zaheer (1996) que definem SIG como um sistema computadorizado que pode reunir e usar dados que descrevem sua posição natural sobre a superfície terrestre. As principais funções do SIG são coletar, armazenar, manipular, analisar e exibir dados.

A coleta de dados envolve a conversão dos dados gráficos ou atribuídos, em formato digital. Os dados gráficos são coletados através de digitalização e os dados atribuídos são armazenados em arquivos de entrada. Armazenagem e manipulação de dados envolvem controle e edição de arquivo. Análise de dados consiste no questionamento da base de dados, análises espaciais e modelagem. Por último, a exibição de dados ilustra os resultados através do uso de mapas.

A tecnologia SIG está explorando novas áreas de aplicações e o uso de SIG tem crescido a uma grande taxa. Hanigan (*apud* ALDOSARY E ZAHEER, 1996) descreveu as aplicações do SIG na área de serviços públicos. Os serviços públicos de eletricidade, gás, água, lixo e telefone têm admitido grande aceitação da tecnologia SIG.

No estudo de roteirização de veículos, os SIGs auxiliam na determinação da solução ótima através de algoritmos baseados em métodos matemáticos. Para Worrall (1990), Laurini e Thompson (1992) e Bonham-Carter (1994), os SIGs são facilmente usados para roteirização de veículos, desde que eles possam representar uma grande variedade de informação sobre os mapas. Entretanto, até recentemente, os SIGs se concentravam apenas na armazenagem e exibição de informações espaciais.

Rosseto & Cunha (1994) discutiram a utilização de SIGs na roteirização de veículos. Os autores identificaram a oportunidade e os benefícios da aplicação de técnicas de geoprocessamento, em especial na interação com o usuário despachador, na manutenção da base de dados da rede viária e de transportes e, na localização espacial de clientes. Eles também descreveram uma aplicação prática de interação entre um SIG e um algoritmo de roteirização.

Parafina (1995) implementou o SIG TransCAD para o roteamento dos veículos do serviço de coleta de resíduo sólido da cidade de Austin, Texas. Antes da implementação do programa, as rotas eram geradas manualmente com supervisão do analista de rotas. A empresa que criou o software melhorou o algoritmo de roteamento de acordo com as especificações dadas pelos profissionais que realizam o serviço na cidade. Assim, o algoritmo tenta achar o menor caminho entre os pontos de parada predeterminados ao longo da rede, enquanto faz compensações para o tempo de coleta, velocidade de viagem e número de paradas ao longo da rota. Por fim, as rotas são checadas em campo e, se necessário, são melhoradas adequadamente.

Baaj *et al.* (*apud* SARKIS, 2000) aplicaram a tecnologia SIG na área de roteamento. Para tanto, apresentaram dois estudos de caso. O primeiro focaliza o projeto e análise de redes de transporte para a coleta diferenciada dos resíduos de pneus no estado do Arizona, Estados Unidos da América. O segundo estudo de caso focaliza o gerenciamento do transporte (rota) e dos riscos do carregamento de resíduos perigosos, através da fronteira dos Estados Unidos da América com o México. Ambas as aplicações de roteamento tiraram vantagens da eficiência e produtividade da tecnologia SIG e foram implementadas no software TransCAD.

Um SIG, segundo Nyerges (1990), é definido como um sistema de hardware, software, dados, pessoas, organizações, planos institucionais para coleta, armazenagem, análise e difusão de informação sobre áreas da terra. Enquanto esta tecnologia tem sido sucessivamente aplicada como recurso de problemas de administração, a aplicação de SIG a problemas de transporte é relativamente nova. O alvo principal de um SIG para transportes (SIG-T) está sobre áreas da terra que envolve uma rede de transporte.

Os SIG-T, por sua vez, são Sistemas de Informações Geográficas que integram procedimentos para o planejamento, gerenciamento e análise de sistemas de transporte (TANURE, 1999). As aplicações do SIG-T são diversificadas. Entre elas, pode-se citar o transporte coletivo urbano, rodoviário, de carga, coleta de lixo e na engenharia de tráfego. Essa crescente utilização pode ser atribuída às características dos SIGs, que com a evolução dos recursos computacionais, permitiu o desenvolvimento de tecnologias capazes de gerenciar grande quantidade de informações de forma rápida e a custos relativamente baixos.

O uso do SIG em programas de gerenciamento de resíduos sólidos tem sido o novo foco de estudo dos pesquisadores operacionais. Devido às variações espaciais e temporais sobre os fatores sociais, econômicos e regionais, os programas de gerenciamento de resíduos sólidos têm se reorganizado freqüentemente. O custo de coleta dos resíduos representa uma grande parte do gasto municipal no gerenciamento de resíduos sólidos, e assim, a otimização do serviço de coleta pode gerar grande economia.

8 - MATERIAIS E MÉTODO

O trabalho proposto dividiu-se em duas etapas:

- Elaboração e envio de questionário a cidades brasileiras de pequeno porte;
- Aplicação do software no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares de uma cidade de pequeno porte.

8.1 – Elaboração e Envio de Questionário a Cidades Brasileiras de Pequeno Porte

Para Barros (1999) as cidades de pequeno porte não têm recursos humanos capacitados e não têm recursos financeiros para enfrentar a problemática dos resíduos sólidos. Elas apresentam maior inércia para a mudança de comportamento que as novas formas de gestão de resíduos exigem e, a confortável distância física do problema tem adiado a adoção de soluções mais eficientes.

Peixoto (*apud* DELUQUI, 1998) afirmou que não existe definição sobre o que venha a ser município de pequeno, médio ou grande porte, sobretudo quando se discute o tamanho destes, baseado no número de habitantes. Mas, uma classificação proposta por Sanches (*apud* DELUQUI, 1998) é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação dos municípios brasileiros

| Tipo | Número de Habitantes |
|----------------------|-----------------------------|
| Metrópoles Nacionais | > 3.000.000 |
| Metrópoles Regionais | 1.000.000 a 3.000.000 |
| Grandes | 500.000 a 1.000.000 |
| Médios | 50.000 a 500.000 |
| Pequenos | 20.000 a 50.000 |

Fonte: Sanches (*apud* DELUQUI, 1998)

De acordo com esta classificação e segundo os resultados do CENSO realizado pelo IBGE em 2000, a Tabela 5 foi elaborada para demonstrar a distribuição populacional pelas cidades brasileiras.

Tabela 5 – Distribuição da população pelas cidades brasileiras

| Tipo | Número de Habitantes | Número de Cidades | % |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------|----------|
| Metrópoles Nacionais | > 3.000.000 | 2 | 0,13 |
| Metrópoles Regionais | 1.000.000 a 3.000.000 | 11 | 0,74 |
| Grandes | 500.000 a 1.000.000 | 18 | 1,21 |
| Médios | 50.000 a 500.000 | 494 | 33,18 |
| Pequenos | 20.000 a 50.000 | 964 | 64,74 |
| Total | | 1.489 | 100,00 |

O questionário foi enviado às cidades com população entre 20.000 e 50.000 habitantes, correspondendo a grande maioria das cidades brasileiras. Algumas exceções foram feitas com o intuito de se avaliar todos os Estados brasileiros. Por exemplo, para os Estados do Amapá e de Roraima, o questionário foi enviado a cidades com população inferior a 20.000 habitantes. A Tabela 6 mostra a quantidade de questionários enviados por Estado.

O questionário elaborado está mostrado no Anexo A. O envio do questionário teve como objetivo adquirir informações referentes às características dos sistemas de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidades brasileiras de pequeno porte (quantidade de resíduos gerados, frequência de coleta, tipo e capacidade dos veículos coletores, método utilizado para dividir os setores de coleta, métodos e técnicas utilizadas para definir roteiros do caminhão coletor).

Tabela 6 – Quantidade de questionários enviados por Estado

| Região | Estado | Número de Cidades | % |
|---------------|---------------------|--------------------------|----------|
| Norte | Rondônia | 13 | 3,23 |
| | Acre | 6 | 1,49 |
| | Amazonas | 18 | 4,47 |
| | Roraima | 2 | 0,50 |
| | Pará | 18 | 4,47 |
| | Amapá | 4 | 0,99 |
| | Tocantins | 9 | 2,23 |
| Nordeste | Maranhão | 19 | 4,71 |
| | Piauí | 18 | 4,47 |
| | Ceará | 19 | 4,71 |
| | Rio Grande do Norte | 15 | 3,72 |
| | Paraíba | 18 | 4,47 |
| | Pernambuco | 17 | 4,22 |
| | Alagoas | 17 | 4,22 |
| | Sergipe | 14 | 3,47 |
| | Bahia | 19 | 4,71 |
| Sudeste | Minas Gerais | 21 | 5,21 |
| | São Paulo | 20 | 4,96 |
| | Espírito Santo | 15 | 3,72 |
| | Rio de Janeiro | 13 | 3,23 |
| Sul | Paraná | 18 | 4,47 |
| | Santa Catarina | 18 | 4,47 |
| | Rio Grande do Sul | 20 | 4,96 |
| Centro-Oeste | Mato Grosso do Sul | 18 | 4,47 |
| | Mato Grosso | 16 | 3,97 |
| | Goiás | 18 | 4,47 |
| Total | | 403 | 100,00 |

8.2 – Estudo de Caso

O estudo de caso foi realizado para a cidade de Ilha Solteira, localizada na região noroeste do Estado de São Paulo a, aproximadamente, 670 km de distância da capital. A cidade possui uma população de aproximadamente 24.000 habitantes. As principais atividades econômicas desenvolvidas na cidade são agricultura e piscicultura. Além disso, a cidade constitui-se em um pólo de atração de estudantes de nível superior, com um campus da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

A Figura 15 ilustra a localização geográfica da cidade de Ilha Solteira.



Figura 15 – Localização geográfica da cidade de Ilha Solteira

O órgão responsável pela execução dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares é a própria Prefeitura Municipal. A Tabela 7 ilustra os dados representativos da produção diária de resíduo sólido domiciliar durante uma semana. A pesagem desse resíduo foi realizada durante o período de julho a agosto de 2001.

Tabela 7 – Produção diária de resíduo sólido domiciliar na cidade de Ilha Solteira/SP

| Dia | Peso (kg) |
|---------------|------------------|
| Segunda-feira | 21.670 |
| Terça-feira | 11.019 |
| Quarta-feira | 10.989 |
| Quinta-feira | 11.055 |
| Sexta-feira | 9.803 |
| Sábado | 9.223 |

A coleta e o transporte de resíduos sólidos domiciliares em Ilha Solteira tem como objetivo atingir toda a população e, também, impedir o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo nesses resíduos.

Devido ao clima e à natureza orgânica putrescível dos resíduos sólidos domiciliares, a coleta do lixo nesse município ocorre de maneira diária em toda a área urbana. Desta forma, evita-se que a população lance esses resíduos em terrenos baldios ou em vias públicas, podendo gerar graves conseqüências à saúde pública e à qualidade do meio urbano.

A operação de coleta acontece em seis dias da semana (segunda-feira a sábado), no período da manhã. Nas segundas-feiras e nos dias posteriores aos feriados, quando a quantidade de resíduo gerado é maior, há a necessidade da realização de uma coleta adicional no período da tarde. No período da manhã, a coleta ocorre das 7:00 h às 12:00 h e quando necessário, no período da tarde, o serviço é realizado das 14:00 h até por volta das 16:00 h.

A operação de coleta dos resíduos sólidos domiciliares/comerciais nessa localidade não ocorre de forma conjunta. Cada tipo de resíduo é coletado por um veículo específico. Os resíduos sólidos domiciliares são coletados diretamente nas residências devidamente acondicionados em sacos plásticos ou caixas de papelão. Para a coleta do resíduo sólido comercial, existem recipientes metálicos espalhados pela cidade, principalmente na região central, que são utilizados como depósitos de lixo. O veículo responsável pela coleta desse tipo de resíduo percorre diariamente os pontos onde se localizam os recipientes metálicos.

Atualmente, a frota para coleta de resíduos sólidos domiciliares é composta por três veículos. Dois veículos são do tipo caçamba metálica fechada, dotados de dispositivo hidráulico de prensagem ou compactação, que permite a redução do volume aparente do lixo. Um dos veículos apresenta capacidade líquida para 5 t e o outro para 3,5 t de resíduos. O terceiro veículo é do tipo caçamba metálica aberta, com capacidade líquida para 2 t de resíduo. Ambos se encontram em bom estado de conservação, não apresentando problemas operacionais que prejudiquem o serviço.

A cidade de Ilha Solteira é dividida em três setores de coleta, sendo que cada um é coberto por um único veículo. Cada veículo possui uma equipe de três garis e um motorista. O motorista está sempre atento ao serviço, definindo a velocidade com que se move o veículo, e também, atento à segurança dos garis, uma vez que a rede viária apresenta ruas estreitas que exigem a habilidade do condutor.

Para cada setor de coleta é proposto um itinerário a ser cumprido pelo veículo coletor. O roteiro de coleta é definido pelo próprio motorista, baseado na distância, capacidade do veículo e no seu conhecimento geográfico. O itinerário de cada motorista é o mesmo para todos os dias da semana.

Quando o veículo atinge aproximadamente a carga máxima, o motorista o conduz para o local de disposição final, conhecido como lixão, já que o lixo é espalhado em um terreno baldio a céu aberto, sem nenhum tipo de tratamento ou medidas de proteção ao meio-ambiente.

Depois de descarregado, se o veículo já tiver cumprido seu itinerário, ele deverá retornar à garagem e os funcionários estarão dispensados. Caso contrário, eles reiniciarão a operação de coleta do ponto onde pararam ou então, determinam um intervalo para o almoço.

8.3 – Aplicação do Software

8.3.1 – Descrição do Software e Hardware a Serem Utilizados

O software que foi utilizado é denominado comercialmente de TransCAD. A versão utilizada é a 3.2 for *Windows*. Para Cairns (1998) o software TransCAD possibilita a definição de redes, viagens, matrizes e tem uma série de algoritmos desenvolvidos para transporte, fornecendo uma funcionalidade adicional às tradicionais ferramentas disponíveis em um SIG. Ele também possibilita ao usuário comandos relativamente simples e uma linguagem de fácil compreensão. Por isto, o TransCAD parece ser um pacote ideal para análises gerais de SIG, e mais especificamente, por pesquisadores em transporte, que já o tem explorado em vários contextos da área.

Segundo Santos (1999), o software TransCAD, além das vantagens proporcionadas por um SIG, tem módulo específico que trata de logística e roteirização, compostos em capítulos por abordagens, tais como:

- problemas de fluxo em rede;
- localização de instalações;
- distritamento;
- agrupamento;
- roteirização em arcos e em nós.

A ferramenta TransCAD foi designada para auxiliar profissionais de transporte em seus trabalhos diários. Ela possui aplicações para todos os tipos de dados de transporte e para todos os modos de transporte e é ideal para a construção de informação de transporte e suporte de sistemas de decisão.

O TransCAD é um SIG que pode ser utilizado para criar e personalizar mapas, construir e manter bases de dados geográficos, e efetuar vários tipos de análises espaciais. O TransCAD inclui recursos sofisticados de SIG, tais como análise de superposição de polígonos, áreas de contorno e geocodificação, além de apresentar uma estrutura ampla que suporta compartilhamento de dados em rede.

As funções de SIG no TransCAD podem ser utilizadas para preparar, visualizar, analisar e apresentar o caso em estudo. Além de utilizar os módulos aplicativos para solucionar problemas de roteirização e logística, envolvendo o transporte de maneira mais prática e eficiente do que outros produtos, o TransCAD também inclui objetos de dados de transporte, tais como: redes de transporte e rotas e sistemas de rotas

Redes de Transporte

As redes de transporte são estruturas de dados especializados, representando as regras que gerenciam viagens sobre uma rede viária. As regras são armazenadas muito rapidamente. As redes de transporte incluem características detalhadas, tais como:

- restrições e atrasos de conversões;
- passagens por baixo ou por cima (pontes e túneis) e trechos de sentido único;
- atributos de interseções e junções;
- pontos de transferência entre rotas ou intermodais e funções de atraso;
- conectores de centróides de zonas;
- classificações de trechos e funções de desempenho;
- trechos de acesso e de regresso.

Rotas e Sistemas de Rotas

As rotas ou sistemas de rotas indicam os itinerários de veículos de coleta e entrega, linhas de ônibus ou viagens individuais de um lugar para outro. O TransCAD inclui ferramentas para criar, mostrar, editar e manipular rotas, além de uma tecnologia única de representação e mapeamento de rotas em formato claro e convincente. Pode-se organizar um conjunto de rotas relacionadas em um único sistema, além de incluir atributos das rotas, localização de pontos de paradas e programação de veículos.

Os equipamentos utilizados para processamento e apresentação das informações foram:

- CPU: Pentium 133MHZ, 64 MB de memória RAM e disco rígido de 4 GB com sistema operacional *Windows 98*;
- Versão acadêmica do TransCAD, versão 3.2;
- Impressora jato de tinta colorida, série 720C da HP.

8.3.2 – Obtenção, Entrada e Processamento dos Dados

As informações referentes ao sistema viário da cidade foram obtidas através de arquivos de um programa CAD (AutoCAD 2000), no formato .dwg, adquiridos junto à Prefeitura Municipal, em escala 1:3000.

Para o início do presente trabalho, traçou-se toda a rede viária da cidade. Este arquivo foi salvo em formato .dxf e em seguida exportado para o software TransCAD. A Figura 16 mostra a imagem vetorial da rede viária digitalizada.

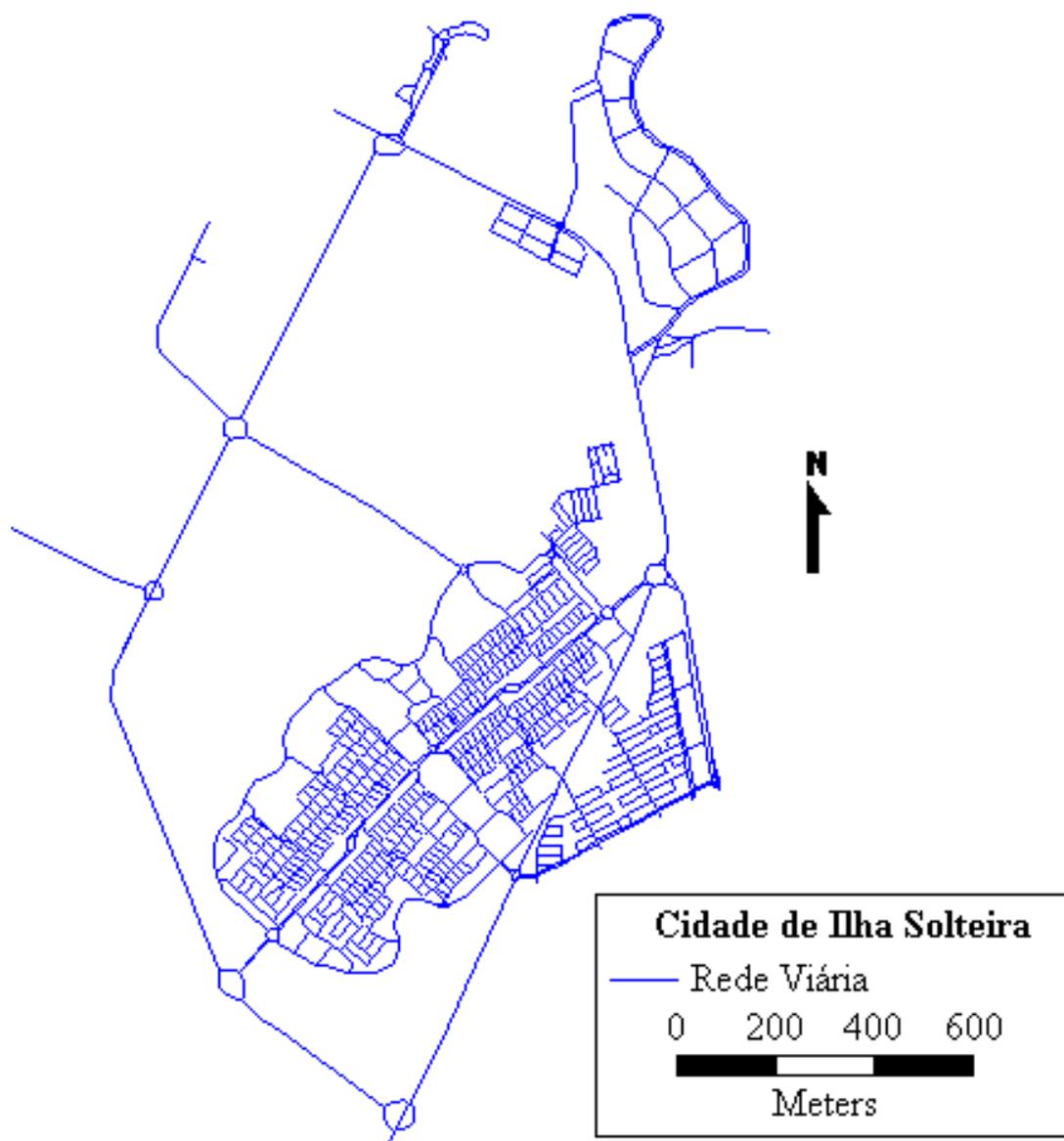


Figura 16 – Rede viária da cidade de Ilha Solteira/SP

Posteriormente, foram realizadas as seguintes atividades:

- nomeação das vias;
- atualização da rede viária;
- levantamento do sentido de fluxo das vias;

- delimitação e determinação da quantidade de resíduo gerado em cada setor de coleta;
- identificação das vias que seriam servidas pelo serviço de coleta;
- localização da garagem e do local de disposição final;
- levantamento de informações sobre o veículo coletor;
- coleta de Dados;
- preenchimento da base de dados do software.

a) Nomeação das Vias

Nesta etapa, todas as vias foram nomeadas com o intuito de facilitar o uso das ferramentas do software nas simulações futuras.

b) Atualização da Rede Viária

Foi realizado um levantamento em campo a fim de identificar vias não existentes e vias a serem inseridas no mapa da rede viária. Essa atualização foi realizada no software TransCAD através de suas ferramentas gráficas.

c) Levantamento do Sentido de Fluxo das Vias

Esta etapa foi imprescindível devido a aplicação que se pretendia realizar, a roteirização de veículos. O levantamento desta informação foi realizado com base no conhecimento da rede viária e, também, por meio de visitas a algumas vias em que se desconheciam o seu sentido.

d) Delimitação e Determinação da Quantidade de Resíduo Gerado em Cada Setor de Coleta

Dados referentes a área de estudo foram obtidos junto ao Setor de Obras e Serviços da Prefeitura Municipal, que é responsável pela execução dos serviços de limpeza pública. Com base em uma planilha de dados de pesagem realizada durante os meses de julho e agosto de 2001, determinou-se a quantidade de resíduo gerado em cada setor. Por se tratar de dados utilizados pelo próprio responsável do serviço de coleta, optou-se por também utilizá-los.

e) Identificação das Vias que Seriam Servidas pelo Serviço de Coleta

No arquivo geográfico de linhas foram identificadas as vias que seriam servidas pelo serviço de coleta. Nas ruas sem saída, considerou-se a seguinte situação: o veículo coletor percorre a via realizando o serviço de coleta e em seguida executa uma manobra em U. Esta situação foi considerada em função do serviço de coleta atual realizar este mesmo trajeto.

f) Localização da Garagem e do Local de Disposição Final

Seleção dos nós, no arquivo geográfico de pontos, que identificavam a localização da garagem e do local de disposição final do resíduo sólido coletado.

g) Levantamento de Informações sobre os Veículos Coletores

Esta etapa consistiu em se conhecer a real capacidade dos veículos de coleta. Esta informação tornou-se importante pelo fato de considerar a geração de resíduo nas simulações. Através do campo *Create Shifts* foi possível inserir este dado.

