



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Marcus Antonio Ventura

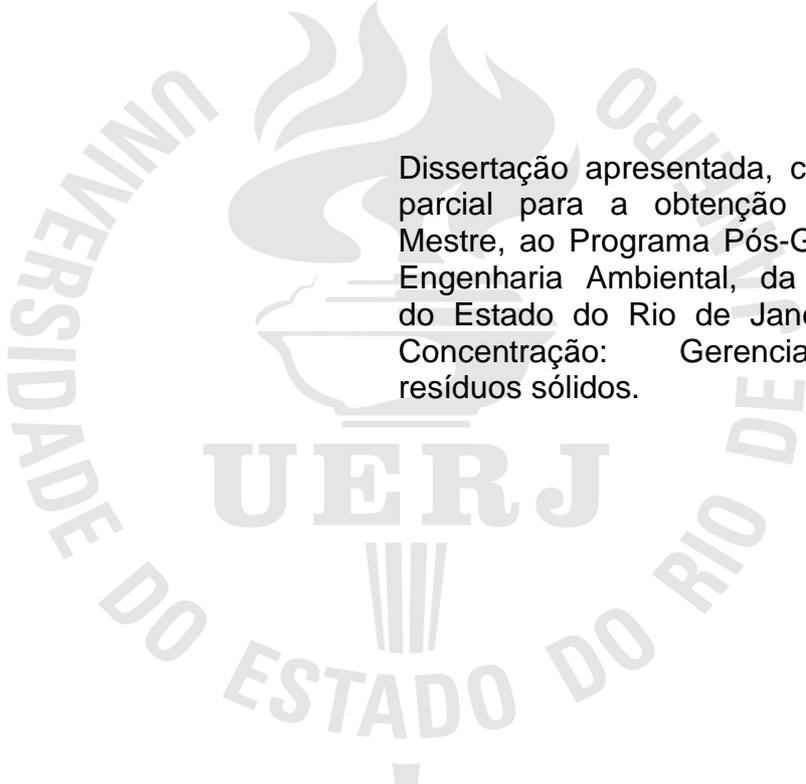
**Otimização de sistema de roteirização de coleta de resíduos  
sólidos domiciliares urbanos utilizando ferramentas  
computacionais**

Rio de Janeiro

2013

Marcus Antonio Ventura

**Otimização de sistema de roteirização de coleta de resíduos sólidos  
domiciliares urbanos utilizando ferramentas computacionais**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre, ao Programa Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Gerenciamento de resíduos sólidos.

Orientador: Prof. Dr. João Alberto Ferreira

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

V469 Ventura, Marcus Antonio.

Otimização de sistema de roteirização de coleta de resíduos sólidos domiciliares urbanos utilizando ferramentas computacionais. / Marcus Antonio Ventura – 2013.

91 f.

Orientador: João Alberto Ferreira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Resíduos sólidos - Dissertações. 3. Limpeza urbana - dissertações. I. Ferreira, João Alberto. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628.463

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Marcus Antonio Ventura

**Otimização de sistema de roteirização de coleta de resíduos sólidos  
domiciliares urbanos utilizando ferramentas computacionais**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre, ao Programa Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Gerenciamento de resíduos sólidos.

Aprovada em: 18 de Março de 2013.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. João Alberto Ferreira  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Elisabeth Ritter  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Maria Cristina Moreira Alves  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2013

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha linda e maravilhosa família, razão pelo qual encontro força e luto todos os dias incansavelmente.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo privilégio de chegar a mais esta etapa da minha vida.

Agradeço a minha querida amiga, professora, orientadora, professora Elisabeth Ritter.

A Limpatech Serviços e Construções Ltda pela cessão do tempo de trabalho a execução do mestrado.

Ao meu grande amigo e orientador João alberto Ferreira.

A minha querida Esposa Roberta Augusta Anacleto Ventura pela paciência e apoio.

A meus pais pela credibilidade demonstrada em todos esses anos da minha vida acadêmica.

A Prefeitura Municipal de Macaé – RJ.

## RESUMO

VENTURA, Marcus Antonio. **Otimização de sistema de roteirização de coleta de resíduos sólidos domiciliares urbanos utilizando ferramentas computacionais.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013.

A operação de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos é indispensável dentro de quaisquer sistema de limpeza urbana. É necessário que se intensifique a pesquisa nessa área de conhecimento afim de produzir-se material de auxílio ao poder público municipal e o setor privado. Deste modo o objetivo geral deste trabalho é o estudo da utilização de ferramentas computacionais para a otimização dos roteiros dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares. Foi feito um comparativo entre os itinerários percorridos pelos caminhões de coleta quando dimensionados de forma empírica e quando dimensionados com o auxílio de ferramentas computacionais. Verificou-se as vantagens e desvantagens de cada modelo de dimensionamento e o grande potencial de redução de custos quando utilizadas ferramentas computacionais.

Palavras-chave: Coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos; Limpeza urbana; Transcad; Roteirização em arcos.

## ABSTRACT

VENTURA, Marcus Antonio. **Optimizing routing of household solid waste collection using computational tools**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013.

The operation of collection and transportation of municipal solid waste is essential within any system of urban sanitation. It is necessary to intensify research in this area of knowledge in order to produce up to aid the municipal government and the private sector material. Thus the objective of this work is to study the use of computational tools for the optimization of routes of solid waste collection services. A comparison between the routes traveled by pickup truck when scaled empirically and when scaled with the aid of computational tools was made. There are advantages and disadvantages of each model sizing and great potential for cost savings when used computational tools.

Keywords: Collection and transportation of municipal solid waste; Urban Sanitation; Transcad; Arc routing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamento de coleta mecanizada de resíduos .....	18
Figura 2 – Ponte de Konigsberg .....	24
Figura 3 – Grafo básico .....	25
Figura 4 – Mapa do município de Macaé-RJ.....	34
Figura 5 – Traçado percorrido por caminhão de coleta .....	36
Figura 6 – Boletim diário de operações .....	38
Figura 7 – Mapa viário da região do Lagomar.....	40
Figura 8 – Mapa viário da região Central.....	41
Figura 9 – Mapa em SIG do bairro do Lagomar .....	43
Figura 10 – Visor da balança de pesagem embarcada .....	44
Figura 11 – Equipamento de pesagem embarcada instalado .....	44
Figura 12 – Frota de coleta de resíduos sólidos urbanos .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de percurso para a rota .....	51
Tabela 2 – Quilometragem percorrida para a rota .....	53
Tabela 3 – Tempo de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário .....	55
Tabela 4 – Quilometragem de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário ..	57
Tabela 5 – Tempo de coleta .....	58
Tabela 6 – Quilometragem percorrida na coleta .....	61
Tabela 7 – Quantidade de resíduos transportados .....	63
Tabela 8 – Quantidade média de resíduos transportados por dia da semana .....	66
Tabela 9 – Produtividade horária média .....	67
Tabela 10 – Tempo de permanência no aterro sanitário .....	68
Tabela 11 – Tempo de retorno dos caminhões para a garagem .....	70
Tabela 12 – Quilometragem de retorno dos caminhões .....	71
Tabela 13 – Tempo total médio .....	73
Tabela 14 – Quilometragem percorrida por tipo .....	74
Tabela 15 – Comparativo de Custos .....	76

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1.	<b>Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos</b> .....	15
2.2.	<b>Dimensionamento dos sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos</b> .....	18
2.3.	<b>Geoprocessamento</b> .....	20
2.4.	<b>Sistema de Informações Geográficas (SIG)</b> .....	22
2.4.1.	<u>Definições</u> .....	22
2.4.2.	<u>Estrutura</u> .....	23
2.5.	<b>Roteirização</b> .....	23
2.5.1.	<u>Histórico</u> .....	23
2.5.2.	<u>Teoria dos Grafos</u> .....	25

2.5.2.1.	Grafos .....	25
2.5.2.2.	Dígrafos .....	26
2.5.3.	<u>Roteirização de veículos</u> .....	26
2.5.3.1.	Tipos de problemas de roteirização .....	26
2.5.3.2.	Extensões fundamentais de problemas de roteirização .....	27
2.5.3.3.	Softwares de roteirização .....	32
3	<b>METODOLOGIA DE TRABALHO</b> .....	33
3.1.	<b>Dados iniciais</b> .....	33
3.2.	<b>Monitoramento dos roteiros de coleta empírico</b> .....	35
3.3.	<b>Monitoramento dos roteiros de coleta dimensionados no</b> <b>Transcad</b> .....	35
3.4.	<b>Levantamento dos atuais roteiros de coleta</b> .....	36
3.5.	<b>Escolha dos roteiros de coleta dos roteiros de coleta a</b> <b>serem avaliados</b> .....	39

3.6.	<b>Aquisição dos mapas em SIG (Sistema de informações geográficas)</b> .....	41
3.7.	<b>Delimitação dos roteiros de coleta</b> .....	43
3.8.	<b>Transcad</b> .....	45
3.8.1.	Dados de entrada do TransCAD.....	47
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	49
4.1.	<b>Discussão de parâmetros</b> .....	49
4.1.1.	<u>Tempo de percurso para a rota</u> .....	50
4.1.2.	<u>Quilometragem percorrida para a rota</u> .....	53
4.1.3.	<u>Tempo de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário</u> .....	55
4.1.4.	<u>Quilometragem de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário</u> .....	56
4.1.5.	<u>Tempo de coleta</u> .....	58
4.1.6.	<u>Quilometragem percorrida nos serviços de coleta</u> .....	60
4.1.7.	<u>Quantidade de resíduos coletados</u> .....	63

4.1.8.	<u>Produtividade horária média</u> .....	67
4.1.9.	<u>Tempo de permanência no aterro sanitário</u> .....	68
4.1.10.	<u>Tempo de retorno dos caminhões para a base</u> .....	69
4.1.11.	<u>Quilometragem de retorno dos caminhões para a base</u> .....	71
4.1.12.	<u>Tempo total médio</u> .....	72
4.1.13.	<u>Projeção de economia de recursos</u> .....	74
5.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	77
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	79
	<b>ANEXO I – RESULTADO DO ITINERÁRIO DESENVOLVIDO</b>	
	<b>PELO TRANSCAD</b> .....	83

## INTRODUÇÃO

Entre os diversos problemas ambientais existentes, o dos resíduos sólidos urbanos tem-se tornado um dos maiores desafios da atualidade. Com o crescimento acelerado da população, houve incremento na produção de bens e serviços. Estes, por sua vez, à medida que são produzidos e consumidos, acarretam uma geração cada vez maior de resíduos, os quais, coletados ou dispostos inadequadamente, trazem significativos impactos à saúde pública e ao meio ambiente (DEUS et al., 2004).