Outra informação também utilizada foi a velocidade do veículo durante a realização do serviço de coleta, já que se pretendia analisar também o tempo total de percurso.

h) Coleta de Dados

A coleta dos dados para a simulação de rotas foi realizada através do formulário que está mostrado na Figura 17. Este formulário foi elaborado com base na revisão bibliográfica sobre coleta de resíduos sólidos domiciliares.

| COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES | | |
|---|----------------------|----|
| Dia da Semana: | | |
| Data: | | |
| Veículo: | | |
| Área de Coleta: | | |
| 1ª Viagem | Saída da Garagem: | Km |
| | Início da Coleta: | Km |
| | Fim da Coleta: | Km |
| | Descarga no Lixão: | Km |
| | Saída do Lixão: | Km |
| 2ª Viagem | Início da 2ª Coleta: | Km |
| | Fim da 2ª Coleta: | Km |
| | Descarga no Lixão: | Km |
| | Saída do Lixão: | Km |
| 3ª Viagem | Início da 3ª Coleta: | Km |
| | Fim da 3ª Coleta: | Km |
| | Descarga no Lixão: | Km |
| | Saída do Lixão: | Km |
| Almoço | Chegada na Garagem: | Km |
| | Saída da Garagem: | Km |
| 4ª Viagem | Início da 4ª Coleta: | Km |
| | Fim da 4ª Coleta: | Km |
| | Descarga no Lixão: | Km |
| | Saída do Lixão: | Km |
| Final | Retorno a Garagem: | Km |

Figura 17 – Formulário de pesquisa sobre coleta de resíduos sólidos domiciliares

i) Preenchimento da Base de Dados

Quanto aos campos que compunham a base de dados, optou-se por utilizar os propostos pela CALIPER (1996) para facilitar a utilização dos procedimentos a serem adotados no estudo de caso.

Os Quadros 6 e 7 identificam os campos a serem preenchidos na base de dados das camadas de pontos e linhas.

Quadro 6– Campo na base de dados do arquivo geográfico de pontos

| Campo | Tipo | Função |
|--------------|-------------|--|
| ID | Inteiro | Número que identifica a camada de pontos |

Fonte: CALIPER (1996)

Quadro 7 – Campos na base de dados do arquivo geográfico de linhas

| Campo | Tipo | Função |
|----------------|-------------|---|
| ID | Inteiro | Número que identifica a camada de linhas |
| Dir | Inteiro | Número que indica o sentido de fluxo da via |
| Nome | Inteiro | Utilizado para identificar a via no relatório de itinerário |
| Time [min] | Real | Tempo, em minutos, necessário para o veículo atravessar cada via |
| Service Flag * | Inteiro | Número que identifica a via a ser atendida e o setor de coleta ao qual ela pertence |
| Service Load | Real | Quantidade de resíduo a ser coletado em cada via |
| Depot | Inteiro | A identificação da garagem |

Fonte: CALIPER (1996)

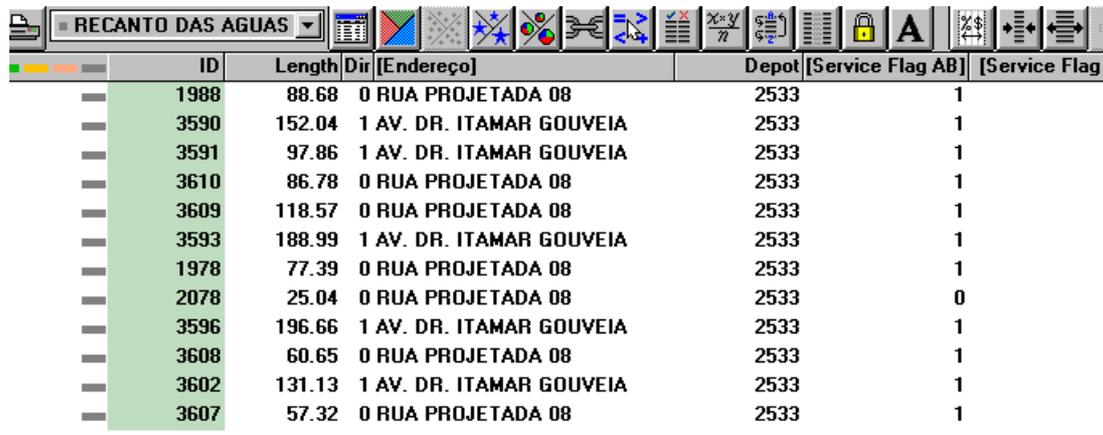
O campo marcado com um asterisco (*) é representado na base de dados por um par de arquivos, indicando dados relevantes nas duas direções ao longo de cada via, denominados bidirecionais.

Deve-se preencher o campo referente ao sentido, no qual a via seria atravessada, assegurando que o serviço de coleta seria realizado em uma única passagem. Se o sentido adotado coincidir com a direção topológica, sentido no qual as coordenadas foram armazenadas, deve-se preencher somente o campo referente ao “Service AB” e, se o sentido adotado não coincidir com a direção topológica, deve-se preencher somente o campo “Service BA”.

Quanto ao sentido das vias, o número 0 (zero) na base de dados indica que a rua é de mão dupla, o número 1 (um) indica que o sentido de fluxo coincide com a direção topológica da via e o número -1 (menos um) indica que o sentido de fluxo é contrário à direção topológica da via. Essa informação foi inserida através da opção *link direction*. Nas vias de sentido único, o campo “Service AB” foi preenchido quando o valor da direção era igual a 1 e o campo “Service BA”, quando era igual a -1.

O campo que contém a informação referente à quantidade de resíduo a ser coletado em cada via foi formulado da seguinte maneira: por meio de uma planilha de dados dispunha-se de um valor de pesagem do resíduo gerado em cada setor. Em seguida, determinaram-se todas as vias de coleta, para cada setor, com seus respectivos comprimentos. Somando-se todos esses comprimentos de vias em cada setor, obteve-se o comprimento total em que o serviço de coleta é requerido. Dividindo-se o peso do resíduo gerado pelo comprimento total de coleta, obteve-se a relação quantidade de resíduo gerado por metro. Esse valor foi multiplicado por cada valor de comprimento de via, a fim de se conhecer a quantidade de resíduo gerado na mesma. Por último, este valor final foi armazenado no campo “Service Load”.

Para efeito de ilustração a Figura 18 apresenta parte da base de dados do arquivo geográfico de linhas.



| ID | Length | Dir | [Endereço] | Depot | [Service Flag AB] | [Service Flag] |
|------|--------|-----|------------------------|-------|-------------------|----------------|
| 1988 | 88.68 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 1 | 1 |
| 3590 | 152.04 | 1 | AV. DR. ITAMAR GOUVEIA | 2533 | 1 | 1 |
| 3591 | 97.86 | 1 | AV. DR. ITAMAR GOUVEIA | 2533 | 1 | 1 |
| 3610 | 86.78 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 1 | 1 |
| 3609 | 118.57 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 1 | 1 |
| 3593 | 188.99 | 1 | AV. DR. ITAMAR GOUVEIA | 2533 | 1 | 1 |
| 1978 | 77.39 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 1 | 1 |
| 2078 | 25.04 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 0 | 0 |
| 3596 | 196.66 | 1 | AV. DR. ITAMAR GOUVEIA | 2533 | 1 | 1 |
| 3608 | 60.65 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 1 | 1 |
| 3602 | 131.13 | 1 | AV. DR. ITAMAR GOUVEIA | 2533 | 1 | 1 |
| 3607 | 57.32 | 0 | RUA PROJETADA 08 | 2533 | 1 | 1 |

Figura 18 – Base de dados do arquivo geográfico de linhas

Com a base de dados pronta, antes de executar a rotina, foi criada uma rede de transporte com base nas informações armazenadas. Completada esta etapa, partiu-se para a Rotina *Arc Routing*.

8.3.3 – A Rotina Arc Routing

No problema de roteirização em arco, pessoas ou veículos são despachados desde um ou mais depósitos para percorrer um conjunto de vias (links) a serem servidas. O resultado de um problema de roteirização em arco é um conjunto de uma ou mais rotas que cobrem todas as vias a serem servidas, com mínima quantidade de vias que não necessitem serem servidas. Todas as rotas iniciam e terminam na garagem (CALIPER, 1996).

Segundo Deluqui (1998) o TransCAD utiliza o método de programação linear para roteirização em arco. O algoritmo toma como solução inicial um número mínimo de nós a serem carregados, verificando se a solução pode ser melhorada. Quando consegue ligar o nó de origem ao de destino, utilizando-se o número mínimo possível de vias e minimizando o número de vias percorridas sem a realização do serviço, o algoritmo pára de carregar os nós.

Para usar o método de roteirização em arco, deve-se fazer o seguinte:

- preparar um arquivo geográfico contendo as camadas de linha e nó (*layers line e node*);
- preparar os dados da rede viária (vias a serem servidas, número de passagens em cada uma, sentido da via, geração de resíduo);
- criar um arquivo de rede desde a camada de linha (*layer line*), incluindo todos os atributos relevantes:
 - selecionar os nós ou intersecções que identifiquem a localização da garagem;
 - minimizar comprimento;
 - serviço AB ou BA tendo em vista que somente um atributo pode ser escolhido, pois em se tratando de arquivo bidirecional, uma vez escolhido um atributo, a rota será traçada para o correspondente;
 - código de serviço que corresponde ao número do setor;
- exibir resultados:
 - sistema de rota;
 - relatório de itinerário (*itinerary reports*);

O TransCAD resolve o problema de roteirização em arco, exibe relatórios de saída de dados e o sistema de rota. A visualização da rota na tela não se apresenta de uma forma clara, sendo então, indispensável a consulta ao relatório de itinerário quando se desejar obter mais detalhes sobre a rota do veículo no setor de coleta.

Por último, a análise do uso de SIG na coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte foi realizada por comparação entre as rotas simuladas e as praticadas atualmente pelo sistema estudado, em termos de distância e tempo de viagem.

9 - RESULTADOS OBTIDOS

9.1 - Caracterização dos Sistemas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em Cidades de Pequeno Porte

A fim de caracterizar o sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares, foram enviados 404 questionários a várias cidades brasileiras de pequeno porte. Do total de questionários enviados, foram retornados 9,65% do total. A Tabela 8 apresenta o percentual de questionários retornados estabelecendo uma comparação com os questionários enviados.

Tabela 8 – Porcentagem de questionários retornados

| Região | Estado | Questionários Enviados | Questionários Retornados | |
|--------------|---------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| | | | Total | % |
| Norte | Roraima | 2 | 1 | 50,00 |
| | Pará | 18 | 1 | 5,55 |
| | Tocantins | 9 | 1 | 11,11 |
| Nordeste | Rio Grande do Norte | 15 | 1 | 6,66 |
| | Paraíba | 18 | 1 | 5,55 |
| | Sergipe | 14 | 2 | 14,28 |
| | Bahia | 19 | 2 | 10,52 |
| Sudeste | Minas Gerais | 21 | 4 | 19,05 |
| | São Paulo | 20 | 6 | 30,00 |
| | Espírito Santo | 15 | 3 | 20,00 |
| | Rio de Janeiro | 13 | 2 | 15,38 |
| Sul | Paraná | 18 | 3 | 16,67 |
| | Santa Catarina | 18 | 3 | 16,67 |
| | Rio Grande do Sul | 20 | 3 | 15,00 |
| Centro-Oeste | Mato Grosso do Sul | 18 | 1 | 5,55 |
| | Mato Grosso | 16 | 3 | 18,75 |
| | Goiás | 18 | 2 | 11,11 |

Nota: nenhuma das cidades dos demais Estados retornou o questionário enviado

A análise dos questionários retornados foi prejudicada por alguns fatores:

- algumas respostas preenchidas à mão não eram legíveis;
- falta de uma padronização dos termos relativos à coleta domiciliar, pois algumas questões podem ter sido mal compreendidas pelo informante.

Considerando quatro aspectos da coleta domiciliar (geral, técnico, social e sanitário e, econômico e administrativo) procedeu-se a análise dos questionários.

A Tabela 9 apresenta um resumo dos aspectos gerais dos sistemas de coleta. Os resultados indicam que a quantidade média diária de lixo domiciliar coletado é em torno de 21 t. No Estado de Santa Catarina a quantidade média de resíduo coletado diariamente é de 42 t e no Estado do Paraná é de 13 t.

Tabela 9 – Aspectos gerais dos sistemas de coleta domiciliar nos municípios de pequeno porte

| Parâmetros | Característica |
|--|---|
| Lixo coletado diariamente | 20,8 t (em média) |
| População Atendida | 100% da cidade atendida – 46% 60 a 95% da cidade atendida – 46% menos de 50% da cidade atendida – 8% |
| Estudo sobre composição dos resíduos | não existe estudo – 61% já realizaram ou existe algum tipo de estudo – 36% não forneceram informação – 3% |
| Lixo domiciliar coletado com outro tipo de lixo | não – 38% sim – 62% |
| Tratamento | 74% não têm tratamento 26% apresentam algum tipo de tratamento |
| Destinação final | aterro sanitário – 36% aterro controlado – 31% lixão – 33% |
| Responsável pelo serviço | prefeitura – 72% terceirizado – 26% terceirizado (reciclável) e prefeitura (orgânico) – 2% |
| Comparação com a administração anterior (se atualmente o serviço é terceirizado) | atualmente é melhor – 46% ainda sem avaliação – 46% anteriormente era melhor – 8% |
| Coleta seletiva | não há – 28% existe ou há projeto para implantação – 72% |

Os resultados indicam ainda, que em apenas 46% dos municípios estudados, 100% da população local é atendida pelos serviços de coleta e, que na grande maioria das cidades não existe estudo sobre a composição dos resíduos.

Em 62% dos municípios os resíduos sólidos domiciliares são coletados conjuntamente com algum outro tipo de resíduo, sendo na maioria das vezes, conjuntamente com os resíduos comerciais.

Quanto ao tratamento, em 74% dos municípios não há tratamento dado ao lixo domiciliar. É importante ressaltar que nos 26% restantes, todas as cidades do Estado do Rio Grande do Sul apresentaram usina de triagem para segregação de materiais recicláveis. Quanto à destinação final, observa-se que já existe a consciência de se dar um destino adequado ao resíduo. No Estado de São Paulo, todas as cidades apresentaram aterro sanitário como forma de destinação final.

O responsável pelos serviços, na maioria das cidades, ainda é o poder público municipal. Mas vale ressaltar que em algumas cidades já existem estudos de viabilidade econômica para terceirização dos serviços. Para as cidades com serviços terceirizados, em 46% delas, o serviço foi considerado melhor que o serviço realizado, anteriormente, pela Prefeitura.

A respeito da coleta seletiva para reciclagem de materiais, em cerca de 72% das cidades já existem ou há projetos para implantação do programa. Nos Estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, todas ou quase todas as cidades já apresentam programas de coleta seletiva.

A Tabela 10 apresenta um resumo dos aspectos técnicos dos sistemas de coleta. Nota-se que grande parte dos municípios já dispõe de veículos compactadores para realizar a operação de coleta. Em função deste parâmetro, também se observa uma maior preocupação com a manutenção destes equipamentos. Das cidades avaliadas, cerca de 92% realizam algum tipo de manutenção em sua frota. Destas, 50% realizam manutenção rotineira ou preventiva.

A setorização é feita em 87% das cidades avaliadas. Os parâmetros utilizados variam em função da carga horária de trabalho, produção de resíduos e distância. Quanto à frequência de coleta, o serviço é realizado diariamente em 62% das cidades.

Tabela 10 – Aspectos técnicos dos sistemas de coleta domiciliar nos municípios de pequeno porte

| Parâmetros | Característica |
|--|--|
| Tipo de veículo utilizado | somente veículo basculante – 26% somente veículo compactador – 51% frota diversificada – 23% |
| Manutenção dos veículos | fazem algum tipo de manutenção (rotineira, preventiva, corretiva) – 92% não forneceram informações – 8% |
| Parâmetros para divisão em setores de coleta | carga horária – 26% produção de resíduo – 28% distância – 33% não há divisão – 13% |
| Frequência de coleta | diária em toda cidade – 62% alternada (três vezes por semana) – 15% diária no centro e alternada nas residências – 23% |

A respeito dos procedimentos utilizados para a definição de roteiros de coleta, não se obtiveram respostas satisfatórias. O intuito desta questão era saber se os percursos de coleta eram determinados manualmente, com base na experiência da equipe de trabalho, ou, se esses percursos eram determinados através do método computacional, com o auxílio de algum software de roteirização. Os questionários retornados continham diversas respostas, o que se concluiu que a questão deveria ter sido melhor elaborada.

Os aspectos social e sanitário são apresentados na Tabela 11. Com relação ao número de operários que realizam o serviço de coleta, ocorreu uma situação semelhante à questão anterior. Os questionários retornados revelaram a existência de equipes de trabalho muito grande, o que se concluiu que esses números deveriam incluir todos os operários do setor de limpeza pública. Assim, não se pôde atingir resultados satisfatórios.

Em 62% das cidades não há treinamento dos operários, mas 56% delas prestam algum tipo de serviço social, tais como ambulatorial, recreativo e alimentar. Sobre os EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) utilizados, 95% das cidades oferecem luvas e botas aos operários. Destas cidades, 65% oferecem mais algum outro tipo de acessório como máscaras, uniformes, óculos, coletes fosforescentes, capacetes e capas de chuva.

Tabela 11 – Aspectos social e sanitário dos sistemas de coleta domiciliar nos municípios de pequeno porte

| Parâmetros | Característica |
|--|--|
| Tipo de treinamento dado aos operários | palestras – 33% cursos – 5% não oferecem nenhum tipo de treinamento – 62% |
| Serviço social prestado aos operários | prestam algum tipo de serviço social (ambulatorial, recreativo, alimentar) – 56% não prestam nenhum tipo de serviço social – 36% não forneceram informações – 8% |
| Equipamento de proteção individual | luvas, botas – 95% não forneceram informações – 5% |
| Tipo de acidente durante a Coleta | registraram acidentes (cortes, torções, fraturas) – 59% não registraram acidentes – 31% não forneceram informações – 10% |
| Frequência de limpeza dos veículos | semanal – 38% diária – 49% duas vezes por semana – 8% não informaram – 5% |
| Avaliação por parte da população | excelente – 13% boa – 62% regular – 10% ruim – 5% não há avaliação – 10% |

Os registros de acidentes durante a operação de coleta ocorreram em 59% das cidades. Dos acidentes registrados, cerca de 82% ocorreram devido ao mal acondicionamento dos resíduos por parte da população, o que resultou em cortes ou torções nos funcionários.

O serviço de limpeza da frota tem sido prejudicado pelo fato de estar sempre em serviço. Em 49% das cidades é realizada a limpeza diária dos veículos e nas demais, o serviço é alternado, sendo uma ou duas vezes por semana.

De uma forma geral, os serviços de limpeza pública tiveram boa avaliação por parte da população. Isto demonstra que o desempenho do serviço está sendo adequado à localidade. Dentre todas as cidades que apresentam serviços terceirizados, apenas em 50% delas os serviços prestados pela empresa privada teve boa avaliação. Em 17% delas, o serviço foi considerado ruim. Conclui-se daí, que não basta transferir o problema para uma empresa privada e sim, que esse problema seja tratado de forma adequada e resolvido por profissionais competentes.