No Brasil o crescimento da geração de resíduos sólidos vem ocorrendo tanto pelo crescimento populacional como pelo aumento da capacidade econômica da população local. Segundo a ABRELPE (2012), são coletados diariamente no Brasil 181.288 toneladas de resíduos sólidos urbanos, com volume de produção per capita de 1,107 kg/habitante/dia. Na região Sudeste são coletadas diariamente 95.142 toneladas de resíduos sólidos urbanos, com volume de produção per capita de 1,255 kg/habitante/dia.

Com a titularidade municipal na gestão dos resíduos sólidos no Brasil, atribuída por lei Federal, grande parte dos municípios brasileiros enfrentam, ao longo de anos, dificuldades para manter os serviços de limpeza urbana de forma eficiente e adequada às exigências da população.

Na região Sudeste, cada município gasta o equivalente a R\$ 4,44/habitante/mês com os serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos e os demais serviços de limpeza urbana consomem R\$ 7,51/habitante/mês (ABRELPE, 2012). Desta forma, a coleta de RSU representa 37% do total dos gastos de um município com o sistema de limpeza urbana (destinação final, varrição, capina, limpeza e manutenção de parques e jardins, limpeza de córregos, etc).

Embora, nos últimos anos tenham ocorrido algumas mudanças na tecnologia da coleta domiciliar e da limpeza de logradouros, tais como: veículos mais adequados a realidade nacional, utilização de contêineres em áreas de maior concentração populacional e maior geração de resíduos, os resultados do ponto de vista da qualidade ambiental das cidades brasileiras têm sido pouco significativo. Quando são realizadas pesquisas de opinião pública, a limpeza urbana é, na maioria das vezes referida de forma negativa (FERREIRA, 1999).

A visibilidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos é cada vez maior e é apontada, pela maioria das prefeituras como um problema prioritário do município.

No Estado do Rio de Janeiro na recente mudança de prefeitos nas eleições em 2012, os problemas com a limpeza urbana nos municípios ocuparam as manchetes dos principais jornais do país.

A coleta domiciliar de resíduos sólidos urbanos é um item chave dentro do sistema de limpeza urbana de um determinado município, pois através dele os resíduos colocados nas portas de residências são devidamente coletados e encaminhados para o destino adequado, no caso brasileiro, para o aterro sanitário.

A otimização do setor do sistema de coleta domiciliar é um importante componente de um efetivo sistema de gestão de resíduos sólidos urbano, cuja elaboração manual é difícil na medida em que a mesma envolve inúmeros fatores (KENCHANASHAN et al., 2011).

O desenvolvimento tecnológico aplicado a problemas modernos de logística, produziu uma série de ferramentas computacionais capazes de melhorar o desempenho dos sistemas de logística, dentre os quais podemos destacar o SIG (Sistema de Informações Geográficas) que aplicado aos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos pode contribuir significativamente na melhoria dos serviços executados.

O presente estudo aborda o uso de uma destas ferramentas computacionais, sua aplicação nos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos e a possibilidade da contribuição destes sistemas na otimização de recursos gastos pela administração pública municipal.

## 1. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é o estudo da utilização de ferramentas computacionais para a otimização dos roteiros dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares.

### **Objetivos específicos:**

- Utilização do aplicativo TRANSCAD na roteirização do sistema de coleta domiciliar de um município;
- Avaliação comparativa dos métodos de dimensionamento dos roteiros de coleta (método empírico e método com uso de modelagem computacional).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos

A coleta de resíduos sólidos em uma área urbana é difícil e complexa, porque a geração de resíduos domiciliares e comerciais ocorre em todas as casas, prédios de apartamentos, em todos os estabelecimentos comerciais e industriais e até mesmo em ruas e parques (TCHOBONOGLOUS et al., 1993).

A norma NBR-12.980 da ABNT (ABNT, 1993) define a coleta domiciliar como a atividade que consiste na coleta dos resíduos das residências, estabelecimentos comerciais e industriais cujo volume não ultrapasse o previsto em legislação Municipal.

Conforme o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2001), coletar o resíduo significa recolher o mesmo acondicionado por quem o produz para encaminhá-lo, mediante transporte adequado, a uma possível estação de transferência, a um eventual tratamento e à disposição final. Coleta-se o resíduo para evitar problemas de saúde e ambientais que ele possa propiciar.