As informações referentes aos aspectos econômico e administrativo não apresentaram uma padronização de valores em que se pudesse chegar a resultados mais conclusivos. Nesse questionamento, a grande maioria das administrações do serviço de coleta de lixo não quis demonstrar os custos operacionais. Já as que demonstraram os valores, percebeu-se que o custo de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares varia muito de uma cidade para outra. Essa variação é explicada pelos diferentes tipos de sistemas de coleta existentes no País, sendo diferenciados pelos vários parâmetros analisados. A Tabela 12 ilustra uma análise comparativa de custos de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares em cidades de pequeno porte.

Tabela 12 – Análise comparativa de custos de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares em municípios de pequeno porte

| Cidades com Custos Superiores a R\$20.000,00 Mensais | Cidades com Custos Inferiores a R\$20.000,00 Mensais |
|--|---|
| População superior a 30.000 hab | População inferior a 30.000 hab |
| 90 a 100% da cidade é atendida pelo serviço de coleta | Em 75% destas, 90 a 100% da população é atendida pelo serviço de coleta |
| A coleta é realizada diariamente | Em 75% destas, a coleta é realizada de forma diária |
| Utilização de veículos compactadores | 80% destas utilizam-se de veículos compactadores |
| Em 90% destas, o serviço é realizado pela prefeitura | Em 31% destas, o serviço é terceirizado |
| Em 75% destas, a avaliação por parte da população é boa ou excelente | Em 75% destas, a avaliação por parte da população é boa ou excelente |
| Custo máximo informado de R\$55.000,00 | Custo mínimo informado de R\$3.000,00 |

Nota: este estudo foi realizado com os questionários que continham informações sobre os custos de coleta e transporte de resíduos sólidos

A contribuição das prefeituras e empresas responsáveis pela execução da coleta domiciliar foi um fator importante para a efetivação desta fase do trabalho, sem as quais não seria possível realizar as análises propostas.

9.2 - Resultados da Simulação pela Rotina *Arc Routing* para o Caso da Cidade de Ilha Solteira

9.2.1 – Área de Estudo

A cidade de Ilha Solteira apresenta três setores de coleta, sendo denominados da seguinte forma: Setor 1 ou Norte, Setor 2 ou Sul e Setor 3 ou Jardim Aeroporto/Jardim Novo Horizonte/Recanto das Águas/CDHU. A Figura 19 apresenta a localização geográfica destes setores.

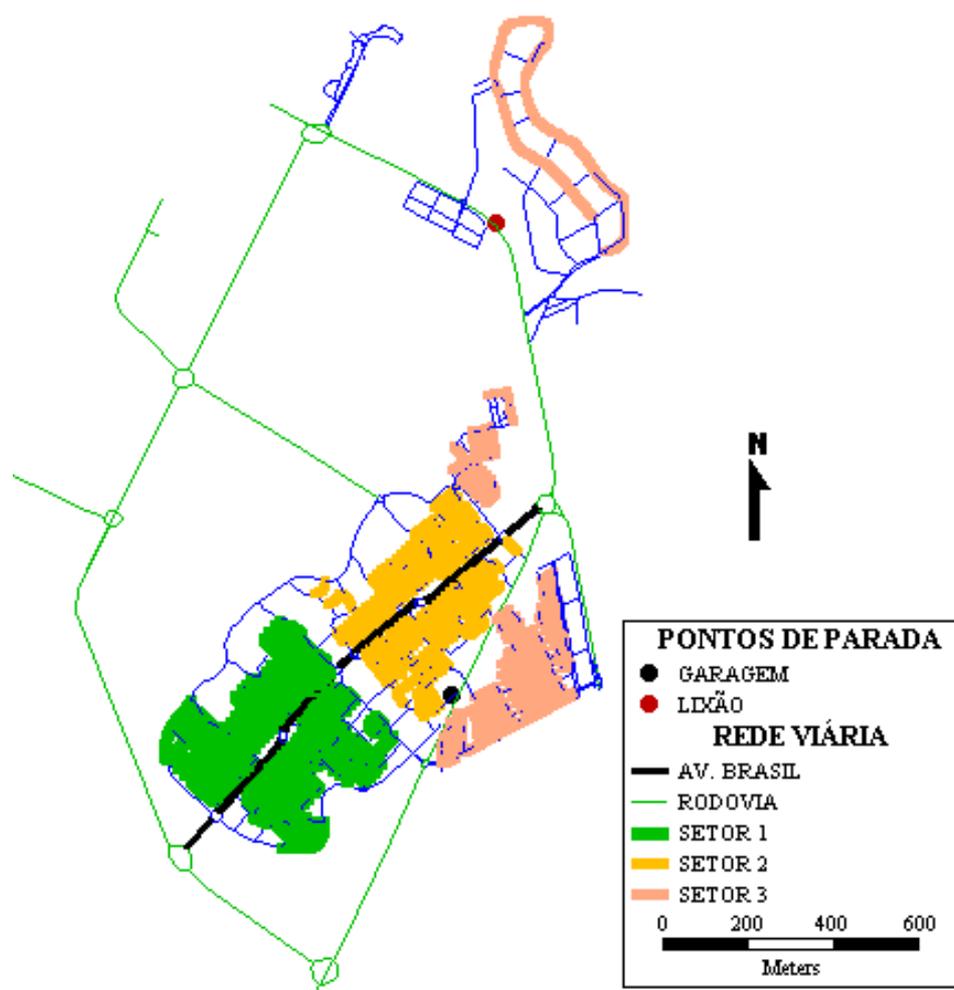


Figura 19 – Localização dos setores de coleta de resíduos sólidos domiciliares na cidade de Ilha Solteira/SP

Uma outra simulação também foi realizada, considerando-se a cidade como um único setor. Esta simulação teve o objetivo de analisar o comportamento do software em toda área de coleta e sendo esta coberta por apenas um veículo. Considerou-se que a capacidade líquida do veículo fosse de 5 t.

9.2.2 – Aplicação da Rotina Arc Routing

Com a base de dados pronta, criou-se a rede de transportes considerando restrições de movimento em alguns pontos da rede, particularmente para retornos em U.

A aplicação da rotina teve como objetivo minimizar a distância total percorrida pelo veículo coletor. Para cada setor foi traçado um itinerário de coleta. As Figuras 20, 21 e 22 demonstram a representação gráfica do roteamento do veículo para cada setor de coleta. A Figura 23 ilustra a representação gráfica do roteamento do veículo para o Setor 3, com a inclusão do Recanto das Águas. Esta área somente é atendida três vezes por semana (terça, quinta e sábado).

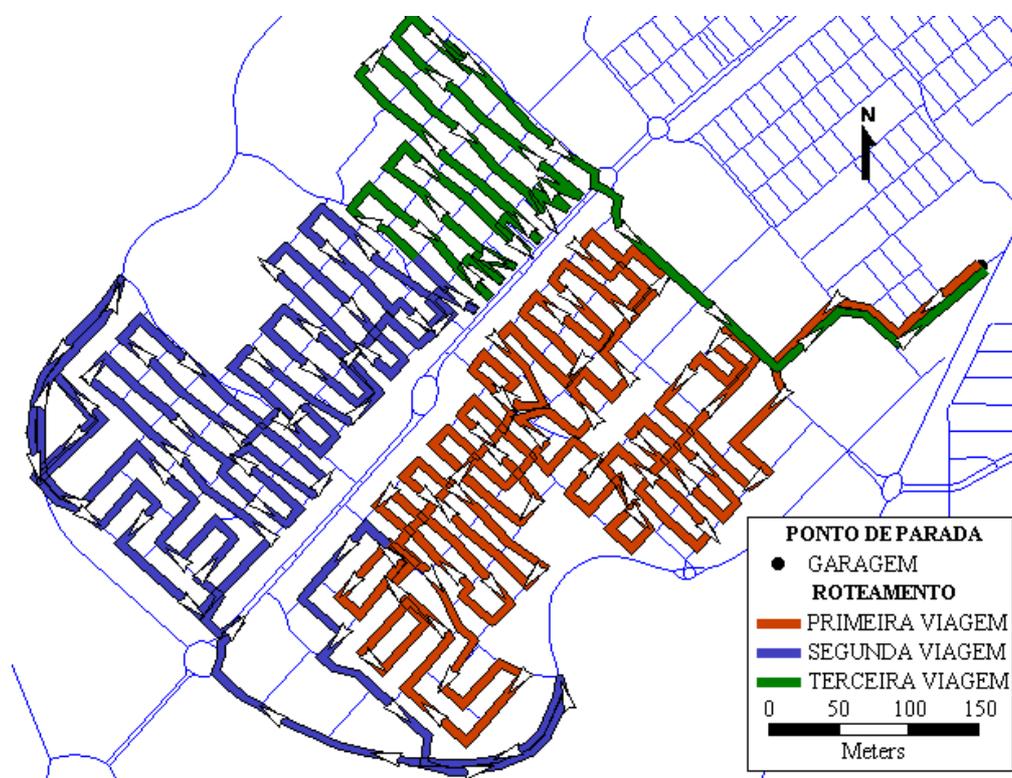


Figura 20 – Representação gráfica da coleta no Setor 1 para segunda-feira

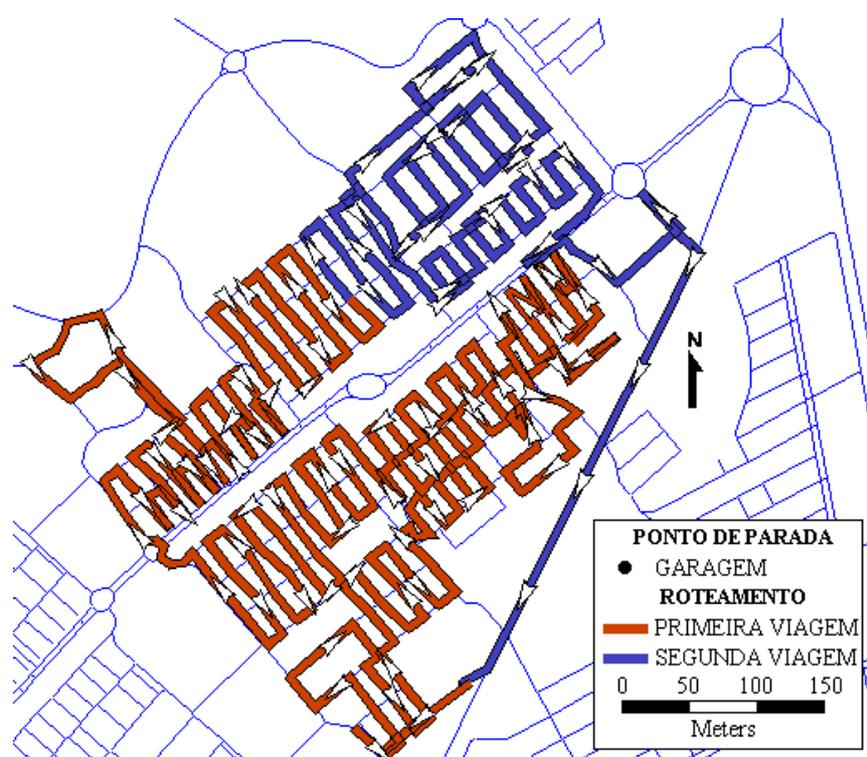


Figura 21 – Representação gráfica da coleta no Setor 2 para segunda-feira

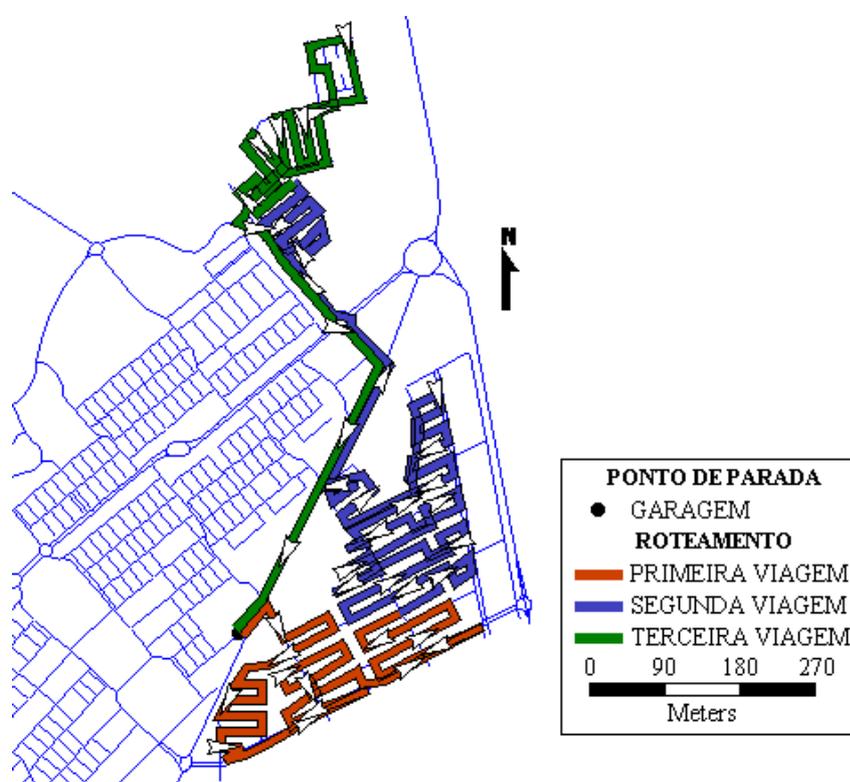


Figura 22 – Representação gráfica da coleta no Setor 3 para segunda-feira

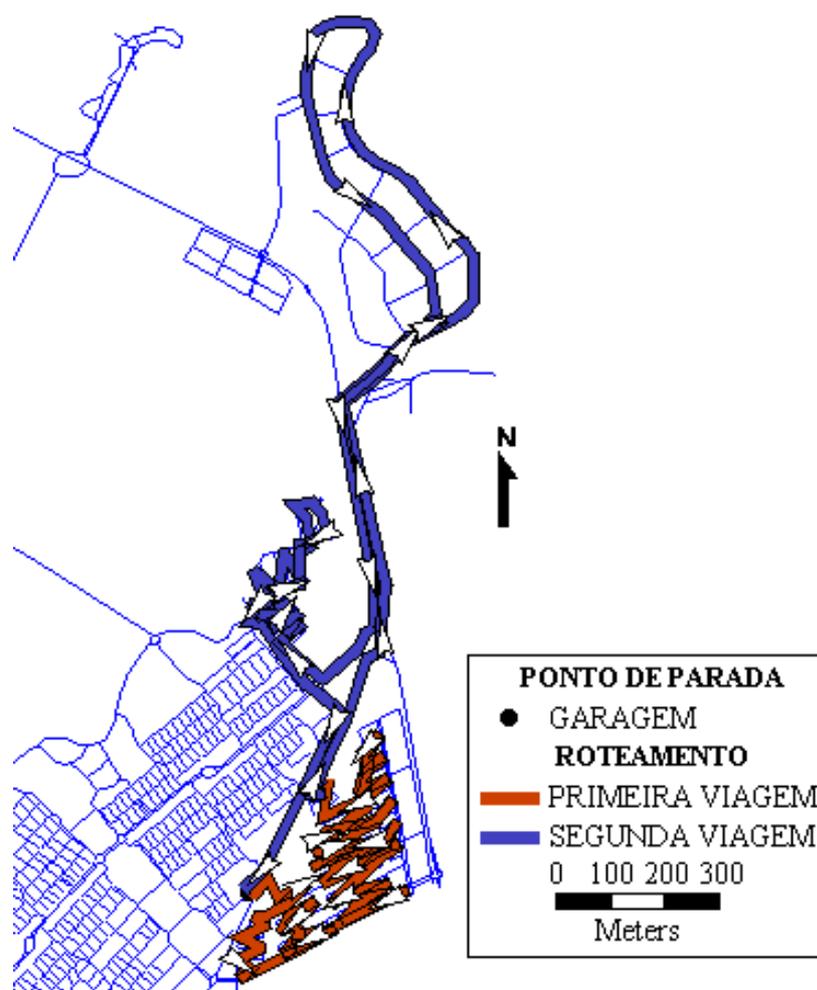


Figura 23 – Representação gráfica da coleta no Setor 3 com a inclusão do Recanto das Águas (terça-feira)

As Figuras 24 e 25 ilustram a representação gráfica do roteamento do veículo considerando toda a cidade como um único setor de coleta. A Figura 25 se diferencia pela inclusão do Recanto das Águas.

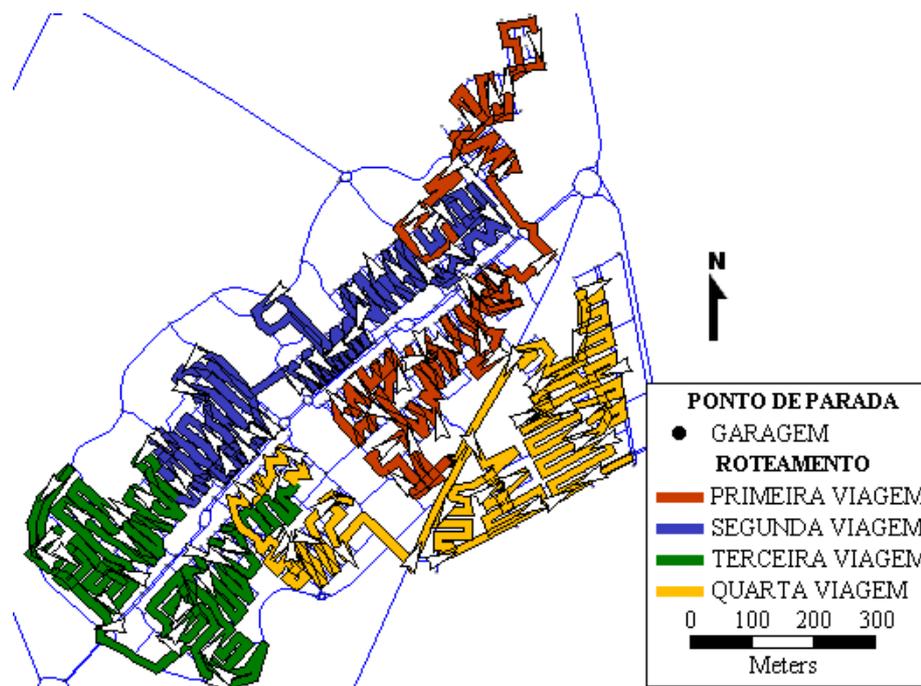


Figura 24 – Representação gráfica da coleta em toda a cidade para segunda-feira

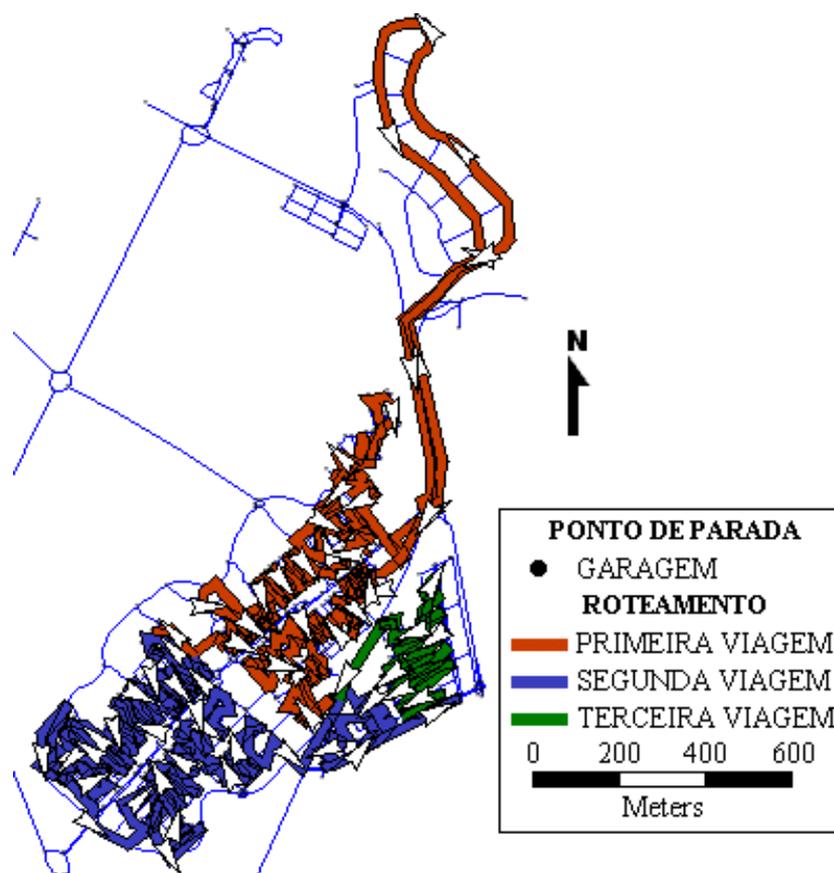


Figura 25 – Representação gráfica da coleta em toda a cidade com a inclusão do Recanto das Águas (terça-feira)

Como resultado da rotina, o TransCAD fornece o sistema de rota e dois relatórios. Um relatório detalha o itinerário a ser percorrido pelo veículo coletor e o outro apresenta todos os dados de entrada e saída.