A coleta de resíduos pode ser realizada de duas formas distintas: a coleta porta a porta e a coleta em grandes sítios de concentração. Na coleta porta a porta o caminhão se desloca ao longo de todas as ruas de determinado roteiro, coletando os resíduos, sempre que possível, na porta das residências ou afins. Na coleta em grandes sítios de concentração, são criadas áreas de acúmulo de resíduos por parte da população local, para posterior coleta por equipamento adequado. Nessa segunda modalidade, é fundamental que os resíduos sejam acondicionados em contêineres, que podem ter 240L, 360L, 1200L de capacidade, e que o veículo coletor compactador possua sistema hidráulico de basculamento de contêineres.

Segundo BRASIL (2004), a coleta e o transporte dos diversos tipos de resíduos e estabelecimentos, entre eles o domiciliar, de feiras livres, de calçadas e estabelecimentos públicos e a coleta de resíduos de serviços de saúde devem garantir a universalidade, regularidade, frequência adequada e cumprimento dos horários pré-estabelecidos.

A universalidade garante que os serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos estarão presentes em todo o território do município independente das condições de acesso, tempo de percurso, etc.

Segundo IBAM (2001) a coleta do resíduo domiciliar deve ser efetuada em cada imóvel, sempre nos mesmos dias e horários, regularmente. Somente assim os cidadãos habituar-se-ão e serão condicionados a colocar os recipientes ou embalagens do resíduo nas calçadas, em frente aos imóveis, sempre nos dias e horários em que o veículo coletor irá passar. O tempo de permanência dos resíduos nos logradouros também deve ser motivo de preocupação especial, pois os resíduos comprometem o aspecto estético do local, emitem odores e até mesmo atraem vetores e animais transmissores de doenças.

O ideal, portanto, em um sistema de coleta de resíduo domiciliar, é estabelecer um recolhimento com dias e horários determinados, de pleno conhecimento da população, através de comunicações individuais a cada responsável pelo imóvel e de placas indicativas nas ruas. A população deve adquirir confiança de que a coleta não vai falhar e assim irá prestar sua colaboração, não atirando lixo em locais impróprios, acondicionando e posicionando embalagens adequadas, nos dias e horários marcados, com grandes benefícios para a higiene ambiental, a saúde pública, a limpeza e o bom aspecto dos logradouros públicos.

Para FONSECA (1999) a frequência de três vezes na semana no Brasil é a ideal para o sistema, considerando-se a relação custo benefício.

Há que se considerar ainda a capacidade de armazenamento dos resíduos nos domicílios. Nas favelas e em comunidades carentes, as edificações não têm capacidade para armazená-lo por mais de um dia, o mesmo ocorrendo nos centros das cidades, onde os estabelecimentos comerciais e de serviços, além da falta de local apropriado para o armazenamento, produzem resíduo em quantidade considerável. Em ambas as situações é conveniente estabelecer a coleta domiciliar com frequência diária (6 vezes por semana).

Os equipamentos de coleta devem ser efetivamente adequados as características urbanas, clima local e ao tipo de resíduo transportado. Uma seleção incorreta de tecnologias podem levar a gastos desproporcionais em relação as possibilidades econômicas locais e a uma diminuição da vida útil dos equipamentos (OPAS, 2002).

Os principais objetivos do sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos devem ser (EPA, 1974):

- Proteção ambiental: Proteger a saúde da população local e o meio ambiente transportando os resíduos de forma adequada para as áreas de disposição final pré-definidas.
- Conveniência: Proporcionar um nível desejado de serviço em termos de frequência e pontos de coleta.
- Continuidade: Garantir a continuidade desde serviço de natureza fundamental.
- Recuperação de recursos: Recuperar e preservar os recursos naturais.
- Segurança: Armazenar e coletar os resíduos da forma mais segura possível.
- Eficiência: Alcançar todos os objetivos citados com maior produtividade e menor custo.

O horário de realização dos serviços de coleta deve respeitar as características intrínsecas de cada localidade e a utilização ótima da frota de caminhões de coleta. A coleta pode ser realizada tanto no período diurno como no período noturno.

O diurno apresenta vantagens do menor custo (em função do custo da mão de obra), e a desvantagem que neste período o tráfego é mais intenso. O noturno apresenta vantagens em relação ao tráfego, contudo, o maior custo e os ruídos gerados, especialmente pelo manejo de recipientes metálicos, e pela compactação dos resíduos, são as suas desvantagens (PEÑALOZA E MUÑOZ, 1998).

Segundo JARDIM et al., (2000), os horários devem ser definidos observando principalmente, a intensidade do trânsito, procurando ampliar a produtividade, buscando uma menor interferência no tráfego em geral e um menor incômodo para a população residente.

Manter uma frota de veículos de coleta, distribuída pelos setores operacionais em que está dividido o município, bem como coordenar a atuação dos homens da guarnição com todos os problemas que ocorrem, como quebra de veículos, falta de trabalhadores, etc realizando uma coleta de bom nível técnico, representa o grande desafio do administrador (FERREIRA et al., 1999).