O resultado da aplicação da rotina demonstrou que os itinerários de coleta dos setores norte e sul foram iguais em todos os dias. O mesmo também aconteceu com o outro setor, mas os itinerários de coleta foram dois, porque a coleta no Recanto das Águas ocorre em apenas três dias por semana. Esta mesma situação também ocorreu na simulação considerando-se toda a cidade como um único setor.

As simulações foram realizadas até que se conseguisse atingir a rota considerada ótima (percurso total mínimo). O parâmetro desta análise foi a representação gráfica determinada pelo software, avaliando a simulação que demonstrasse a mínima quantidade de passagens sobre vias já atendidas e também uma uniformidade no traçado de coleta, com poucos cruzamentos de rotas.

Para comparar os resultados computacionais com a situação real (método empírico), utilizou-se uma ferramenta do TransCAD para calcular caminhos mínimos, tendo apenas uma origem e um destino. Assim, esta ferramenta se adequou aos seguintes cálculos:

- caminho mínimo entre a garagem (origem) e o início da coleta (destino);
- caminho mínimo entre o fim da coleta (interseções/origem) e o local de disposição final (destino);
- caminho mínimo entre o local de disposição final (origem) e o reinício da coleta (destino);
- caminho mínimo entre o local de disposição final (origem) e a garagem (destino).

O cálculo desses caminhos mínimo acrescentado aos resultados fornecidos pela rotina foi utilizado para o cálculo dos parâmetros operacionais para cada setor. Os parâmetros calculados são detalhados a seguir:

- *Total Percorrido* – é o somatório das distâncias e dos tempos percorridos pelo veículo durante a operação de coleta em cada via.
- *Rota de Coleta no Setor* – é o somatório das distâncias e dos tempos percorridos pelo veículo coletor realizando o serviço em cada setor.

- *Percurso Vazio* – é o somatório dos deslocamentos e dos tempos com o veículo coletor vazio: saída da garagem até o início da 1ª coleta, retorno do aterro até o local de início da 2ª coleta (e também posteriores, quando houver) e ida do aterro até a garagem.
- *Percurso Cheio* – é o somatório dos deslocamentos e dos tempos com o veículo coletor cheio: fim da coleta até o aterro.
- *Descarga Total no Aterro* – é o somatório dos tempos de descarregamento do veículo coletor no aterro.

Assim, considerando os parâmetros calculados com base nos dados fornecidos pela Prefeitura Municipal, foi possível realizar uma avaliação da distância e do tempo percorrido durante o serviço de coleta em cada setor.

Os resultados da rotina e os dados fornecidos pela Prefeitura Municipal foram processados no software Microsoft Excel for *Windows*, versão 2000, para a obtenção dos parâmetros operacionais. O relatório de itinerário e o relatório de entrada e saída de dados estão no Anexo B.

Os parâmetros operacionais calculados com os dados fornecidos pelo Setor de Obras e Serviços da Prefeitura Municipal são apresentados nas Tabelas 13, 14 e 15 e os obtidos a partir dos resultados da rotina *Arc Routing* nas Tabelas 16, 17 e 18.

A Tabela 19 apresenta os resultados obtidos da simulação com a rotina *Arc Routing*, considerando-se a cidade como um único setor de coleta.

Tabela 13 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 1 determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1ª coleta | 1,0 | 10 | 1,0 | 5 | 1,0 | 10 | 3,0 | 8 | 1,0 | 2 | 1,0 | 1 |
| Percurso 1ª coleta | 14,0 | 150 | 25,0 | 240 | 28,0 | 275 | 24,0 | 224 | 27,0 | 250 | 27,0 | 267 |
| Fim 1ª coleta – Aterro | 3,0 | 10 | 5,0 | 8 | 4,0 | 5 | 5,0 | 9 | 4,0 | 9 | 4,0 | 10 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 2 | - | 2 | - | 3 | - | 6 |
| Aterro - Início 2ª coleta | 4,0 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 2ª coleta | 10,0 | 180 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 2ª coleta - Aterro | 5,0 | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 5,0 | 8 | 5,0 | 8 | 5,0 | 8 | 4,0 | 10 | 4,0 | 11 | 4,0 | 4 |
| Total Percorrido | 42,0 | 382 | 36,0 | 266 | 38,0 | 300 | 36,0 | 253 | 36,0 | 275 | 36,0 | 288 |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1ª viagem | 22,0 | 180 | 36,0 | 266 | 38,0 | 300 | 36,0 | 253 | 36,0 | 275 | 36,0 | 288 |
| Rota Coleta – 2ª viagem | 20,0 | 202 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 2 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | |
| Rota de Coleta no Setor | 24,0 | 330 | 25,0 | 240 | 28,0 | 275 | 24,0 | 224 | 27,0 | 250 | 27,0 | 267 |
| Percurso Vazio | 10,0 | 23 | 6,0 | 13 | 6,0 | 18 | 7,0 | 18 | 5,0 | 13 | 5,0 | 5 |
| Percurso Cheio | 8,0 | 21 | 5,0 | 8 | 4,0 | 5 | 5,0 | 9 | 4,0 | 9 | 4,0 | 10 |
| Descarga Total no Aterro | - | 8 | - | 5 | - | 2 | - | 2 | - | 3 | - | 6 |

Tabela 14 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 2 determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1ª coleta | 1,0 | 5 | 1,0 | 5 | 1,0 | 5 | 1,0 | 5 | 1,0 | 5 | 1,0 | 5 |
| Percurso 1ª coleta | 10,0 | 105 | 16,0 | 130 | 16,0 | 130 | 18,0 | 125 | 17,0 | 135 | 16,0 | 115 |
| Fim 1ª coleta – Aterro | 10,0 | 10 | 8,0 | 15 | 8,0 | 15 | 7,0 | 15 | 8,0 | 13 | 7,0 | 14 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 2 | - | 5 | - | 4 | - | 2 | - | 3 |
| Aterro - Início 2ª coleta | 5,0 | 10 | 7,0 | 8 | 7,0 | 10 | 8,0 | 6 | 9,0 | 12 | 8,0 | 10 |
| Percurso 2ª coleta | 11,0 | 125 | 15,0 | 120 | 10,0 | 65 | 16,0 | 110 | 16,0 | 118 | 18,0 | 120 |
| Fim 2ª coleta - Aterro | 7,0 | 10 | 6,0 | 10 | 7,0 | 15 | 7,0 | 10 | 6,0 | 11 | 7,0 | 10 |
| Descarga no Aterro | - | 3 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 2 | - | 5 |
| Aterro - Início 3ª coleta | 4,0 | 12 | - | - | 6,0 | 5 | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 3ª coleta | 8,0 | 65 | - | - | 6,0 | 45 | - | - | - | - | - | - |
| Fim 3ª coleta - Aterro | 7,0 | 5 | - | - | 6,0 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 2 | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 5,0 | 3 | 5,0 | 5 | 5,0 | 10 | 5,0 | 5 | 5,0 | 5 | 5,0 | 5 |
| Total Percorrido | 68,0 | 360 | 58,0 | 300 | 72,0 | 325 | 62,0 | 285 | 62,0 | 303 | 62,0 | 287 |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1ª viagem | 26,0 | 135 | 32,0 | 160 | 32,0 | 165 | 34,0 | 155 | 35,0 | 167 | 32,0 | 147 |
| Rota Coleta – 2ª viagem | 22,0 | 150 | 26,0 | 140 | 23,0 | 90 | 28,0 | 130 | 27,0 | 136 | 30,0 | 140 |
| Rota Coleta – 3ª viagem | 20,0 | 75 | - | - | 17,0 | 70 | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 3 | | 2 | | 3 | | 2 | | 2 | | 2 | |
| Rota de Coleta no Setor | 29,0 | 295 | 31,0 | 250 | 32,0 | 240 | 34,0 | 235 | 33,0 | 253 | 34,0 | 235 |
| Percurso Vazio | 15,0 | 30 | 13,0 | 18 | 19,0 | 30 | 14,0 | 16 | 15,0 | 22 | 14,0 | 20 |
| Percurso Cheio | 24,0 | 25 | 14,0 | 25 | 21,0 | 40 | 14,0 | 25 | 14,0 | 24 | 14,0 | 24 |
| Descarga Total no Aterro | - | 10 | - | 7 | - | 15 | - | 9 | - | 4 | - | 8 |

Tabela 15 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 3 determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1ª coleta | 2,0 | 6 | 7,0 | 5 | 2,0 | 5 | 2,0 | 5 | 2,0 | 4 | 2,0 | 5 |
| Percurso 1ª coleta | 7,0 | 144 | 5,0 | 55 | 19,0 | 175 | 17,0 | 160 | 12,0 | 126 | 16,0 | 130 |
| Fim 1ª coleta – Aterro | 5,0 | 10 | 2,0 | 10 | 3,0 | 10 | 4,0 | 10 | 5,0 | 10 | 4,0 | 10 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 3 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 2ª coleta | 5,0 | 5 | 3,0 | 10 | 4,0 | 10 | 3,0 | 7 | 4,0 | 13 | 5,0 | 12 |
| Percurso 2ª coleta | 7,0 | 140 | 7,0 | 65 | 5,0 | 30 | 15,0 | 55 | 13,0 | 112 | 18,0 | 58 |
| Fim 2ª coleta - Aterro | 5,0 | 10 | 2,0 | 10 | 3,0 | 10 | 1,0 | 2 | 4,0 | 8 | 1,0 | 4 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 3 | - | 3 | - | 5 | - | 3 | - | 4 |
| Aterro - Início 3ª coleta | 5,0 | 5 | 1,0 | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 3ª coleta | 12,0 | 60 | 4,0 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 3ª coleta - Aterro | 6,0 | 10 | 2,0 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Início 4ª coleta | - | - | 2,0 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 4ª coleta | - | - | 6,0 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 4ª coleta - Aterro | - | - | 1,0 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 5,0 | 8 | 5,0 | 7 | 4,0 | 10 | 5,0 | 10 | 5,0 | 12 | 4,0 | 15 |
| Total Percorrido | 59,0 | 413 | 47,0 | 254 | 40,0 | 258 | 47,0 | 257 | 45,0 | 293 | 50,0 | 243 |

Tabela 15 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 3 determinados a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1ª viagem | 19,0 | 170 | 17,0 | 85 | 28,0 | 205 | 26,0 | 185 | 23,0 | 158 | 27,0 | 162 |
| Rota Coleta – 2ª viagem | 17,0 | 160 | 10,0 | 85 | 12,0 | 53 | 21,0 | 72 | 22,0 | 135 | 23,0 | 81 |
| Rota Coleta – 3ª viagem | 23,0 | 83 | 8,0 | 41 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rota Coleta – 4ª viagem | - | - | 12,0 | 43 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 3 | | 4 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | |
| Rota de Coleta no Setor | 26,0 | 344 | 22,0 | 180 | 24,0 | 205 | 32,0 | 215 | 25,0 | 238 | 34,0 | 188 |
| Percurso Vazio | 17,0 | 24 | 18,0 | 32 | 10,0 | 25 | 10,0 | 22 | 11,0 | 29 | 11,0 | 32 |
| Percurso Cheio | 16,0 | 30 | 7,0 | 27 | 6,0 | 20 | 5,0 | 12 | 9,0 | 18 | 5,0 | 14 |
| Descarga Total no Aterro | - | 15 | - | 15 | - | 8 | - | 8 | - | 8 | - | 9 |

Tabela 16 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 1, obtidos a partir dos resultados da rotina *Arc Routing*

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|---------------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1 ^a coleta | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 |
| Percurso 1 ^a coleta | 19,4 | 101 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 |
| Fim 1 ^a coleta – Aterro | 3,8 | 10 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 2 ^a coleta | 3,6 | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 2 ^a coleta | 7,3 | 38 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 2 ^a coleta - Aterro | 2,8 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 |
| Total Percorrido | 41,1 | 180 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1 ^a viagem | 27,1 | 125 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 | 33,7 | 157 |
| Rota Coleta – 2 ^a viagem | 14,0 | 55 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 2 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | |
| Rota de Coleta no Setor | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 | 26,7 | 139 |
| Percurso Vazio | 7,8 | 16 | 4,2 | 8 | 4,2 | 8 | 4,2 | 8 | 4,2 | 8 | 4,2 | 8 |
| Percurso Cheio | 6,6 | 15 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 | 2,8 | 5 |
| Descarga Total no Aterro | - | 10 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |

Nota: o tempo de descarga, para a análise computacional, foi adotado como sendo igual a 5 min

Tabela 17 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 2, obtidos a partir dos resultados da rotina *Arc Routing*

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|---------------|------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1ª coleta | 0,7 | 2 | 0,7 | 2 | 0,7 | 2 | 0,7 | 2 | 0,7 | 2 | 0,7 | 2 |
| Percurso 1ª coleta | 12,9 | 65 | 26,3 | 134 | 26,3 | 134 | 26,2 | 133 | 29,6 | 152 | 31,4 | 161 |
| Fim 1ª coleta – Aterro | 5,5 | 12 | 5,0 | 12 | 5,0 | 12 | 5,2 | 12 | 5,2 | 12 | 5,0 | 12 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 2ª coleta | 5,7 | 13 | 4,9 | 11 | 4,9 | 11 | 5,0 | 12 | 5,0 | 12 | 5,0 | 12 |
| Percurso 2ª coleta | 13,8 | 71 | 5,9 | 32 | 5,9 | 32 | 6,0 | 33 | 2,6 | 14 | 0,8 | 5 |
| Fim 2ª coleta - Aterro | 5,1 | 12 | 4,6 | 11 | 4,6 | 11 | 4,6 | 11 | 4,6 | 11 | 4,6 | 11 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 3ª coleta | 5,0 | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 3ª coleta | 5,5 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 3ª coleta - Aterro | 4,6 | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 |
| Total Percorrido | 62,7 | 249 | 51,3 | 219 | 51,3 | 219 | 51,6 | 220 | 51,6 | 220 | 51,4 | 220 |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1ª viagem | 24,8 | 97 | 36,9 | 164 | 36,9 | 164 | 37,1 | 164 | 40,5 | 183 | 42,1 | 192 |
| Rota Coleta – 2ª viagem | 23,9 | 99 | 14,4 | 55 | 14,4 | 55 | 14,5 | 56 | 11,1 | 37 | 9,3 | 28 |
| Rota Coleta – 3ª viagem | 14,0 | 53 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 3 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | |
| Rota de Coleta no Setor | 32,2 | 166 | 32,2 | 166 | 32,2 | 166 | 32,2 | 166 | 32,2 | 166 | 32,2 | 166 |
| Percurso Vazio | 15,3 | 33 | 9,5 | 20 | 9,5 | 20 | 9,6 | 21 | 9,6 | 21 | 9,6 | 21 |
| Percurso Cheio | 15,2 | 35 | 9,6 | 23 | 9,6 | 23 | 9,8 | 23 | 9,8 | 23 | 9,6 | 23 |
| Descarga Total no Aterro | - | 15 | - | 10 | - | 10 | - | 10 | - | 10 | - | 10 |

Nota: o tempo de descarga, para a análise computacional, foi adotado como sendo igual a 5 min

Tabela 18 - Parâmetros operacionais de coleta para o Setor 3, obtidos a partir dos resultados da rotina *Arc Routing*

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1ª coleta | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,34 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 |
| Percurso 1ª coleta | 6,1 | 23 | 12,7 | 22 | 15,6 | 59 | 12,7 | 22 | 18,6 | 72 | 12,7 | 22 |
| Fim 1ª coleta – Aterro | 4,5 | 8 | 3,4 | 7 | 3,7 | 9 | 3,4 | 7 | 3,7 | 9 | 3,4 | 7 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 2ª coleta | 4,6 | 10 | 1,5 | 5 | 3,4 | 7 | 1,5 | 5 | - | - | 1,5 | 5 |
| Percurso 2ª coleta | 9,5 | 35 | 12,4 | 48 | 3,0 | 13 | 12,4 | 48 | - | - | 12,4 | 48 |
| Fim 2ª coleta - Aterro | 3,7 | 9 | 3,7 | 9 | 3,7 | 9 | 3,7 | 9 | - | - | 3,7 | 9 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | - | - | 5 |
| Aterro - Início 3ª coleta | 3,4 | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 3ª coleta | 3,0 | 14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 3ª coleta - Aterro | 3,7 | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 |
| Total Percorrido | 42,7 | 138 | 37,9 | 109 | 33,6 | 115 | 37,9 | 109 | 26,5 | 94 | 37,9 | 109 |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1ª viagem | 15,5 | 47 | 17,9 | 40 | 23,0 | 81 | 17,9 | 40 | 26,5 | 94 | 17,9 | 40 |
| Rota Coleta – 2ª viagem | 16,6 | 56 | 20,0 | 69 | 10,6 | 34 | 20,0 | 69 | - | - | 20,0 | 69 |
| Rota Coleta – 3ª viagem | 10,6 | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 3 | | 2 | | 2 | | 2 | | 1 | | 2 | |
| Rota de Coleta no Setor | 18,6 | 72 | 25,1 | 70 | 18,6 | 72 | 25,1 | 70 | 18,6 | 72 | 25,1 | 70 |
| Percurso Vazio | 12,2 | 25 | 5,7 | 13 | 7,6 | 15 | 5,7 | 13 | 4,2 | 8 | 5,7 | 13 |
| Percurso Cheio | 11,9 | 26 | 7,1 | 16 | 7,4 | 18 | 7,1 | 16 | 3,7 | 9 | 7,1 | 16 |
| Descarga Total no Aterro | - | 15 | - | 10 | - | 10 | - | 10 | - | 5 | - | 10 |

Nota: o tempo de descarga, para a análise computacional, foi adotado como sendo igual a 5 min

Tabela 19 - Parâmetros operacionais de coleta considerando toda a cidade, obtidos a partir dos resultados da rotina *Arc Routing*

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|---------------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Garagem–Início 1 ^a coleta | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 |
| Percurso 1 ^a coleta | 19,9 | 100 | 43,0 | 200 | 39,1 | 202 | 42,9 | 200 | 43,3 | 223 | 50,6 | 241 |
| Fim 1 ^a coleta – Aterro | 4,2 | 12 | 6,2 | 17 | 5,9 | 16 | 6,0 | 16 | 7,3 | 20 | 6,1 | 17 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 2 ^a coleta | 4,0 | 11 | 5,7 | 16 | 5,3 | 13 | 5,0 | 12 | 5,5 | 13 | 5,8 | 15 |
| Percurso 2 ^a coleta | 19,7 | 104 | 38,3 | 187 | 38,2 | 175 | 38,2 | 187 | 35,6 | 160 | 39,0 | 176 |
| Fim 2 ^a coleta - Aterro | 6,2 | 17 | 4,1 | 9 | 4,3 | 9 | 4,0 | 9 | 3,3 | 6 | 3,3 | 6 |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 |
| Aterro - Início 3 ^a coleta | 5,6 | 14 | 4,3 | 10 | 4,3 | 9 | 4,0 | 9 | - | - | - | - |
| Percurso 3 ^a coleta | 19,0 | 99 | 8,3 | 30 | 1,6 | 6 | 8,5 | 30 | - | - | - | - |
| Fim 3 ^a coleta - Aterro | 4,7 | 11 | 3,3 | 6 | 3,3 | 6 | 3,3 | 6 | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | - | - | - |
| Aterro - Início 4 ^a coleta | 5,2 | 13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Percurso 4 ^a coleta | 20,3 | 80 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fim 4 ^a coleta - Aterro | 3,3 | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Descarga no Aterro | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Aterro - Garagem | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 | 3,9 | 7 |
| Total Percorrido | 116,3 | 495 | 117,4 | 498 | 106,2 | 459 | 116,1 | 492 | 99,2 | 440 | 109,0 | 473 |

Nota: o tempo de descarga, para a análise computacional, foi adotado como sendo igual a 5 min.

Tabela 19 - Parâmetros operacionais de coleta considerando toda a cidade, obtidos a partir dos resultados da rotina *Arc Routing*

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| Parâmetros Analisados | | | | | | | | | | | | |
| Rota Coleta – 1 ^a viagem | 28,4 | 129 | 55,2 | 239 | 50,6 | 237 | 54,2 | 234 | 54,8 | 256 | 62,8 | 279 |
| Rota Coleta – 2 ^a viagem | 31,5 | 140 | 46,3 | 208 | 46,4 | 196 | 46,1 | 208 | 38,9 | 171 | 46,2 | 194 |
| Rota Coleta – 3 ^a viagem | 27,6 | 122 | 11,6 | 41 | 4,9 | 17 | 11,8 | 41 | - | - | - | - |
| Rota Coleta – 4 ^a viagem | 23,6 | 91 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Número de Viagens | 4 | | 3 | | 3 | | 3 | | 2 | | 2 | |
| Rota de Coleta | 78,9 | 383 | 89,6 | 417 | 78,9 | 383 | 89,6 | 417 | 78,9 | 383 | 89,6 | 417 |
| Percurso Vazio | 19,0 | 46 | 14,2 | 34 | 13,8 | 30 | 13,2 | 29 | 9,7 | 21 | 10,0 | 23 |
| Percurso Cheio | 18,4 | 46 | 13,6 | 32 | 13,5 | 31 | 13,3 | 31 | 10,6 | 26 | 9,4 | 23 |
| Descarga Total no Aterro | - | 20 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | - | - | 10 |

Nota: o tempo de descarga, para a análise computacional, foi adotado como sendo igual a 5 min

As informações constantes nas tabelas apresentadas anteriormente permitiram uma avaliação quantitativa dos parâmetros operacionais do serviço de coleta domiciliar. Fernandes *et al.* (*apud* DELUQUI, 1998) recomendam que a análise deve ser sempre feita com base nos dados de uma semana de operação, pois este é o ciclo em que o processo de coleta se repete, levando-se em conta oscilações naturais entre os parâmetros no intervalo de uma semana. No presente trabalho, considerou-se uma semana de operação em que foram comparados os parâmetros obtidos pelo método atual (empírico) e os determinados através da simulação realizada pelo software.