## 2.2. Dimensionamento dos sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos

Por definição, o aumento da produtividade dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos significa, o aumento da quantidade de toneladas coletadas por hora (EPA, 1974).

Muitas pessoas acham que há somente uma maneira de aumentar a produtividade dos serviços, que seria o aumento da carga horária de trabalho dos coletores. De um modo geral, no entanto, maior produtividade pode ser conseguida pela melhoria dos métodos de armazenamento e coleta de resíduos, melhor encaminhamento dos resíduos coletados, uso de dispositivos de armazenamento mais eficientes, coleta em somente 1 (um) lado da via ao invés dos 2 (dois) lados de forma simultânea, redução da guarnição de coleta e até mesmo o uso de dispositivos mecanizados de coleta (EPA, 1974). A figura 1 apresenta um equipamento utilizado pela COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro) para coleta mecanizada dos resíduos.



Figura 1: Equipamento de coleta mecanizada de resíduos.

Os 5 (cinco) estágios do desenvolvimento dos sistemas de coleta são apresentados a seguir:

I - Rever as políticas, metodologias e alternativas existentes em cada município, incluindo a estrutura institucional local e os objetivos do sistema de coleta;

II – Determinar o trajeto ótimo para os locais de destinação final de resíduos e avaliar a existência de soluções ambientais existentes (aterro sanitário, estações de transferência, dentre outros).

III – Realizar o balanceamento da rota, avaliando o desempenho de cada equipe de guarnição utilizada nos serviços e dividir as áreas de coleta de forma que cada equipe utilizada colete a mesma quantidade de resíduos;

**IV – Determinar o caminho ou trajeto ótimo do roteiro de coleta de cada caminhão nos roteiros pré-determinados;**

V – Aplicação das modificações propostas. (EPA, 1974)

O objetivo da roteirização é minimizar a distância percorrida de forma não produtiva (ruas sem serviços, repetição de trechos) e os tempos de atraso (inversões de marcha, ruas com tráfego intenso de veículos, retornos a esquerda, dentre outras situações). A abordagem dos problemas de roteirização na coleta de resíduos sólidos domiciliares envolve algumas regras dentre as quais podemos destacar:

- As rotas não podem ser fragmentadas nem sobrepostas. O roteiro deve ser compacto e formado por segmentos de ruas agrupadas na mesma área geográfica;
- As rotas devem começar o mais próximo possível da área de estacionamento dos caminhões;
- As vias com tráfego intenso de veículos não devem ser atendidas pelos serviços de coleta nos horários de grande movimentação;
- As vias íngremes devem ser preferencialmente atendidas com apenas 1 (uma) passagem de caminhão, coletando em ambos os lados da via. A coleta será processada no sentido de descida da via, aumentando a segurança, reduzindo o desgaste dos veículos e economizando combustível e óleos lubrificantes;
- As vias íngremes também devem ser atendidas preferencialmente no início dos roteiros;
- Para a coleta em apenas um lado da rua, geralmente é melhor executar voltas em sentido horário em torno dos quarteirões;

É fundamental para o desenvolvimento e planejamento dos roteiros de coleta a disponibilização de mapas com a maior quantidade de informações possíveis disponíveis (EPA, 1974). Os mapas em SIG (Sistema de Informações Geográficas) auxiliam de forma consistente a realização de trabalhos deste gênero proposto nesta dissertação.

### **2.3. Geoprocessamento**

Conforme RODRIGUES (1993), geoprocessamento é um conjunto de tecnologias, de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltado para um objetivo específico.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade do século XX, da tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento (CÂMARA; DAVIS et al., 2004).

Um exemplo pioneiro, onde intuitivamente se incorporou a categoria espaço às análises realizadas ocorreu no século XIX por John Snow. Em 1854, ocorria em Londres uma das várias epidemias de cólera trazida das Índias. Pouco se sabia então sobre os mecanismos causais da doença. Duas vertentes científicas procuravam explicá-la: uma relacionando-a aos miasmas, concentrados nas regiões baixas e pantanosas das cidades, e outra a ingestão de água insalubre. Um mapa localizava as residências dos óbitos ocasionados pela doença e as bombas de água que abasteciam a cidade, permitindo visualizar claramente uma destas – em Broad Street – como o epicentro da epidemia (CÂMARA; DAVIS, et al., 2004). Esse exemplo comprova o aproveitamento da análise espacial e os dados obtidos através de levantamento e pesquisa.

As primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 1950, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de

mapas. Dada a precariedade da informática na época, e a especificidade das aplicações desenvolvidas (pesquisa em botânica, na Inglaterra, e estudos de volume de tráfego, nos Estados Unidos), estes sistemas ainda não podiam ser classificados como “sistemas de informação” (CÂMARA; DAVIS, et al., 2004).

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar. Não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima. Não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro.

Além disto, a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas. Ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então que a expressão Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi criada. Foi também nesta época que começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais de CAD (Computer Aided Design, ou projeto assistido por computador), que melhoraram em muito as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia, e serviram de base para os primeiros sistemas de cartografia automatizada. Também nos anos 70 foram desenvolvidos alguns fundamentos matemáticos voltados para a cartografia, incluindo questões de geometria computacional. No entanto, devido aos custos e ao fato destes proto-sistemas ainda utilizarem exclusivamente computadores de grande porte, apenas grandes organizações tinham acesso à tecnologia.