Com base nos valores dos parâmetros das Tabelas 13, 14 e 15 foi possível observar que a distância e o tempo total percorrido variam diariamente, mas através das Tabelas 16, 17 e 18 isto não é facilmente observado, pois os roteamentos determinados para cada setor são iguais para todos os dias da semana. A diferença ocorre devido à produção de resíduo ao longo de cada via, que modifica o ponto final de coleta em cada viagem. Assim, os dias com uma produção maior de resíduo exigem que o veículo realize um número maior de viagens para completar a operação de coleta.

Os resultados obtidos para os parâmetros do serviço empírico foram, em geral, superiores aos obtidos com a rotina. A Tabela 20 apresenta a variação percentual do método computacional em relação ao método empírico para cada setor de coleta e também, à variação percentual entre as soluções computacionais consideradas. Para melhor visualização dos dados foram construídos gráficos (Figuras 26 a 33). Estes são apresentados e comentados a seguir.

Tabela 20 – Demonstra a variação percentual entre os métodos de solução analisados

| Distância e Tempo Percorridos | Segunda-feira | | Terça-feira | | Quarta-feira | | Quinta-feira | | Sexta-feira | | Sábado | |
|-------------------------------|-----------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) | (km) | (min) |
| | SETOR 1 | | | | | | | | | | | |
| Total Percorrido | -2,1 | -52,9 | -6,4 | -41,0 | -11,3 | -47,7 | -6,4 | -37,9 | -6,4 | -42,9 | -6,4 | -45,5 |
| Rota de Coleta no Setor | 11,3 | -57,9 | 6,8 | -42,1 | -4,6 | -49,5 | 11,3 | -37,9 | -1,1 | -44,4 | -1,1 | -47,9 |
| Percurso Sem Coleta* | -20,0 | -29,5 | -36,4 | -38,1 | -30,0 | -43,5 | -41,7 | -51,9 | -22,2 | -40,9 | -22,2 | -13,3 |
| | SETOR 2 | | | | | | | | | | | |
| Total Percorrido | -7,8 | -30,8 | -11,6 | -27,0 | -28,8 | -32,6 | -16,8 | -22,8 | -16,8 | -27,4 | -17,1 | -23,3 |
| Rota de Coleta no Setor | 11,0 | -43,7 | 3,9 | -33,6 | 0,6 | -30,8 | -5,3 | -29,4 | -2,4 | -34,4 | -5,3 | -29,4 |
| Percurso Sem Coleta* | -21,8 | 23,6 | -29,3 | 0,0 | -52,3 | -38,6 | -30,7 | 7,3 | -33,1 | -4,3 | -31,4 | 0,0 |
| | SETOR 3 | | | | | | | | | | | |
| Total Percorrido | -27,6 | -66,6 | -19,4 | -57,1 | -16,0 | -55,4 | -19,3 | -57,6 | -41,1 | -67,9 | -24,2 | -55,1 |
| Rota de Coleta no Setor | -28,5 | -79,1 | 14,1 | -61,1 | -22,5 | -64,9 | -21,6 | -67,4 | -25,6 | -69,7 | -26,2 | -62,8 |
| Percurso Sem Coleta* | -27,0 | -5,6 | -48,8 | -50,8 | -6,3 | -26,7 | -14,4 | -14,7 | -60,5 | -63,8 | -20,0 | -37,0 |
| | UM SETOR | | | | | | | | | | | |
| Total Percorrido | -20,6 | -12,7 | -4,5 | 2,7 | -10,5 | -6,5 | -5,8 | 1,2 | -11,3 | -6,6 | -11,4 | -2,7 |
| Rota de Coleta no Setor | 1,8 | 1,6 | 6,7 | 11,2 | 1,8 | 1,6 | 6,7 | 11,2 | 1,8 | 1,6 | 6,7 | 11,2 |
| Percurso Sem Coleta* | -45,8 | -38,7 | -28,5 | -22,4 | -33,6 | -31,5 | -32,5 | -30,2 | -40,8 | -36,5 | -50,3 | -46,5 |

* Percurso sem coleta corresponde à soma do percurso vazio mais o percurso cheio

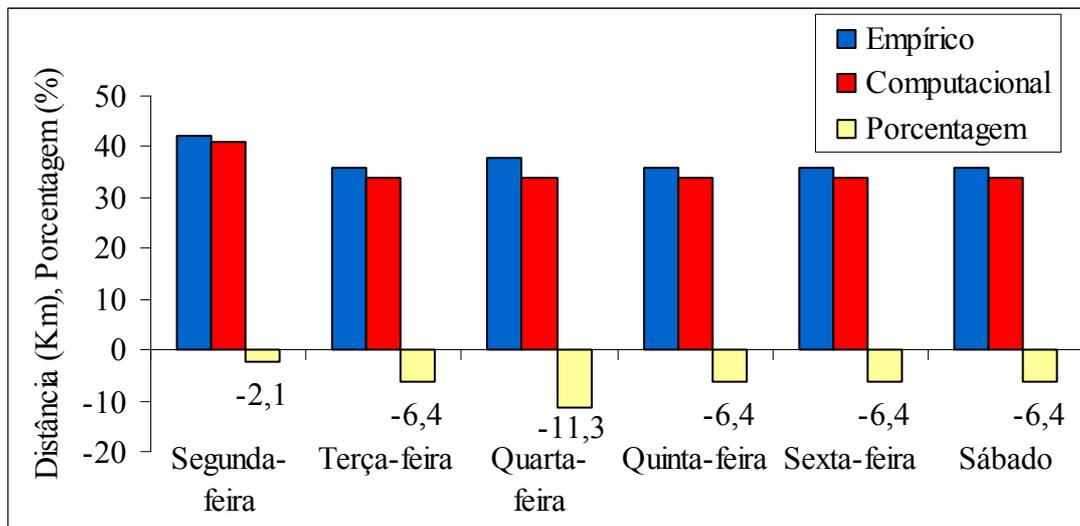


Figura 26 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 1, determinados pelos diferentes métodos de solução

Nota: porcentagem refere-se a variação percentual do método computacional em relação ao método empírico

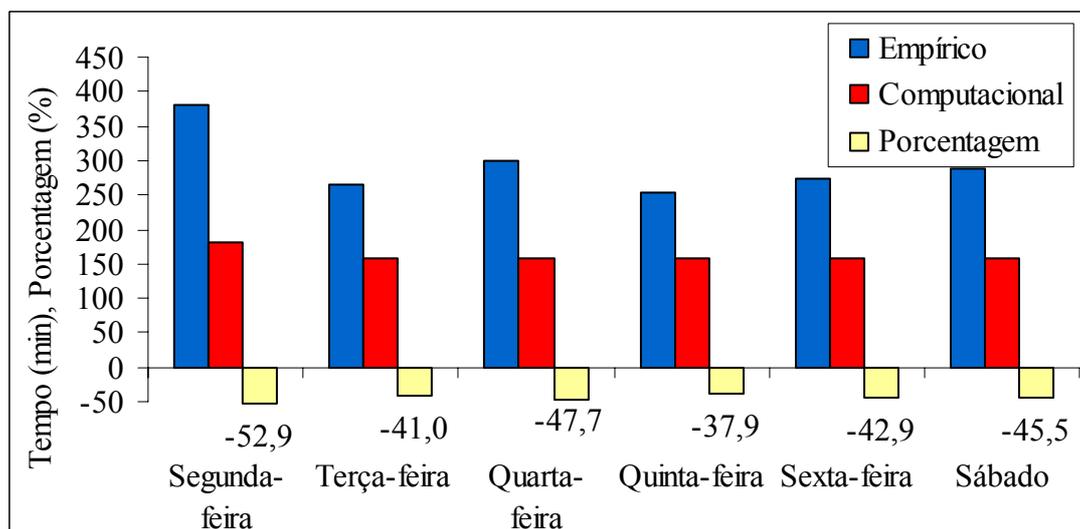


Figura 27 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta no setor 1, determinados pelos diferentes métodos de solução

As Figuras 26 e 27 demonstram reduções de até 11%, em termos de distância, e, de 53% para o tempo total de percurso. Isto é mais bem explicado na comparação entre as Tabelas 13 e 16, onde se observa que o método computacional produz uma solução com mínimos valores de distância e tempo de percurso sem coleta. A análise deste parâmetro mostra que pelo método empírico o veículo não se movimenta de uma forma eficiente quando está fora da rota de coleta. O veículo tem se deslocado por grandes distâncias e, conseqüentemente, aumentado o tempo de execução do serviço.

Com relação ao parâmetro rota de coleta no setor, o método computacional demonstrou acréscimos percentuais quando comparado ao método empírico. Esta situação é justificada pelo fato do resultado da simulação garantir que o veículo passará por todas as vias de coleta em todos os dias. Enquanto que no método empírico, observam-se diferentes valores para este parâmetro, indicando que o roteamento de coleta não é o mesmo para todos os dias. A conseqüência pode ser o não atendimento de algumas vias.

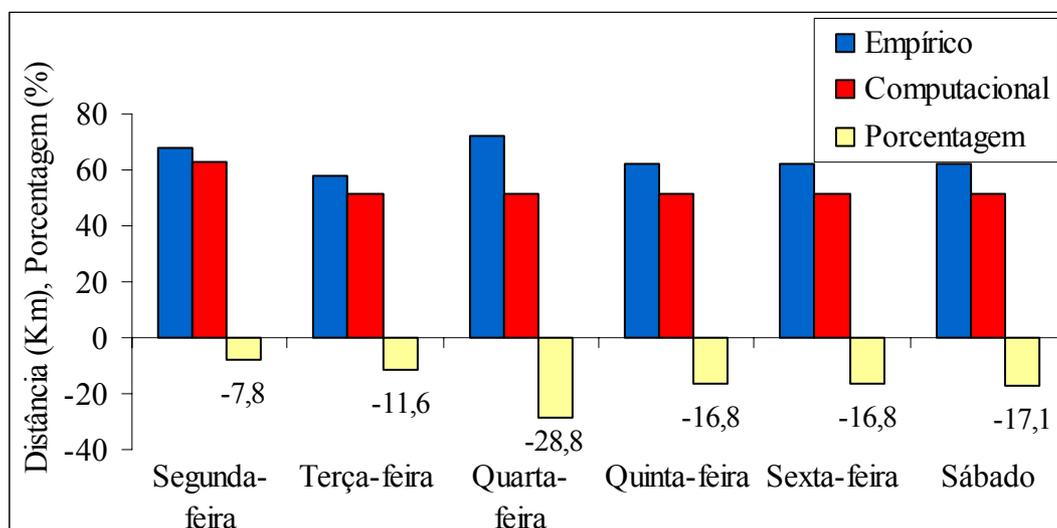


Figura 28 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 2, determinados pelos diferentes métodos de solução

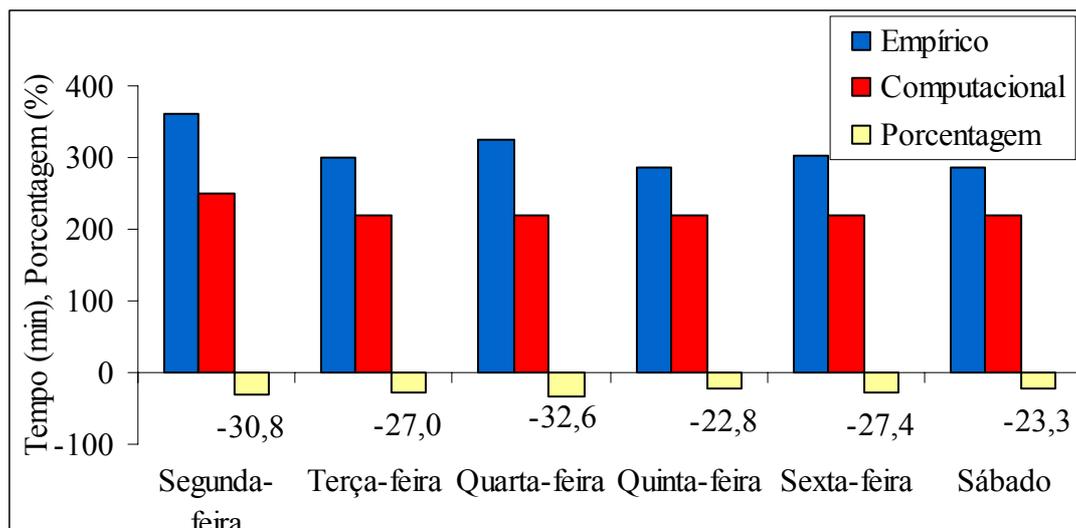


Figura 29 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 2, determinados pelos diferentes métodos de solução

As Figuras 28 e 29 demonstraram que o Setor 2 apresentou características semelhantes às do Setor 1. Na comparação entre as Tabelas 14 e 17 observou-se que o método computacional reduziu em uma viagem (de três para duas) a operação de coleta para quarta-feira, em relação ao método empírico. Com isto, os valores percentuais no método computacional, em relação ao método empírico foram maiores. A Tabela 20 ilustra esta situação.

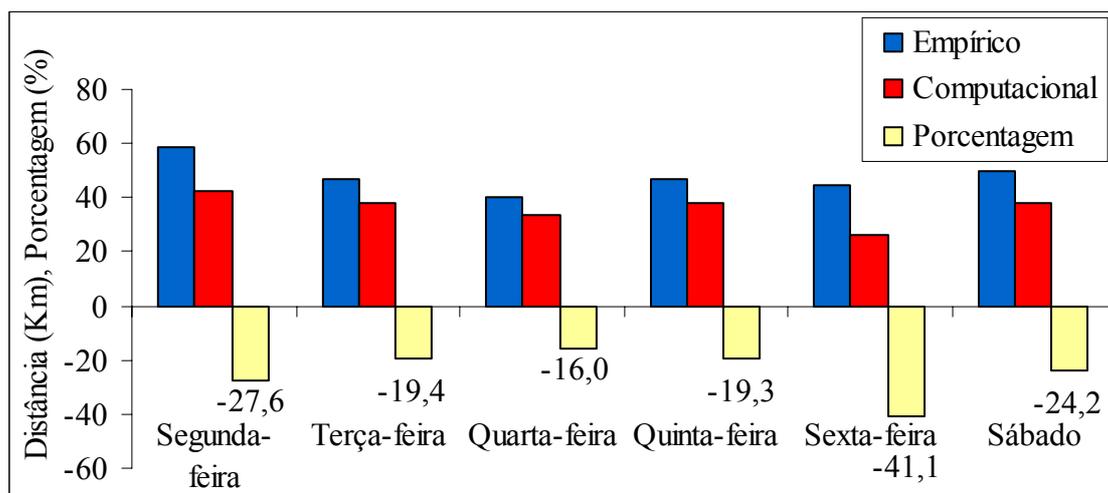


Figura 30 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 3, determinados pelos diferentes métodos de solução

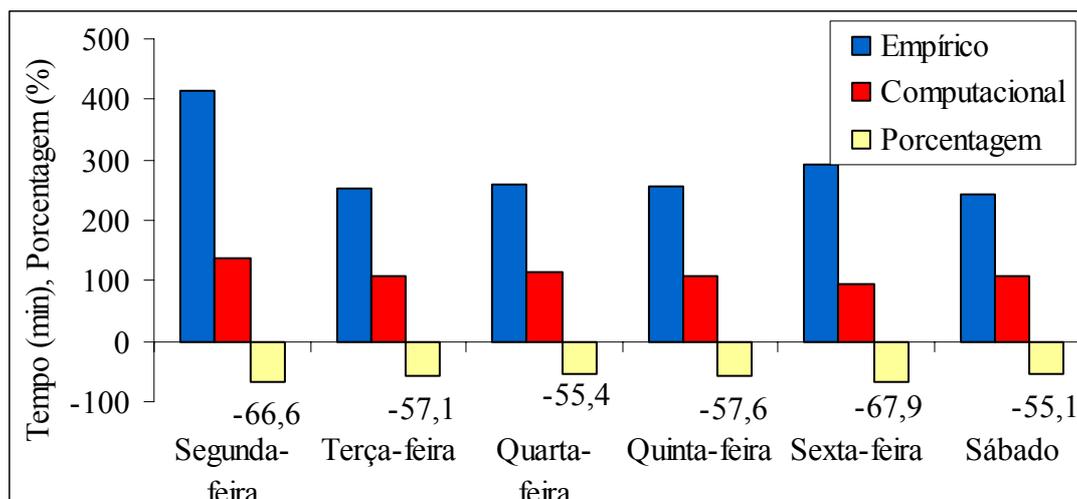


Figura 31 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta no Setor 3, determinados pelos diferentes métodos de solução

As Figuras 30 e 31 apresentaram reduções percentuais de distância e tempo totais de percurso em todos os dias de coleta. Para análise do Setor 3, não se pode considerar igualmente os seis dias de coleta, uma vez que o roteamento é diferenciado nas terças-feiras, quintas-feiras e nos sábados, quando o bairro Recanto das Águas também é coberto pelo serviço.

No roteamento de segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira, o método computacional reduziu para apenas uma viagem a operação de coleta na sexta-feira. Em valores percentuais, ocorreu uma redução percentual de cerca de 41% na distância total a ser percorrida pelo veículo e de, aproximadamente, 68% no tempo total de seu percurso. Nos demais dias também houve reduções, mas o número de viagens foi igual em ambos os métodos.

No roteamento de terça-feira, quinta-feira e sábado, o método computacional produziu reduções percentuais para quase todos os parâmetros operacionais estudados. Para terça-feira, o método computacional reduziu de quatro viagens realizadas pelo método empírico para apenas duas viagens. Isto significou uma redução percentual do parâmetro percurso sem coleta, em cerca de 49% para distância e de, aproximadamente, 51% no tempo.

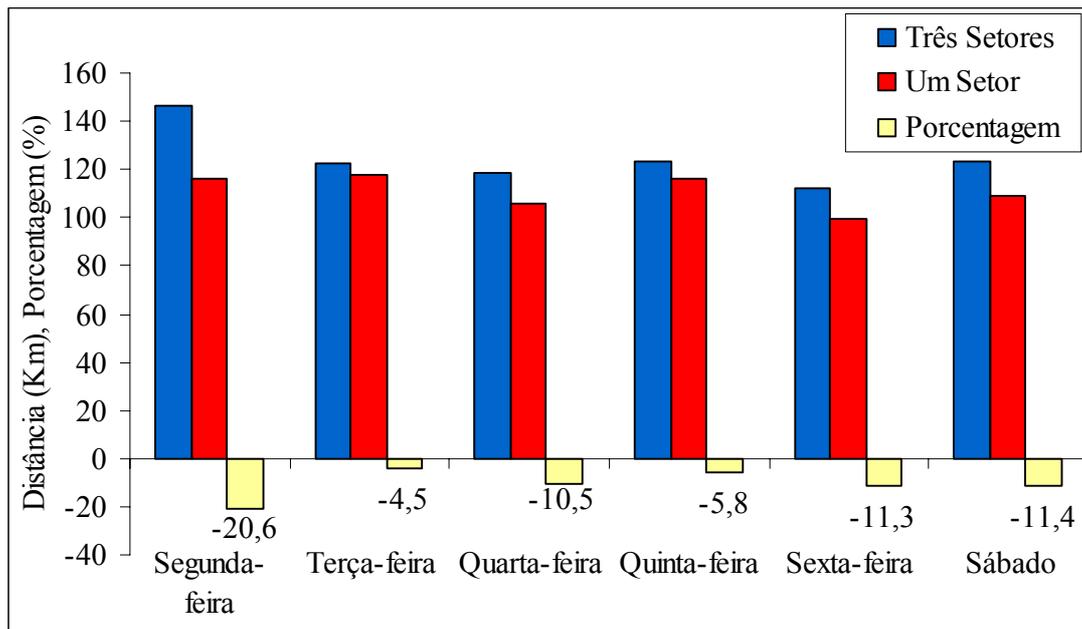


Figura 32 – Valores correspondentes à distância total percorrida pelo veículo durante a operação de coleta, considerando toda a cidade e no valor total dos três setores

Nota: A porcentagem refere-se a variação percentual considerando a cidade como um único setor de coleta em relação ao à divisão em três setores de coleta

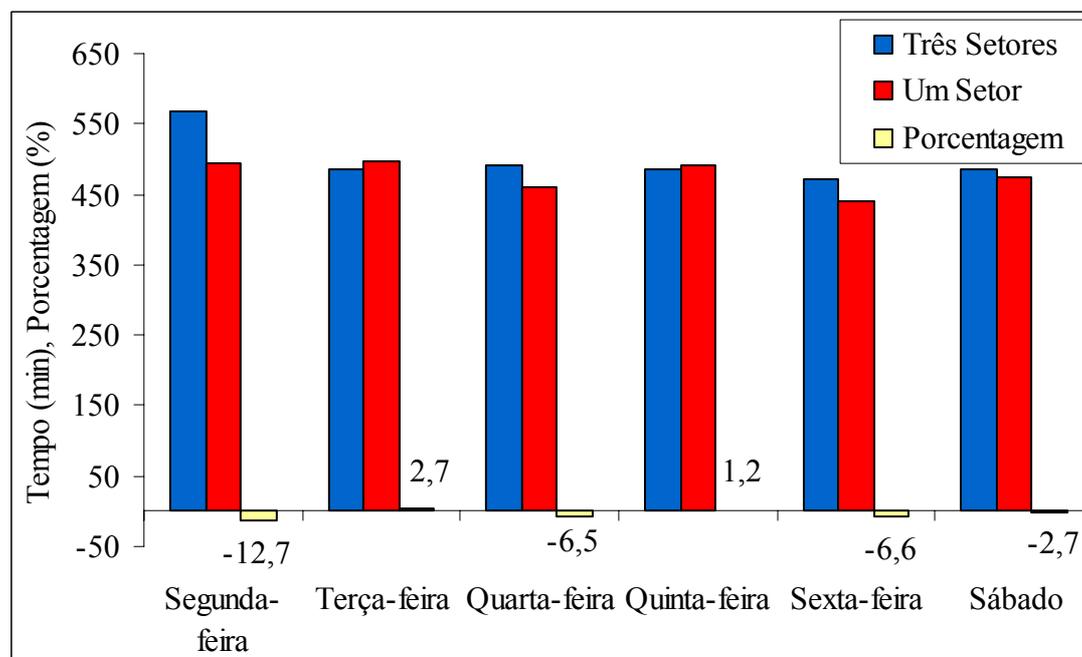


Figura 33 – Valores correspondentes ao tempo total percorrido pelo veículo durante a operação de coleta considerando toda a cidade e no valor total dos três setores

Nas Figuras 32 e 33, pôde-se fazer uma análise comparativa entre as duas situações simuladas pelo software. Ambas dizem respeito ao tamanho da área de cobertura. Em uma situação simulada consideraram-se três setores de coleta, cada um sendo coberto por um único veículo, o que corresponde ao sistema atual. Na outra situação, a cidade não seria dividida em setores e apenas um veículo, com capacidade para 5 t, seria encarregado de realizar o serviço de coleta. Esta última simulação teve o objetivo de observar o comportamento do software para uma área de cobertura maior, considerando, também, todas as restrições impostas no outro estudo.