A década de 80 representa o momento quando a tecnologia de sistemas de informação geográfica inicia um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje. Até então limitados pelo alto custo do hardware e pela pouca quantidade de pesquisa específica sobre o tema, os GIS se beneficiaram grandemente da massificação causada pelos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto. Nos EUA, a criação dos centros de pesquisa que formam o NCGIA - National Centre for Geographical

Information and Analysis (NCGIA, 1989) marca o estabelecimento do Geoprocessamento como disciplina científica independente.

## **2.4. Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

### **2.4.1. Definições**

De acordo com (MCDONNELL e KEMP, 1995), SIG é um sistema de computador para capturar, gerenciar, integrar, manipular, analisar e exibir dados espacialmente referenciados à Terra.

Outras definições de SIG são encontradas na literatura:

“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (ARONOFF, 1989);

“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986);

“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (COWEN, 1991);

“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (SMITH et al., 1987).

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) também é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum – a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é,

localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (CÂMARA, 1994).

### **2.4.2. Estrutura**

Segundo (CÂMARA, 1994) numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados.

## **2.5. Roteirização**

### **2.5.1. Histórico**

Um dos primeiros problemas de roteirização conhecido no mundo foi o problema baseado na cidade de Königsberg (território da Prússia até 1945, atual

Kaliningrado, na Rússia), que é cortada pelo Rio Prególia, onde há duas grandes ilhas que, juntas, formam um complexo que na época continha sete pontes.

Discutia-se nas ruas da cidade a possibilidade de atravessar todas as pontes sem repetir nenhuma. Havia-se tornado uma lenda popular a possibilidade da façanha quando Euler, em 1736, provou que não existia caminho que possibilitasse tais restrições.

Euler usou um raciocínio muito simples. Transformou os caminhos em retas e suas intersecções em pontos, criando possivelmente o primeiro grafo da história. Então percebeu que só seria possível atravessar o caminho inteiro passando uma única vez em cada ponte se houvesse exatamente zero ou dois pontos de onde saísse um número ímpar de caminhos. A razão de tal coisa é que de cada ponto deve haver um número par de caminhos, pois será preciso um caminho para "entrar" e outro para "sair". Os dois pontos com caminhos ímpares referem-se ao início e ao final do percurso, pois estes não precisam de um para entrar e um para sair, respectivamente. Se não houver pontos com número ímpar de caminhos, pode-se (e deve-se) iniciar e terminar o trajeto no mesmo ponto, podendo esse ser qualquer ponto do grafo. Isso não é possível quando temos dois pontos com números ímpares de caminhos, sendo obrigatoriamente um o início e outro o fim. A Figura 2 ilustra o exemplo da Ponte de Königsberg.

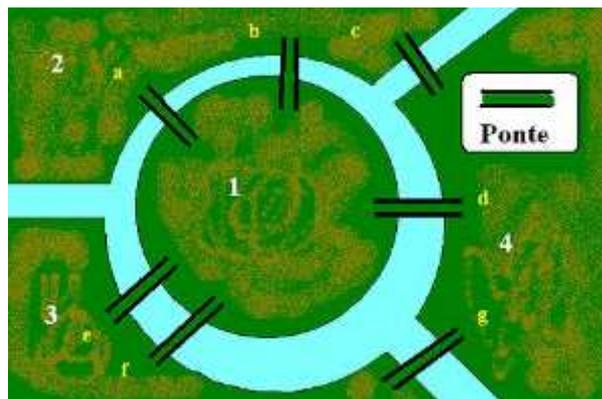


Figura 2: Ponte de Königsberg.

Outro problema matemático é o do carteiro chinês, que foi proposto por um matemático (GUAN, 1962) da Escola Normal de Shangtun. O problema consiste em determinar um caminho de comprimento mínimo cobrindo cada arco pelo menos uma vez.

## 2.5.2. Teoria dos Grafos

### 2.5.2.1. Grafos

A **teoria dos grafos** é um ramo da matemática que estuda as relações entre os objetos de um determinado conjunto. Um **grafo** é um par  $(V;A)$  em que  $V$  é um conjunto arbitrário e  $A$  é um subconjunto de  $V \times V$  (2) . Os elementos de  $V$  são chamados **vértices** e os de  $A$  são chamados **arestas**.

A primeira evidência do uso de grafos data de 1736, quando Euler utilizou-os para resolver o problema da Ponte de Königsberg . Desde então, grafos tem sido utilizados em uma grande variedade de aplicações que vão desde circuitos elétricos até ciências sociais (NONATO, 2000).