Analisando as Figuras 32 e 33, observou-se que a simulação considerando toda a cidade obteve uma redução percentual de percurso total de coleta, em relação às simulações totais para todos os dias. Para o tempo total de percurso de coleta, houve acréscimos na terça-feira e na quinta-feira, provavelmente em função da inclusão do bairro Recanto das Águas no roteamento do veículo.

Ainda, na análise dessa situação, a Tabela 20 demonstra reduções percentuais de distância e tempo bastante elevadas do parâmetro percurso sem coleta. Esta situação pode ser explicada devido ao número de viagens para descarga no aterro ser menor na situação considerando-se um único setor. A respeito do parâmetro rota de coleta no setor, observou-se que na alternativa de um único setor os valores percentuais de distância e tempo de percurso são superiores aos da alternativa da divisão em três setores. Isto demonstra que o veículo teria de percorrer distâncias maiores e, conseqüentemente, levar um tempo maior para percorrer todas as vias de coleta.

Apesar da situação considerando um único setor ter demonstrado resultados significativos, para alguns dias da semana a simulação demonstrou uma carga horária de trabalho aos operários que excede o tempo de trabalho estipulado pela Constituição Federal. Neste caso, uma aplicação prática do itinerário determinado na simulação poderia indicar uma melhor alternativa para a solução desse problema. Uma outra alternativa seria o pagamento de horas extras aos operários.

Todas as simulações foram realizadas com o intuito de verificar a eficiência da utilização de SIG no roteamento de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. Através dos resultados, pôde-se perceber que o SIG é perfeitamente aplicável para este tipo de estudo, pois conseguiu demonstrar reduções significativas na operação de coleta em termos de distância e tempo totais de percurso.

9.2.3 – Problemas Observados

Nas simulações realizadas perceberam-se diversas limitações para a aplicação da Rotina *Arc Routing*, que são relatadas a seguir.

- A escolha do sentido no qual as vias deveriam ser percorridas foi feito por tentativas até que a rotina funcionasse e, posteriormente, realizavam-se ajustes que possibilitariam obter resultados satisfatórios. Quando foi escolhido o sentido de travessia da via, observou-se com detalhe se os nós tinham ao menos uma entrada e uma saída. As Figuras 34 e 35 ilustram bem esta situação.

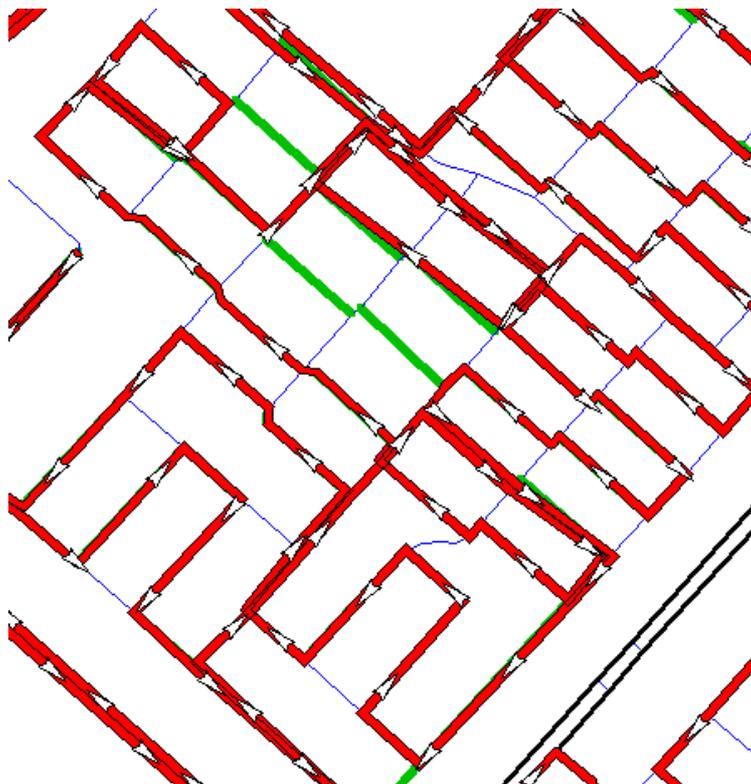


Figura 34 – Representação da escolha do sentido em que a via deveria ser percorrida

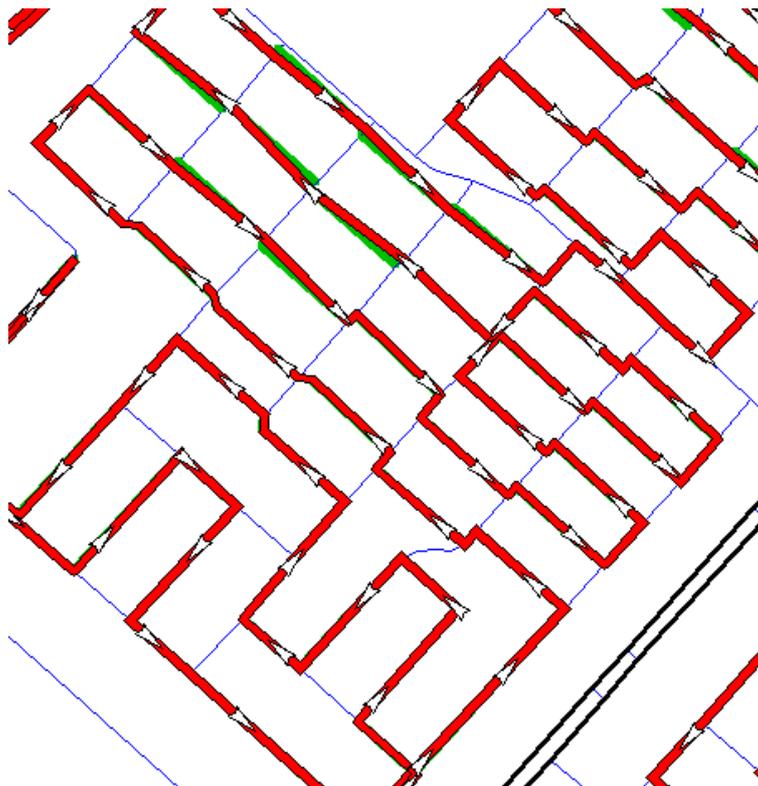


Figura 35 – Aplicação da rotina após alguns ajustes

- Não foi possível considerar nas simulações utilizando a Rotina *Arc Routing*, o local de disposição final. O TransCAD considera que o veículo coletor sai de um ponto (garagem), percorre o setor de coleta e volta ao nó de origem (garagem). Para a cidade de Ilha Solteira esta não seria a situação real, pois quando o veículo atinge a sua capacidade, dirige-se até o local de disposição final para realizar a descarga. Depois da descarga, o veículo retorna ao setor para continuar a operação. Esta situação se repete até que o veículo percorra todo o setor. Ao final da última viagem o veículo retorna a garagem. Assim, para o cálculo das distâncias adicionais não consideradas na aplicação da rotina, foi necessário utilizar os procedimentos de caminho mínimo (*shortest path*).

Os problemas observados para a implementação de rotas retratam a dificuldade de se fazer aplicações sobre roteirização de veículos de coleta domiciliar, devido a inúmeras restrições que devem ser consideradas. Esta aplicação teve por objetivo apresentar e questionar a utilização do SIG como uma ferramenta operacional na definição de roteiros para os veículos coletores, trazendo assim uma contribuição para os municípios que pretendem utilizá-lo no planejamento dos sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares.

10 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 - Caracterização dos Sistemas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em Cidades de Pequeno Porte

A busca de uma sistemática operacional em que a eficiência e a qualidade técnico-ambiental prevaleçam, justifica a realização da caracterização dos sistemas de coleta, para que sejam estabelecidas alternativas gerenciais de acordo com as particularidades dos municípios.

A análise dos parâmetros estudados demonstrou a difícil situação do setor de limpeza urbana nas cidades brasileiras de pequeno porte. Isto comprovou, na prática, as informações relatadas pelos pesquisadores especializados no assunto.

De todos os parâmetros estudados, alguns apresentaram maior importância, como foi o caso do parâmetro população atendida. Nesta análise, observou-se que apenas 46% das cidades estudadas apresentam serviço de coleta de lixo em toda a cidade. Das cidades restantes, em 8% delas, o serviço de coleta de lixo não atende nem a metade da cidade. A população se vê na situação de dispor o lixo em qualquer lugar, poluindo o meio ambiente. Outro parâmetro que também pode levar a essa situação é a frequência de coleta. Neste estudo, em 62% das cidades a coleta ocorre de forma diária. Nas outras cidades, a frequência de coleta ocorre três vezes por semana.

A respeito do parâmetro tratamento dos resíduos, em apenas 26% das cidades há algum tipo de tratamento. Já com relação à destinação final dos resíduos, observou-se que há alguma conscientização sobre o assunto. Em 33% delas, o lixo é jogado a céu aberto (lixão). Nas demais cidades, o lixo é disposto em aterro sanitário ou controlado.

De uma forma geral, as informações obtidas demonstraram um desconhecimento generalizado do poder público municipal em lidar com a problemática dos resíduos sólidos, talvez isto seja resultado da pouca importância que lhe é dado, tanto por parte dos administradores quanto da própria população. Esta situação é facilmente relatada

pelo simples fato da grande maioria das administrações não retornarem os questionários. Isto demonstra que os operadores desse setor não possuem dados de limpeza pública sistematizados ou, simplesmente, não querem informar algo que os possa comprometer futuramente.

Diante dessa situação, recomenda-se a formação de recursos humanos especializados desde a área administrativa até a operacional, a elaboração de programas de educação ambiental, o desenvolvimento de trabalhos permanentes nas escolas, o desenvolvimento de parcerias com a população e os catadores de lixo e, por último, alertar o poder público sobre a importância dos serviços de limpeza urbana.

10.2 – Aplicação do SIG para o Caso da Cidade de Ilha Solteira

A aplicação do SIG TransCAD demonstrou, através dos resultados obtidos, reduções percentuais de até 41% da distância total percorrida, e de 68% no tempo total de percurso, em relação ao serviço atual.

Dentre as vantagens da utilização do TransCAD para roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares, pode-se citar:

- propostas de roteirização com menor tempo;
- o software trabalha com valores reais de distância e tempo de percurso em toda a rede viária;
- possibilita a análise de mudança dos valores das variáveis, tais como capacidade do veículo e período de operação;
- possibilita a análise de mudança de restrições, como por exemplo regras de tráfego.

Por outro lado, a utilização do TransCAD pode apresentar algumas desvantagens, como por exemplo:

- a rotina *Arc Routing* não considerar o local de descarga no roteamento do veículo coletor. Significa que a origem e o destino do roteamento são o mesmo ponto;
- mesmo depois de definido o sentido de travessia das vias, houve a necessidade de realizar ajustes (intervenção do usuário) até que a rotina funcionasse, o que implicou em considerável gasto de tempo de manuseio;

- o software não considera o período de pico das vias, o que poderia indicar uma solução ótima que seja inviável de ser realizada na prática. Desta forma, o planejador deve intervir e incorporar experiência e julgamento sobre o problema, auxiliando o programa na descoberta de uma solução mais adequada;
- o software que realize essa análise possui preço elevado.

A aplicabilidade do SIG não foi analisada somente pelo aspecto econômico, mas também pelo aspecto ambiental a que estão relacionados os resíduos sólidos domiciliares. Um sistema de coleta e transporte desses resíduos que funcione de maneira eficiente, minimiza todo tipo de poluição, seja do solo, ar ou água. Além disso, cuida do aspecto estético da cidade a fim de tornar mais agradável a vida de seus moradores. Assim, um sistema que permita alcançar essas metas com menor custo possível é imperativo. Salienta-se que muitas vezes os recursos dos departamentos de limpeza pública são limitados.

Como recomendação para implantação adequada do software, deve-se estabelecer contato com pessoas e empresas para troca de experiências. Isto é fundamental, uma vez que eventuais problemas poderão ser solucionados através de informações básicas. Deve-se também, na medida do possível, fazer críticas ao sistema e à sua implementação para se avaliar o conjunto de decisões tomadas.

Uma outra solução para o problema de roteirização em cidades de pequeno seria o melhoramento do serviço empírico, ou seja, que os administradores contratem profissionais devidamente qualificados para realizarem esta tarefa. Desta forma, os recursos municipais destinados ao setor serão suficientes para a execução adequada do serviço de coleta.

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Informação e Documentação – Apresentação de Citações em Documentos. NBR 10520. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Informação e Documentação – Trabalhos Acadêmicos – Apresentação. NBR 14724. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Informação e Documentação – Referências – Elaboração. NBR 6023. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos Sólidos – Sólidos – Classificação. NBR 10004. São Paulo, ABNT, 1987.

AGUIAR, A. e PHILIPPI JUNIOR, A. A Importância das Parcerias no Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

AGUIAR, E.M. Um Modelo para Avaliação de Sistemas de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Domiciliares para Cidades de Pequeno e Médio Porte. In: ANPET - CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 7., 1993, São Paulo, v. 2, p. 593-604.

ALAIMO, V. Os Novos Tipos de Lixo e a Questão dos Descartáveis. 2000. Disponível em: <<http://www.ecosnatur.hpg.com.br/7novoslixos.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2002.

ALDOSARY, A.S. e ZAHEER, S.A. An Application Mechanism for a GIS-Based Maintenance System: The Case of Kfupm. Computational, Environmental and Urban Systems, n. 6, v. 20, p. 399-412. 1996.

AMYNTHAS, F. Limpeza Urbana na Ótica de Fernando Amynthas. 2001. Fórum da Boa Cidade, Recife. Disponível em: <http://www.boacidade.com.br/Fernando_amynthas05.htm>. Acesso em 15 jan. 2002.

ARAGÃO, J.M.S e ALENCAR, B.S. Sistemas de Limpeza Urbana em Municípios Pernambucanos: Proposta para Atuação do Governo Estadual na Formulação de um Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos. In: SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., Porto Seguro, Bahia, 2000. Cd-rom.

AZEVEDO, G.D.O. e LIMA NETO, I.A. Diretrizes para Elaboração de Projetos de Aterro Sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

AZEVEDO, M.A.; AZEVEDO, E.A. e HELLER, L. Bases Metodológicas para o Desenvolvimento de uma Classificação Ambiental para as Doenças Relacionadas aos Resíduos Sólidos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., Porto Alegre, 2000. Cd-rom.

BARROS, R.T.V. Diagnóstico Expedito de Limpeza Pública como Ferramenta de Planejamento para Pequenas Comunidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

BELTRAMI, E.J. e BODIN, L.D. Networks and Vehicle Routing for Municipal Waste Collection. *Networks*, v. 4, p. 65-94. 1974.

BENAVENT, E. e SOLER, D. The Directed Rural Postman Problem with Turn Penalties. *Transportation Science*, n. 33, v. 4, p. 408-418. 1999.

BIANCHINI, T. A Limpeza Urbana de Gary a Gary. 1998. Disponível em: <<http://www.abrelpe.com.br/noticias/rel-0017.html>>. Acesso em: 15 jan. 2002.

BIDONE, F.R.A. e POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos, ed. EESC/USP, 1999, 109p.

BONHAM-CARTER, G.F. Vehicle Routing. 1994. Disponível em: <<http://www.chesapeake2.com/cvj/itorms/vehicle.htm>>. Acesso em: 19 set 1998.

BORGES, M.E. Dificuldades e Soluções para o Gerenciamento dos Sistemas de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/index.asp>>. Acesso em: 29 abr. 2002.

BRIONES, L. Como Reduzir Danos ao Meio Ambiente. 2000. Disponível em: <http://www.ecolatina.com.br/br/artigos/impactos_ambientais/impac_amb_02.asp>. Acesso em: 15 jan. 2002.

CAIRNS, S. Promises and Problems: Using GIS to Analyse Shopping Travel. *Journal of Transport Geography*, n. 4, v.6, p. 273-284. 1998.

CALIPER. Routing and Logistics with TransCAD, versão 3.0, Transportation GIS Software: Caliper Corporation, 1996.

CÂMARA, G. Anatomia de um SIG. *Revista Fator GIS*, n. 4, p. 11-15, 1994.

CANASSA, E.M. Planejamento de Roteiros dos Veículos Coletores de Resíduos Sólidos Urbanos. 1992, 135p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHANG, N.B.; LU, H.Y. e WEI, Y.L. GIS Technology for Vehicle Routing and Scheduling in Solid Waste Collection Systems. *Journal of Environmental Engineering – ASCE*, n. 9, v. 123, p. 901-910, 1997.

DANTAS, A.S.; TACO, P.W.G. e YAMASHITA, Y. Sistema de Informação Geográfica em Transportes – O Estudo do Estado da Arte. In: ANPET - CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 10, 1996, Brasília, v. 1, p. 211-222.

DELUQUI, K.K. Roteirização para Veículos de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares Utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG. 1998, 218p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DEMERS, M.N. *Fundamentals of Geographic Information Systems*. 2000, Wiley, second edition: 498p.

EISELT, H.A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem. *Operation Research* 43, n. 2, p. 231-242, 1995.

FERREIRA, J.A. Melhoria Contínua da Qualidade da Limpeza Urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

FIUZA, S.M. e BARROS, R.T.V. Metodologia para Análise de Viabilidade de Soluções Intermunicipais no Tratamento e Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

FORANTTINI, O.P. Aspectos Epidemiológicos Ligados ao Lixo. In: RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA URBANA, São Paulo. 1976.

GALVEZ, F. Programação de Coleta. *Revista Limpeza Pública*. Março-abril, n.14, 1979.

GEBARA, D. Estudo de Decomposição do Lixo em um Modelo de Célula de Aterro Sanitário. 1985, 89p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GENDREAU, M.; LAPORTE, G. e YELLE, S.Y. Efficient Routing of Service Vehicles. *Engineering Optimization*, n. 28, p. 263-271. 1997.

GÜNTHER, W.M.R. Saúde Ambiental Comprometida pelos Resíduos Sólidos. In: RESID'99 – SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1999, São Paulo, ABGE, p. 83-89.

HANAFI, S.; FREVILLE, A. e VACA, P. Municipal Solid Waste Collection: An Effective Data Structure for Solving the Sectorization Problem with Local Search Methods. *INFOR-Journal*, n. 3, v. 37, p. 236-254, 1999.

HICKMAN, H.L. Collection of Residential Solid Waste. In: ROBINSON, W. *The Solid Waste Handbook – A Practical Guide*. Washington D. C., Wiley Interscience, 1981, cap. 8, p. 177-190.

IBGE. Tabela 104 - Municípios, total e com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por natureza dos serviços, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais - 2000. 2000a Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/defaultlixo.shtm>. Acesso em: 5 set. 2002.

IBGE. Tabela 101 - Municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de domicílios com lixo coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais – 2000. 2000b. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/defaultlixo.shtm>. Acesso em: 5 set. 2002.

IBGE. Tabela 110 - Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais – 2000. 2000c. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/defaultlixo.shtm>. Acesso em: 5 set. 2002.

IPT e CEMPRE. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2. ed., São Paulo, ed. IPT, 2000, 370p.

IPT e CEMPRE. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 1. ed., São Paulo, ed. IPT, 1995, 278p.

KEENAN, P.B. Spatial Decision Support Systems for Vehicle Routing. *Decision Support Systems*, n. 22, p. 65-71, 1998.

KORFMACHER, K.S. Solid Waste Collection Systems in Developing Urban Areas of South Africa: An Overview and Case Study. *Waste Management & Research*, n. 15, p. 477-494, 1997.