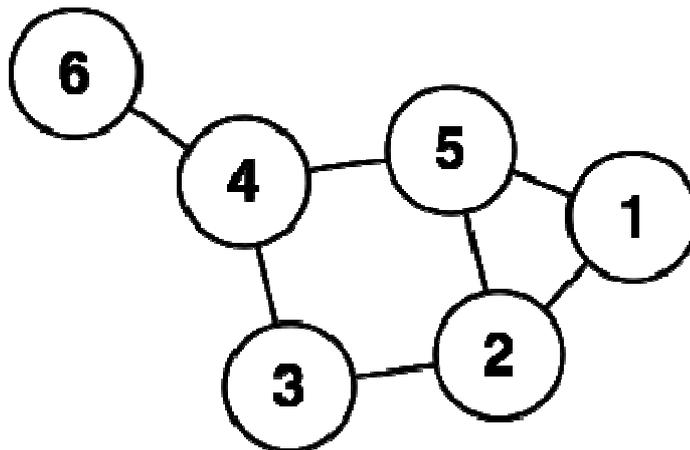


Figura 3: Grafo básico

Matematicamente, um grafo  $G$  consiste de 2 (dois) conjuntos  $V$  e  $A$  onde  $V$  é um conjunto finito e não vazio de nós e  $A$  é um conjunto de pares não ordenados de nós chamados arcos .

O grafo correspondente da figura 3 pode ser mostrado da seguinte forma:

$$V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

$$A = \{(6,4), (4,3), (4,5), (5,1), (1,2), (3,2), (5,2)\}$$

### **2.5.2.2. Dígrafos**

Um grafo  $G = (V, A)$  é dito direcionado ou dirigido (dígrafo) se ele é constituído de um conjunto finito não vazio  $V$  (os vértices) e um conjunto  $A$  (as arestas orientadas) de pares ordenados de vértices. Portanto em um dígrafo cada aresta  $(v, w)$  possui uma única direção de  $v$  para  $w$ . Note-se que ao contrário dos grafos, os dígrafos podem possuir ciclos de comprimento 2 (os caminhos e ciclos devem obedecer ao direcionamento das arestas).

O grau de entrada em um vértice  $v$  de um dígrafo é o número de arestas que chegam em  $v$  e o grau de saída é o número de arestas que partem de  $v$ . Uma fonte é um vértice com grau de entrada zero e um sumidouro é um vértice com grau de saída zero. Todo dígrafo acíclico possui pelo menos uma fonte e um sumidouro.

### **2.5.3. Roteirização de veículos**

A roteirização de veículos pode ser definida como a melhor sequência em que vias/pontos devem ser percorridos, visando o atendimento das demandas por serviço e tendo como objetivo minimizar os custos operacionais, as distâncias percorridas e os tempos de trajeto.

#### **2.5.3.1. Tipos de problemas de roteirização**

Os problemas de roteirização podem ser divididos basicamente em dois tipos:

- Problemas de roteirização em Nós: os locais de atendimento são representados como pontos específicos em uma rede viária, caracterizados como nós ou vértices. Dentre os serviços que contemplam os problemas de roteirização em nós, podemos destacar:
  - Serviços de coleta e entrega realizados por veículos a partir de um depósito (ou terminal de carga);
  - Trajetos de veículos de longa distância (transporte de carga e de passageiros intermunicipal, interestadual e internacional);
  - Atendimento de serviços de manutenção e emergência;

- Transporte de pessoas portadoras de deficiências e idosos (dial-a-ride);
- Sequenciamento de tarefas e abastecimento de linhas de produção.
- Problemas de Roteirização em Arcos: os locais de atendimento são representados de forma contínua ao longo dos segmentos de via, caracterizados como arcos e arestas. Dentre os serviços que contemplam os problemas de roteirização em arcos, podemos destacar:
  - Varrição de ruas por equipamentos mecânicos;
  - **Coleta de resíduos domiciliares;**
  - Entrega de correspondência, jornais e folhetos de publicidade;
  - Leitura de medidores de energia elétrica, água e gás;
  - Patrulhamento de ruas por viaturas policiais;
  - Fixação de componentes eletrônicos em placas de circuito.

#### **2.5.3.2. Extensões fundamentais de problemas de roteirização**

Existem dois grandes tipos de coleta: i) a primária e ii) a secundária. A coleta primária é o processo de retirada dos resíduos sólidos domiciliares da fonte que os produz. A coleta secundária, normalmente inclui a retirada dos resíduos sólidos domiciliares de uma estação de transferência, o seu transporte e a sua disposição final em um aterro sanitário (OPAS, 2002).

Além disso o poder público municipal pode optar por alguns modelos de coleta específicos, sempre tentando a adequação a realidade de cada localidade. No modelo de armazenamento e coleta comunitária são utilizadas lixeiras públicas (em geral contêineres) para armazenar os resíduos sólidos, os quais são recolhidos regularmente por veículos coletores. O modelo de armazenamento e coleta por blocos consiste em um veículo coletor que não percorre todas as ruas com a finalidade de diminuir seu percurso, para isso ele é estacionado em locais estratégicos onde a sua presença é anunciada a comunidade local esperando-se que a comunidade traga seus resíduos sólidos a tempo. No modelo de armazenamento e coleta domiciliar a população coloca os resíduos sólidos

devidamente embalados na frente da moradia no horário ou momentos antes da passagem do veículo coletor, dinamizando o trabalho da unidade (OPAS, 2002).