LAURINI, R. e THOMPSON, D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, London, 1992.

LEITE, W.C.A.; SILVA, J.U.L.; CASTRO, M.C.A. e SCHALCH, V. Gestão de Resíduos Sólidos – Arranjos Institucionais, Aspectos Legais e Mecanismos de Financiamento: A Experiência Brasileira. In: SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., Porto Seguro, Bahia, 2000. Cd-rom.

LEITE, W.C.A.; SCHALCH, V.; CASTRO, M.C.A. e FERNANDES JUNIOR, J.L. A Gestão e o Gerenciamento de Resíduos Sólidos a partir das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIS) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

LIEBMAN, J.C.; MALE, J.W. e WATHNE, M. Minimum Cost in Residential Refuse Vehicle Routes. *Journal of the Environmental Engineering Division*, n. 101, v. 3, p. 399-411, 1975.

LIMA, U.C. e PIZA, F.J.T. Comparação de Viabilidade Econômica Entre as Soluções Isolada e Consorciada na Gestão de Resíduos Sólidos Domésticos nos Municípios do Interior do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

MACDONALD, M.L. A Multi-Attribute Spatial Decision Support System for Solid Waste Planning. *Comput., Environ. And Urban Systems*, n.1, v. 20, p.1-17, 1996.

MACHADO, A.V. e PRATA FILHO, D.A. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Niterói. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

MANDELLI, S.M.C. e BOTOMÉ, S.P. Condições para Manejo de Resíduos Sólidos Domésticos no Âmbito das Residências e no Local de Transbordo na Via Pública. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

NAZÁRIO, P.R.S. GIS: Definições e Aplicações na Logística. 1998. Disponível em: <<http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>>. Acesso em: 20 set. 1999.

NYERGES, T. L. Locational Referencing and Highway Segmentation in a Geographic Information System. *ITE Journal*, v. 60, p. 27-31, 1990.

PARAFINA, S. GIS Based Automated Routing for Solid Waste Collection. In: GIS/LIS'95 – ANNUAL CONFERENCE & AMP, 1995, Exposition Bethesda, p. 799-803.

PEREIRA, J.S. Gerenciamento de Serviços de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/index.asp>>. Acesso em: 29 mar. 2002.

PEREIRA NETO, J.T. e LELIS, M.P.N. Variação da Composição Gravimétrica e Potencial de Reintegração Ambiental dos Resíduos Sólidos Urbanos por Região Fisiográfica do Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. Cd-rom.

PORTUGAL FILHO, G. Os Malefícios do Lixo. 1998. Disponível em: <<http://www.gpca.com.br/gil/art75.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2002.

REZENDE, R.A. e BARROS, R.T.V. Geração de Dados Unitários para os Serviços de Limpeza Pública de Cidades de Médio Porte: O Caso de Ouro Preto – MG. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., Porto Alegre, 2000. Cd-rom.

ROSSETO, C.F. & CUNHA, C.B. A Aplicação de Geoprocessamento na Roteirização de Veículos. In: GISBRASIL - CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., São Paulo, 1994. Anais: p. 35-44.

RUBERG, C. e PHILIPPI JUNIOR, A. Análise do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa. In: SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., Porto Seguro, Bahia, 2000. Cd-rom.

SANTOS, C.M.A Viabilização dos Softwares Comerciais na Roteirização de Veículos de Serviços de Entregas Visando a Geração de Respostas Rápidas e Eficientes. 1999, 198p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SARKIS, L.F.P.G. Resíduos de Serviços de Saúde em Cidades de Médio Porte: Caracterização de Sistemas de Coleta e Aplicação de Um Sistema de Informação Geográfica na Roteirização de Veículos de Coleta e Transporte. 2000, 216p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SCHNEIDER, V.E.; COSTA, S.D.; BOTTEGA, M.; MATTOS, M.; GRASSELLI, S. e CRUZ, D. Programa de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Município de Bento Gonçalves/RS – Brasil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., Porto Alegre, 2000. Cd-rom.

TANURE, C. Estudo e Aplicação de Algoritmo Genético para um Problema de Distribuição dos Correios. 1999. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

TEIXEIRA, A.M.A.; MORETTI, E. e CHRISTOFOLETTI, A. Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica. 1992. Rio Claro, edição do autor.

TROCOLI, M.J.M. e MORAES, L.R.S. Política Nacional de Resíduos Sólidos: Contribuição à Análise das Limitações à Sua Implementação. In: SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., Porto Seguro, Bahia, 2000. Cd-rom.

UNICEF. O que Uma Cidade Deve e Não Deve Ter em Seu Gerenciamento de Lixo. 2000. Disponível em:
<www.unicef.org/brazil/lixoecidadania/dapararesolver/ModeloIdeal.htm>. Acesso em: 20 set 2001.

WORRALL, L. Geographic Information Systems: Developments and Applications. Belhaven Press, London, 1990.

ANEXO A

Questionário Sobre Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares

COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

TERMO DE COMPROMISSO

Meu nome é Márcio Gonçalves Lacerda e sou aluno de Mestrado na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Estou fazendo um trabalho com o objetivo de caracterizar o sistema de coleta de lixo no Brasil. Para tanto, necessito da colaboração dos responsáveis pela coleta de lixo, no sentido de preencher e retornar este questionário. Comprometo-me a utilizar, se necessário, as informações contidas neste questionário em minha dissertação e em publicações científicas, sem mencionar o nome de qualquer cidade envolvida.

Município/Estado: _____

Número de Habitantes: _____

1-Aspecto Geral

a) Quantidade de lixo domiciliar coletado diariamente (toneladas/dia): _____

b) Qual porcentagem da população é atendida pelo serviço de coleta? _____

c) Existe algum estudo sobre a composição do lixo domiciliar coletado? (porcentagens de papel, vidro, plástico, matéria orgânica etc.) _____

d) O lixo domiciliar é coletado conjuntamente com algum outro tipo de lixo (comercial, industrial, entulho etc.)? _____

e) O lixo domiciliar passa por algum tipo de tratamento (triagem e segregação para reciclagem, compostagem, incineração) antes de sua destinação final? _____

f) Onde se dá a destinação final do lixo domiciliar coletado? (aterro sanitário, aterro controlado, lixão) _____

g) Quem é responsável pelo serviço de coleta de lixo domiciliar? (prefeitura ou empresa terceirizada) _____

h) Se o serviço de coleta de lixo atualmente é terceirizado, qual a sua avaliação quando comparado com o tipo de administração anterior (municipal)? _____

i) Já houve ou há algum projeto para implantação de coleta seletiva no município? _____

2-Aspecto Técnico

a) Que tipo de veículo realiza a coleta de lixo domiciliar? Quantos? Qual sua capacidade de carga (t) e volumétrica (m³)? _____

b) Como é realizada a manutenção do(s) veículo (s) (rotineira, preventiva ou corretiva)?

c) O município é dividido em setores de coleta? Se sim, a divisão é função de quais parâmetros (carga horária, distância, produção de resíduos, capacidade do caminhão etc.)? _____

d) Qual é a frequência de coleta no município (diária, alternada etc.)? _____

e) Descreva os procedimentos utilizados para definir a rota/itinerário do veículo coletor.

3-Aspectos Social e Sanitário

a) Quantos operários realizam o serviço de coleta? _____

b) Há algum tipo de treinamento dado aos operários (cursos, palestras)? _____

c) Que tipo de serviço social é prestado aos operários (recreativo, alimentar, ambulatorial)? _____

d) Há algum tipo de equipamento de proteção individual utilizado pelos operários? Qual? _____

e) Qual tipo de acidente é mais comum durante a operação de coleta (torções, fraturas, atropelamentos etc.)? _____

f) Qual é a frequência de limpeza dos equipamentos utilizados para execução desse serviço? _____

g) Qual é a avaliação pela população dos serviços de limpeza pública? _____

4-Aspectos Econômico e Administrativo

a) Qual é o custo da coleta de lixo domiciliar? _____

b) Em caso de haver algum tipo de tratamento do lixo, quais os custos envolvidos (manutenção, equipamentos, mão-de-obra, etc) e o valor total destes? (excluir custo de destinação final) _____

c) Quanto do orçamento da Prefeitura se destina aos serviços de limpeza pública? (considerando os serviços de limpeza (coleta e transporte), tratamento e destinação final) Pede-se o valor para cada serviço. _____

Grato pela colaboração

ANEXO B

Relatório de Itinerário e Relatório de Entrada e Saída de Dados
Relativo à Simulação para o Setor 1 na Segunda-feira

C:\WINDOWS\TEMP\ARPW.REP - June 14, 2002 (05:44:04 AM)

Model : Arc Routing

***** INPUT *****

Depot View : Intersecção
 Depot Selection : GARAGEM (#depots = 1)

Network File : C:\TCW\DOMICI~1\SETORS~1\SEGUNDA\SEGSUL.NET
 Minimize : LENGHT2
 Service Flag Field : [Service Flag *]
 Service Code : 1
 Depot Field : LENGHT2

Skim Field 1 : LENGHT2 (Service & Deadhead Links Separately)
 Skim Field 2 : [TIME [MIN]] (Service & Deadhead Links Separately)
 Skim Field 3 : LENGHT2 (Service Links)

Pass Method : Normal

Route system : Created

Itinerary Report : Created
 Depot Name Field : ID
 Link View : Ruas Ilha
 Link Name Field : [Endereço]

Shifts : Created
 Required Load Value : 3500.00
 Service Load Field : [Service Cost]
 Deadhead Load Field : None

Deadhead Milepost Layer : Not created

***** OUTPUT *****

Itinerary Report : C:\TCW\DOMICI~1\SETORS~1\SEGUNDA\SEGSUL.TXT
 Route System : C:\TCW\DOMICI~1\SETORS~1\SEGUNDA\SEGSUL.RTS
 Total Deadhead Cost : 12774.53
 # Links : 502
 # Deadhead Links : 278

Total Turn Penalty : 28.50
 # Left Turns : 199
 # Right Turns : 204
 # UTurns : 13
 # Straight Turns : 86

Itinerary Report

ROUTE #1 : depot 2187 shift 1
 Workload : 3484.88
 Deadhead Cost : 4753.93
 # Deadhead Links : 112 (out of 209 links)
 # Left Turns : 89
 # Right Turns : 82
 # U-Turns : 0
 # straight Turns : 38
 Turn Penalty Cost : 5.00

| No. Movement | Street_Name | Service |
|-----------------|------------------------|---------|
| 1 Start West on | RUA PRADO | No |
| 2 Straight | RUA PRADO | No |
| 3 Straight | RUA PRADO | No |
| 4 Straight | RUA PRADO | No |
| 5 Straight | RUA PRADO | No |
| 6 Right on | ALAMEDA BAHIA | No |
| 7 Straight | ALAMEDA BAHIA | No |
| 8 Left on | RUA GUANABARA | No |
| 9 Left on | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 10 Right on | RUA TERESÓPOLIS | Yes |
| 11 Left on | ALOJAMENTO - UNESP | No |
| 12 Right on | ÁREA VERDE | No |
| 13 Right on | ARARAS - VIELA DE 500 | Yes |
| 14 Right on | RUA LIMEIRA | No |
| 15 Left on | LIMEIRA - VIELA DE 500 | Yes |
| 16 Right on | ÁREA VERDE | No |
| 17 Straight | RUA PARATI | No |
| 18 Straight | RUA PARATI | No |
| 19 Straight | RUA PARATI | No |
| 20 Left on | PARATI - VIELA DE 100 | Yes |
| 21 Left on | RUA VOLTA REDONDA | No |
| 22 Left on | PARATI - VIELA DE 200 | Yes |
| 23 Right on | RUA PARATI | No |
| 24 Right on | PARATI - VIELA DE 300 | Yes |
| 25 Left on | RUA VOLTA REDONDA | No |
| 26 Straight | ÁREA VERDE | No |
| 27 Left on | MARÍLIA - VIELA DE 500 | Yes |
| 28 Right on | RUA MARÍLIA | No |
| 29 Left on | LIMEIRA - VIELA DE 400 | Yes |
| 30 Right on | RUA LIMEIRA | No |
| 31 Left on | ARARAS - VIELA DE 400 | Yes |
| 32 Right on | RUA PIRACICABA | No |
| 33 Right on | ARARAS - VIELA DE 300 | Yes |
| 34 Right on | RUA LIMEIRA | No |
| 35 Left on | LIMEIRA - VIELA DE 300 | Yes |
| 36 Right on | RUA MARÍLIA | No |
| 37 Left on | MARÍLIA - VIELA DE 400 | Yes |
| 38 Left on | RUA CAMPINAS | No |
| 39 Left on | MARÍLIA - VIELA DE 300 | Yes |
| 40 Right on | RUA MARÍLIA | No |
| 41 Left on | LIMEIRA - VIELA DE 200 | Yes |
| 42 Right on | RUA LIMEIRA | No |
| 43 Left on | ARARAS - VIELA DE 200 | Yes |
| 44 Right on | RUA PIRACICABA | No |

| | | | |
|-----|----------|------------------------|-----|
| 45 | Right on | ARARAS - VIELA DE 100 | Yes |
| 46 | Right on | RUA LIMEIRA | No |
| 47 | Left on | LIMEIRA - VIELA DE 100 | Yes |
| 48 | Right on | RUA MARÍLIA | No |
| 49 | Left on | MARÍLIA - VIELA DE 200 | Yes |
| 50 | Left on | RUA CAMPINAS | No |
| 51 | Left on | MARÍLIA - VIELA DE 100 | Yes |
| 52 | Straight | MARÍLIA - VIELA DE 100 | No |
| 53 | Straight | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 54 | Straight | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 55 | Right on | CACONDE - VIELA DE 500 | Yes |
| 56 | Right on | RUA CANANÉIA | No |
| 57 | Right on | CACONDE - VIELA DE 400 | Yes |
| 58 | Left on | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 59 | Straight | MARÍLIA - VIELA DE 100 | Yes |
| 60 | Left on | CACONDE - VIELA DE 300 | Yes |
| 61 | Right on | RUA CANANÉIA | No |
| 62 | Right on | CACONDE - VIELA DE 200 | Yes |
| 63 | Left on | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 64 | Left on | CACONDE - VIELA DE 100 | Yes |
| 65 | Right on | MOCÓCA - VIELA DE 100 | Yes |
| 66 | Right on | RUA ITÚ | No |
| 67 | Left on | ITÚ - VIELA DE 100 | Yes |
| 68 | Right on | RUA SOROCABA | No |
| 69 | Right on | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 70 | Left on | RUA BAURU | No |
| 71 | Right on | JAÚ - VIELA DE 100 | Yes |
| 72 | Left on | RUA JAÚ | No |
| 73 | Left on | JAÚ - VIELA DE 200 | Yes |
| 74 | Right on | RUA BAURU | No |
| 75 | Straight | RUA BAURU | No |
| 76 | Right on | JAÚ - VIELA DE 300 | Yes |
| 77 | Left on | RUA JAÚ | No |
| 78 | Left on | JAÚ - VIELA DE 400 | Yes |
| 79 | Right on | RUA BAURU | No |
| 80 | Straight | ÁREA VERDE | No |
| 81 | Straight | RUA CAMPOS | No |
| 82 | Straight | RUA CAMPOS | No |
| 83 | Straight | RUA CAMPOS | No |
| 84 | Straight | RUA CAMPOS | No |
| 85 | Left on | CAMPOS - VIELA DE 100 | Yes |
| 86 | Left on | RUA NITERÓI | No |
| 87 | Right on | NITERÓI - VIELA DE 200 | Yes |
| 88 | Left on | RUA RIO PARAÍBA | No |
| 89 | Left on | NITERÓI - VIELA DE 300 | Yes |
| 90 | Left on | RUA NITERÓI | No |
| 91 | Right on | CAMPOS - VIELA DE 200 | Yes |
| 92 | Right on | RUA CAMPOS | No |
| 93 | Right on | CAMPOS - VIELA DE 300 | Yes |
| 94 | Left on | RUA NITERÓI | No |
| 95 | Right on | NITERÓI - VIELA DE 400 | Yes |
| 96 | Left on | RUA RIO PARAÍBA | No |
| 97 | Left on | NITERÓI - VIELA DE 500 | Yes |
| 98 | Right on | RUA NITERÓI | No |
| 99 | Left on | CAMPOS - VIELA DE 400 | Yes |
| 100 | Right on | ÁREA VERDE | No |
| 101 | Right on | BAURU - VIELA DE 400 | Yes |
| 102 | Left on | RUA SANTOS | No |

| | | | |
|-----|----------|-------------------------|-----|
| 103 | Right on | SANTOS - VIELA DE 500 | No |
| 104 | Left on | RUA RIO PARAÍBA | No |
| 105 | Left on | SANTOS - VIELA DE 400 | Yes |
| 106 | Straight | BAURU - VIELA DE 300 | Yes |
| 107 | Right on | RUA BAURU | No |
| 108 | Straight | RUA BAURU | No |
| 109 | Right on | BAURU - VIELA DE 200 | Yes |
| 110 | Right on | RUA SANTOS | No |
| 111 | Left on | SANTOS - VIELA DE 300 | Yes |
| 112 | Left on | RUA RIO PARAÍBA | No |
| 113 | Left on | SANTOS - VIELA DE 200 | Yes |
| 114 | Right on | RUA SANTOS | No |
| 115 | Left on | BAURU - VIELA DE 100 | Yes |
| 116 | Right on | RUA BAURU | No |
| 117 | Straight | RUA BAURU | No |
| 118 | Right on | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 119 | Straight | SOROCABA - VIELA DE 100 | No |
| 120 | Right on | RUA SANTOS | No |
| 121 | Left on | SANTOS - VIELA DE 100 | Yes |
| 122 | Left on | RUA RIO PARAÍBA | No |
| 123 | Left on | ALAMEDA SÃO PAULO | No |
| 124 | Straight | SOROCABA - VIELA DE 100 | Yes |
| 125 | Straight | SOROCABA - VIELA DE 100 | Yes |
| 126 | Right on | RUA SOROCABA | No |
| 127 | Straight | RUA SOROCABA | No |
| 128 | Right on | SOROCABA - VIELA DE 200 | Yes |
| 129 | Left on | RUA TIETÊ | No |
| 130 | Left on | SOROCABA - VIELA DE 300 | Yes |
| 131 | Left on | RUA SOROCABA | No |
| 132 | Right on | ITÚ - VIELA DE 200 | Yes |
| 133 | Right on | RUA ITÚ | No |
| 134 | Right on | ITÚ - VIELA DE 300 | Yes |
| 135 | Left on | RUA SOROCABA | No |
| 136 | Right on | SOROCABA - VIELA DE 400 | Yes |
| 137 | Left on | RUA TIETÊ | No |
| 138 | Left on | SOROCABA - VIELA DE 500 | Yes |
| 139 | Left on | RUA SOROCABA | No |
| 140 | Right on | ITÚ - VIELA DE 400 | Yes |
| 141 | Left on | RUA ITÚ | No |
| 142 | Right on | MOCÓCA - VIELA DE 200 | Yes |
| 143 | Right on | RUA MOCÓCA | No |
| 144 | Right on | MOCÓCA - VIELA DE 300 | Yes |
| 145 | Straight | ITÚ - VIELA DE 500 | Yes |
| 146 | Left on | ÁREA VERDE | No |
| 147 | Left on | TIJUCAS - VIELA DE 500 | Yes |
| 148 | Right on | RUA TIJUCAS | No |
| 149 | Left on | RECANTO - VIELA DE 500 | Yes |
| 150 | Left on | RUA RECANTO | No |
| 151 | Right on | RUA MAFRA | Yes |
| 152 | Right on | RUA CAÇADOR | No |
| 153 | Right on | RUA TANGARÁ | Yes |
| 154 | Left on | RUA RECANTO | No |
| 155 | Right on | RECANTO - VIELA DE 400 | Yes |
| 156 | Right on | RUA TIJUCAS | No |
| 157 | Left on | TIJUCAS - VIELA DE 400 | Yes |
| 158 | Right on | RUA LAGUNA | No |
| 159 | Left on | LAGUNA - VIELA DE 500 | Yes |
| 160 | Left on | RUA RIO IGUAÇÚ | No |

| | | | |
|-----|----------|------------------------|-----|
| 161 | Left on | LAGUNA - VIELA DE 400 | Yes |
| 162 | Right on | RUA LAGUNA | No |
| 163 | Left on | TIJUCAS - VIELA DE 300 | Yes |
| 164 | Right on | RUA TIJUCAS | No |
| 165 | Left on | RECANTO - VIELA DE 300 | Yes |
| 166 | Right on | RUA RECANTO | No |
| 167 | Left on | RUA TIMBÓ | Yes |
| 168 | Right on | RUA CAÇADOR | No |
| 169 | Right on | RUA PALMITOS | Yes |
| 170 | Right on | RUA RECANTO | No |
| 171 | Left on | RECANTO - VIELA DE 200 | Yes |
| 172 | Right on | RUA TIJUCAS | No |
| 173 | Left on | TIJUCAS - VIELA DE 200 | Yes |
| 174 | Right on | RUA LAGUNA | No |
| 175 | Left on | LAGUNA - VIELA DE 300 | Yes |
| 176 | Left on | RUA RIO IGUAÇÚ | No |
| 177 | Left on | LAGUNA - VIELA DE 200 | Yes |
| 178 | Right on | RUA LAGUNA | No |
| 179 | Left on | TIJUCAS - VIELA DE 100 | Yes |
| 180 | Right on | RUA TIJUCAS | No |
| 181 | Left on | RECANTO - VIELA DE 100 | Yes |
| 182 | Straight | ALAMEDA SANTA CATARINA | Yes |
| 183 | Straight | ALAMEDA SANTA CATARINA | Yes |
| 184 | Straight | ALAMEDA SANTA CATARINA | No |
| 185 | Right on | RUA CAMBURIÚ | Yes |
| 186 | Left on | RUA BRUSQUE | Yes |
| 187 | Left on | RUA CHAPECÓ | Yes |
| 188 | Right on | ALAMEDA SANTA CATARINA | No |
| 189 | Right on | RUA CURITIBANOS | Yes |
| 190 | Straight | RUA CURITIBANOS | Yes |
| 191 | Right on | RUA JOAÇABA | Yes |
| 192 | Right on | RUA BLUMENAU | Yes |
| 193 | Straight | RUA BLUMENAU | Yes |
| 194 | Left on | RUA JOINVILE | Yes |
| 195 | Straight | RUA JOINVILE | No |
| 196 | Left on | RUA TUBARÃO | Yes |
| 197 | Left on | RUA JARAGUÁ | No |
| 198 | Left on | RUA LAJES | Yes |
| 199 | Left on | RUA JOINVILE | No |
| 200 | Straight | RUA JOINVILE | Yes |
| 201 | Right on | RUA CANOINHAS | Yes |
| 202 | Left on | ALAMEDA SANTA CATARINA | No |
| 203 | Straight | LAGUNA - VIELA DE 100 | Yes |
| 204 | Left on | RUA CONCÓRDIA | Yes |
| 205 | Left on | RUA CRICIÚMA | Yes |
| 206 | Left on | RUA CANOINHAS | Yes |
| 207 | Straight | RUA CANOINHAS | No |
| 208 | Left on | ALAMEDA SANTA CATARINA | Yes |
| 209 | Straight | LAGUNA - VIELA DE 100 | No |

ROUTE #2 : depot 2187 shift 2

Workload : 3477.92

Deadhead Cost : 4873.77

Deadhead Links : 90 (out of 176 links)

Left Turns : 77

Right Turns : 68

U-Turns : 4

straight Turns : 27

Turn Penalty Cost: 10.00

| No. | Movement | Street_Name | Service |
|-----|---------------|--------------------------|---------|
| 1 | Start West on | LAGUNA - VIELA DE 100 | Yes |
| 2 | Left on | RUA FLORIANÓPOLIS | Yes |
| 3 | Straight | RUA FLORIANÓPOLIS | Yes |
| 4 | Left on | RUA ITAJAÍ | Yes |
| 5 | Right on | RUA CANOINHAS | No |
| 6 | Left on | ALAMEDA ITAIPÚ | Yes |
| 7 | Straight | ALAMEDA ITAIPÚ | No |
| 8 | Straight | ALAMEDA ITAIPÚ | No |
| 9 | Left on | PERIMETRAL | No |
| 10 | Uturn | PERIMETRAL | Yes |
| 11 | Straight | PERIMETRAL | No |
| 12 | Straight | PERIMETRAL | No |
| 13 | Straight | PERIMETRAL | No |
| 14 | Right on | ROTATÓRIA FAPIC | No |
| 15 | Right on | AV. BRASIL SUL | No |
| 16 | Left on | RETORNO | No |
| 17 | Left on | AV. BRASIL SUL | No |
| 18 | Right on | ALAMEDA RIO GRANDE DO SU | No |
| 19 | Right on | RUA RIO GUAÍBA | No |
| 20 | Left on | RUA CAXIAS | Yes |
| 21 | Right on | RUA ALEGRETE | Yes |
| 22 | Left on | RUA BAGÉ | No |
| 23 | Left on | RUA PASSO FUNDO | Yes |
| 24 | Right on | RUA CAXIAS | Yes |
| 25 | Right on | RUA PORTO ALEGRE | Yes |
| 26 | Straight | RUA PORTO ALEGRE | Yes |
| 27 | Left on | RUA URUGUAIANA | Yes |
| 28 | Left on | RUA URUGUAIANA | Yes |
| 29 | Left on | RUA PELOTAS | Yes |
| 30 | Straight | RUA PELOTAS | Yes |
| 31 | Right on | ALAMEDA RIO GRANDE DO SU | No |
| 32 | Right on | PERIMETRAL | No |
| 33 | Straight | PERIMETRAL | Yes |
| 34 | Uturn | PERIMETRAL | No |
| 35 | Left on | RUA FARROUPILHA | Yes |
| 36 | Left on | RUA FARROUPILHA | Yes |
| 37 | Uturn | RUA FARROUPILHA | No |
| 38 | Right on | RUA FARROUPILHA | No |
| 39 | Left on | PERIMETRAL | No |
| 40 | Left on | ALAMEDA RIO GRANDE DO SU | No |
| 41 | Straight | ALAMEDA RIO GRANDE DO SU | No |
| 42 | Left on | RUA GRAMADO | Yes |
| 43 | Right on | RUA CANOAS | Yes |
| 44 | Right on | RUA CANELA | Yes |
| 45 | Left on | ALAMEDA RIO GRANDE DO SU | Yes |
| 46 | Straight | ALAMEDA RIO GRANDE DO SU | Yes |
| 47 | Left on | RUA RIO GUAÍBA | Yes |
| 48 | Straight | RUA RIO GUAÍBA | No |
| 49 | Left on | CURITIBA - VIELA DE 500 | Yes |
| 50 | Left on | RUA CURITIBA | No |
| 51 | Right on | LONDRINA - VIELA DE 500 | Yes |
| 52 | Right on | RUA LONDRINA | No |
| 53 | Left on | PALMAS - VIELA DE 400 | Yes |
| 54 | Straight | IPIRANGA - VIELA DE 400 | Yes |

| | | | |
|-----|----------|--------------------------|-----|
| 55 | Straight | APUCARANA - VIELA DE 400 | Yes |
| 56 | Straight | CAMBARÁ - VIELA DE 400 | Yes |
| 57 | Right on | RUA ARAPONGAS | No |
| 58 | Right on | CAMBARÁ - VIELA DE 300 | Yes |
| 59 | Left on | RUA APUCARANA | No |
| 60 | Right on | APUCARANA - VIELA DE 300 | Yes |
| 61 | Right on | RUA MANDAGUARI | No |
| 62 | Left on | IPIRANGA - VIELA DE 300 | Yes |
| 63 | Left on | RUA PALMAS | No |
| 64 | Right on | PALMAS - VIELA DE 300 | Yes |
| 65 | Right on | RUA LONDRINA | No |
| 66 | Left on | LONDRINA - VIELA DE 400 | Yes |
| 67 | Left on | RUA CURITIBA | No |
| 68 | Right on | CURITIBA - VIELA DE 400 | Yes |
| 69 | Left on | RUA RIO PARANÁ | No |
| 70 | Left on | CURITIBA - VIELA DE 300 | Yes |
| 71 | Left on | RUA CURITIBA | No |
| 72 | Right on | LONDRINA - VIELA DE 300 | Yes |
| 73 | Right on | RUA LONDRINA | No |
| 74 | Straight | RUA LONDRINA | No |
| 75 | Right on | LONDRINA - VIELA DE 200 | Yes |
| 76 | Left on | RUA CURITIBA | No |
| 77 | Right on | CURITIBA - VIELA DE 200 | Yes |
| 78 | Left on | RUA RIO PARANÁ | No |
| 79 | Left on | CURITIBA - VIELA DE 100 | Yes |
| 80 | Left on | RUA CURITIBA | No |
| 81 | Right on | LONDRINA - VIELA DE 100 | Yes |
| 82 | Left on | RUA LONDRINA | No |
| 83 | Straight | RUA LONDRINA | No |
| 84 | Right on | PALMAS - VIELA DE 200 | Yes |
| 85 | Left on | RUA PALMAS | No |
| 86 | Right on | IPIRANGA - VIELA DE 200 | Yes |
| 87 | Right on | RUA MANDAGUARI | No |
| 88 | Left on | APUCARANA - VIELA DE 200 | Yes |
| 89 | Left on | RUA APUCARANA | No |
| 90 | Right on | CAMBARÁ - VIELA DE 200 | Yes |
| 91 | Right on | RUA ARAPONGAS | No |
| 92 | Right on | CAMBARÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 93 | Left on | RUA APUCARANA | No |
| 94 | Right on | APUCARANA - VIELA DE 100 | Yes |
| 95 | Right on | RUA MANDAGUARI | No |
| 96 | Left on | IPIRANGA - VIELA DE 100 | Yes |
| 97 | Left on | RUA PALMAS | No |
| 98 | Right on | PALMAS - VIELA DE 100 | Yes |
| 99 | Left on | RUA LONDRINA | No |
| 100 | Right on | ALAMEDA PARANÁ | No |
| 101 | Straight | MARINGÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 102 | Straight | MARINGÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 103 | Left on | RUA RIO IVAÍ | No |
| 104 | Left on | MARINGÁ - VIELA DE 200 | Yes |
| 105 | Left on | RUA MARINGÁ | No |
| 106 | Right on | PARANAGUÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 107 | Left on | RUA PARANAGUÁ | No |
| 108 | Right on | LAPA - VIELA DE 100 | Yes |
| 109 | Right on | RUA LAPA | No |
| 110 | Right on | LAPA - VIELA DE 200 | Yes |
| 111 | Left on | RUA PARANAGUÁ | No |
| 112 | Right on | PARANAGUÁ - VIELA DE 200 | Yes |

| | | | |
|-----|----------|--------------------------|-----|
| 113 | Left on | RUA MARINGÁ | No |
| 114 | Right on | MARINGÁ - VIELA DE 300 | Yes |
| 115 | Left on | RUA RIO IVAÍ | No |
| 116 | Straight | RUA RIO IVAÍ | No |
| 117 | Left on | MARINGÁ - VIELA DE 500 | No |
| 118 | Right on | ÁREA VERDE | No |
| 119 | Left on | PARANAGUÁ - VIELA DE 400 | Yes |
| 120 | Left on | ÁREA VERDE | No |
| 121 | Right on | LAPA - VIELA DE 400 | Yes |
| 122 | Left on | RUA LAPA | No |
| 123 | Left on | LAPA - VIELA DE 300 | Yes |
| 124 | Left on | RUA PARANAGUÁ | No |
| 125 | Right on | PARANAGUÁ - VIELA DE 300 | Yes |
| 126 | Left on | RUA MARINGÁ | No |
| 127 | Right on | MARINGÁ - VIELA DE 400 | Yes |
| 128 | Left on | RUA RIO IVAÍ | No |
| 129 | Left on | MARINGÁ - VIELA DE 500 | Yes |
| 130 | Right on | ÁREA VERDE | No |
| 131 | Straight | ÁREA VERDE | No |
| 132 | Left on | MARIANA - VIELA DE 400 | Yes |
| 133 | Right on | ÁREA VERDE | No |
| 134 | Left on | SABARÁ - VIELA DE 400 | Yes |
| 135 | Straight | LAMBARI - VIELA DE 400 | Yes |
| 136 | Right on | RUA LAMBARI | No |
| 137 | Right on | LAMBARI - VIELA DE 300 | Yes |
| 138 | Left on | RUA SABARÁ | No |
| 139 | Right on | SABARÁ - VIELA DE 300 | Yes |
| 140 | Right on | RUA MARIANA | No |
| 141 | Left on | MARIANA - VIELA DE 300 | Yes |
| 142 | Right on | RUA UBERABA | No |
| 143 | Left on | UBERABA - VIELA DE 400 | Yes |
| 144 | Right on | RUA RIO DOCE | Yes |
| 145 | Right on | UBERABA - VIELA DE 500 | Yes |
| 146 | Right on | RUA UBERABA | No |
| 147 | Straight | RUA UBERABA | No |
| 148 | Straight | RUA UBERABA | No |
| 149 | Right on | UBERABA - VIELA DE 300 | Yes |
| 150 | Left on | RUA RIO DOCE | No |
| 151 | Straight | RUA RIO DOCE | No |
| 152 | Left on | UBERABA - VIELA DE 100 | No |
| 153 | Straight | UBERABA - VIELA DE 100 | Yes |
| 154 | Left on | RUA UBERABA | No |
| 155 | Right on | MARIANA - VIELA DE 100 | Yes |
| 156 | Right on | RUA MARIANA | No |
| 157 | Left on | SABARÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 158 | Left on | RUA SABARÁ | No |
| 159 | Right on | LAMBARI - VIELA DE 100 | Yes |
| 160 | Left on | RUA LAMBARI | No |
| 161 | Left on | LAMBARI - VIELA DE 200 | Yes |
| 162 | Left on | RUA SABARÁ | No |
| 163 | Right on | SABARÁ - VIELA DE 200 | Yes |
| 164 | Right on | RUA MARIANA | No |
| 165 | Left on | MARIANA - VIELA DE 200 | Yes |
| 166 | Left on | RUA UBERABA | No |
| 167 | Right on | UBERABA - VIELA DE 200 | Yes |
| 168 | Left on | RUA RIO DOCE | No |
| 169 | Left on | UBERABA - VIELA DE 100 | Yes |
| 170 | Right on | RUA BELO HORIZONTE | No |

| | | | |
|-----|----------|--------------------------|-----|
| 171 | Straight | RUA BELO HORIZONTE | No |
| 172 | Right on | BELO HORIZONTE - VIELA D | Yes |
| 173 | Uturn | BELO HORIZONTE - VIELA D | No |
| 174 | Left on | RUA BELO HORIZONTE | No |
| 175 | Right on | CAXAMBÚ - VIELA DE 100 | Yes |
| 176 | Right on | RUA CAXAMBÚ | No |

ROUTE #3 : depot 2187 shift 3
 Workload : 1466.95
 Deadhead Cost : 3146.83
 # Deadhead Links : 76 (out of 117 links)
 # Left Turns : 33
 # Right Turns : 54
 # U-Turns : 9
 # straight Turns : 21
 Turn Penalty Cost : 13.50

| No. Movement | Street_Name | Service |
|--------------|---|---------|
| 1 | Start West on OURO PRETO - VIELA DE 100 | Yes |
| 2 | Left on RUA OURO PRETO | No |
| 3 | Right on BARBACENA - VIELA DE 100 | Yes |
| 4 | Straight BARBACENA - VIELA DE 100 | Yes |
| 5 | Right on RUA BARBACENA | No |
| 6 | Right on BARBACENA - VIELA DE 200 | Yes |
| 7 | Left on RUA OURO PRETO | No |
| 8 | Right on OURO PRETO - VIELA DE 20 | Yes |
| 9 | Right on RUA CAXAMBÚ | No |
| 10 | Left on CAXAMBÚ - VIELA DE 200 | Yes |
| 11 | Right on RUA BELO HORIZONTE | No |
| 12 | Left on BELO HORIZONTE - VIELA D | Yes |
| 13 | Uturn BELO HORIZONTE - VIELA D | No |
| 14 | Right on RUA BELO HORIZONTE | No |
| 15 | Straight RUA BELO HORIZONTE | No |
| 16 | Right on BELO HORIZONTE - VIELA D | Yes |
| 17 | Uturn BELO HORIZONTE - VIELA D | No |
| 18 | Right on RUA BELO HORIZONTE | No |
| 19 | Straight RUA BELO HORIZONTE | No |
| 20 | Right on BELO HORIZONTE - VIELA D | Yes |
| 21 | Uturn BELO HORIZONTE - VIELA D | No |
| 22 | Left on RUA BELO HORIZONTE | No |
| 23 | Right on CAXAMBÚ - VIELA DE 300 | Yes |
| 24 | Right on RUA CAXAMBÚ | No |
| 25 | Left on OURO PRETO - VIELA DE 30 | Yes |
| 26 | Left on RUA OURO PRETO | No |
| 27 | Right on BARBACENA - VIELA DE 300 | Yes |
| 28 | Right on RUA BARBACENA | No |
| 29 | Right on BARBACENA - VIELA DE 400 | Yes |
| 30 | Left on RUA OURO PRETO | No |
| 31 | Right on OURO PRETO - VIELA DE 40 | Yes |
| 32 | Right on RUA CAXAMBÚ | No |
| 33 | Left on CAXAMBÚ - VIELA DE 400 | Yes |
| 34 | Left on RUA BELO HORIZONTE | No |
| 35 | Right on BELO HORIZONTE - VIELA D | Yes |
| 36 | Uturn BELO HORIZONTE - VIELA D | No |
| 37 | Right on ÁREA VERDE | No |
| 38 | Straight ÁREA VERDE | No |
| 39 | Right on CUIABÁ - VIELA DE 400 | Yes |

| | | | |
|----|----------|--------------------------|-----|
| 40 | Uturn | CUIABÁ - VIELA DE 400 | No |
| 41 | Right on | ÁREA VERDE | No |
| 42 | Left on | CORUMBÁ - VIELA DE 400 | Yes |
| 43 | Left on | RUA CORUMBÁ | No |
| 44 | Right on | LADÁRIO - VIELA DE 400 | Yes |
| 45 | Left on | BRILHANTE - VIELA DE 400 | Yes |
| 46 | Left on | RUA BRILHANTE | No |
| 47 | Right on | ROCHEDOS - VIELA DE 400 | Yes |
| 48 | Right on | RUA ROCHEDOS | No |
| 49 | Left on | DOURADOS - VIELA DE 400 | Yes |
| 50 | Right on | RUA DOURADOS | No |
| 51 | Right on | DOURADOS - VIELA DE 300 | Yes |
| 52 | Right on | RUA ROCHEDOS | No |
| 53 | Left on | ROCHEDOS - VIELA DE 300 | Yes |
| 54 | Left on | RUA BRILHANTE | No |
| 55 | Right on | BRILHANTE - VIELA DE 300 | Yes |
| 56 | Right on | RUA LADÁRIO | No |
| 57 | Left on | LADÁRIO - VIELA DE 300 | Yes |
| 58 | Left on | RUA CORUMBÁ | No |
| 59 | Right on | CORUMBÁ - VIELA DE 300 | Yes |
| 60 | Right on | RUA CUIABÁ | No |
| 61 | Left on | CUIABÁ - VIELA DE 300 | Yes |
| 62 | Uturn | CUIABÁ - VIELA DE 300 | No |
| 63 | Right on | RUA CUIABÁ | No |
| 64 | Straight | RUA CUIABÁ | No |
| 65 | Right on | CUIABÁ - VIELA DE 200 | Yes |
| 66 | Uturn | CUIABÁ - VIELA DE 200 | No |
| 67 | Right on | RUA CUIABÁ | No |
| 68 | Straight | RUA CUIABÁ | No |
| 69 | Right on | CUIABÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 70 | Uturn | CUIABÁ - VIELA DE 100 | No |
| 71 | Left on | RUA CUIABÁ | No |
| 72 | Right on | CORUMBÁ - VIELA DE 200 | Yes |
| 73 | Left on | RUA CORUMBÁ | No |
| 74 | Right on | LADÁRIO - VIELA DE 200 | Yes |
| 75 | Right on | RUA LADÁRIO | No |
| 76 | Left on | BRILHANTE - VIELA DE 200 | Yes |
| 77 | Left on | RUA BRILHANTE | No |
| 78 | Right on | ROCHEDOS - VIELA DE 200 | Yes |
| 79 | Right on | RUA ROCHEDOS | No |
| 80 | Left on | DOURADOS - VIELA DE 200 | Yes |
| 81 | Right on | RUA DOURADOS | No |
| 82 | Right on | DOURADOS - VIELA DE 100 | Yes |
| 83 | Left on | RUA ROCHEDOS | No |
| 84 | Right on | ALAMEDA MATO GROSSO | Yes |
| 85 | Right on | RUA BRILHANTE | No |
| 86 | Straight | RUA BRILHANTE | No |
| 87 | Right on | ROCHEDOS - VIELA DE 100 | Yes |
| 88 | Right on | RUA ROCHEDOS | No |
| 89 | Straight | RUA ROCHEDOS | No |
| 90 | Right on | ALAMEDA MATO GROSSO | No |
| 91 | Right on | RUA BRILHANTE | No |
| 92 | Left on | BRILHANTE - VIELA DE 100 | Yes |
| 93 | Right on | RUA LADÁRIO | No |
| 94 | Left on | LADÁRIO - VIELA DE 100 | Yes |
| 95 | Left on | RUA CORUMBÁ | No |
| 96 | Right on | CORUMBÁ - VIELA DE 100 | Yes |
| 97 | Left on | RUA CUIABÁ | No |

| | | | |
|-----|----------|------------------------|----|
| 98 | Right on | ALAMEDA MATO GROSSO | No |
| 99 | Right on | ROTATÓRIA CORREIO | No |
| 100 | Straight | ROTATÓRIA CORREIO | No |
| 101 | Straight | ROTATÓRIA CORREIO | No |
| 102 | Right on | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 103 | Left on | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 104 | Straight | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 105 | Straight | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 106 | Straight | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 107 | Straight | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 108 | Straight | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 109 | Straight | ALAMEDA RIO DE JANEIRO | No |
| 110 | Left on | RUA GUANABARA | No |
| 111 | Right on | ALAMEDA BAHIA | No |
| 112 | Straight | ALAMEDA BAHIA | No |
| 113 | Left on | RUA PRADO | No |
| 114 | Straight | RUA PRADO | No |
| 115 | Straight | RUA PRADO | No |
| 116 | Straight | RUA PRADO | No |
| 117 | Straight | RUA PRADO | No |