Com a definição do modelo e os tipos de equipamentos a serem utilizados nos serviços de coleta, o próximo passo é encontrar o melhor traçado para a execução dos serviços pretendidos.

Alguns aspectos fundamentais para o dimensionamento dos roteiros de coleta são abordados por TCHOBANOGLIOUS (1993), dentro os quais podemos destacar:

- As características do sistema existente, o tamanho da guarnição a ser utilizada e os tipos de veículos a serem utilizados;
- Sempre que possível, as rotas devem ser definidas de modo que elas comecem perto de vias arteriais, usando barreiras topográficas e físicas como limites de rota;
- Em áreas montanhosas ou com muitas ladeiras, as rotas devem começar no topo das ladeiras e seguir o seu carregamento no sentido descendente;
- As rotas devem ser projetadas de forma que o final do roteiro seja o mais próximo possível do aterro sanitário onde os resíduos serão dispostos;
- Áreas com problemas de congestionamento devem ser atendidas preferencialmente no início dos roteiros.

Assim, o projeto de um sistema ótimo de coleta domiciliar de resíduos envolve uma complexa interação de fatores dos quais depende o seu sucesso (IETC, 1996).

Algumas vezes veículos não motorizados como triciclos ou carroças (aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de capacidade de carga) são utilizados para a coleta primária em áreas populares ou em bairros periféricos pois requerem pouco investimento inicial, fazem uso intensivo de mão de obra e permitem cobrir zonas de difícil acesso por falta de pavimentação ou topografia, tornando mais eficiente o trajeto dos veículos motorizados de coleta (OPAS, 2002).

A seguir, são apresentadas as extensões do problema básico de roteirização de veículos, baseadas nos parâmetros mais relevantes e comuns. Os principais parâmetros que caracterizam um problema de roteirização foram obtidos a partir dos trabalhos de CHISTOFIDES (1985), BODIN e GOLDEN (1981).

Os parâmetros de interesse para o objeto desta pesquisa são classificados em quatro categorias: função objetivo, restrições, variáveis de decisão e hipóteses/recursos, e/ou características do problema.

### **Função Objetivo**

- Minimizar os custos totais de distribuição, que incluem os custos fixos (custos de capital do veículo, salários de motoristas e ajudantes, e outras despesas eventuais como licenciamento, seguros, taxas etc.) e os custos variáveis (manutenção, combustível, consumo de pneus);
- Minimizar a distância total percorrida;
- Minimizar o número de veículos;
- Maximizar a função utilidade baseada no nível de serviço e/ou prioridades dos clientes.

### **Restrições**

#### **a) Restrições dos veículos**

- Limite de capacidade dos veículos;
- Limite com relação ao tipo de carga dos veículos;
- Operação de carga e descarga dos veículos;
- Número e tipo de veículos disponíveis.

#### **b) Restrições com os clientes**

- Janela de tempo dos clientes;
- Atendimento total ou parcial das demandas;
- Tempo máximo permitido para carga e descarga;
- Necessidade ou restrição de serviço em algum dia específico da semana;
- Disponibilidade de área para estacionamento do veículo.

#### **c) Restrições das rotas**

- Horário de início e término das viagens;
- Tempo máximo de viagem de um veículo (jornada de trabalho);
- Distância máxima percorrida;
- Locais de parada fixas etc.

### **Variáveis de decisão**

- Roteiro a ser percorrido por cada veículo;
- Qual veículo é designado para cada cliente;

- Qual a quantidade de carga transportada para cada cliente da rota;
- Hora de início de atendimento do primeiro cliente da rota.

### **Hipóteses/recursos, e/ou características do problema.**

#### **a) Tipo de operação**

- Coleta;
- Entrega;
- Coleta e entrega simultaneamente;
- Coleta (ou entrega) com carga de retorno.

#### **b) Tipo de carga**

- Única ou carga de lotação;
- Múltiplas cargas ou carga fracionada.

#### **c) Tipo de demanda**

- Determinística;
- Estocástica.

#### **d) Localização da demanda**

- Demanda localizada somente em arcos;
- Demanda localizada somente em nós;
- Demanda localizada em arcos e nós.

#### **e) Tamanho da frota**

- Limitada;
- Ilimitada.

#### **f) Tipo da frota**

- Homogênea;
- Heterogênea.

#### **g) Depósito e localização de veículos**

- Um único depósito;
- Vários depósitos;
- Quantidade de produtos disponíveis no depósito central para entrega aos clientes;
- Número de bases de origem e destino dos veículos.

#### **h) Jornada de trabalho**

- Duração;
- Horário de almoço e outras interrupções;
- Permissão para viagem com mais de um dia de duração;
- Número de tripulantes por veículo.

#### **i) Pagamento dos tripulantes**

- Por jornada de trabalho;
- Por produtividade;
- Jornada e horas extras.

#### **j) Estrutura da rede**

- Direcionada;
- Não direcionada;
- Mista;
- Euclidiana.

#### **l) Horizonte de planejamento**

- Curto prazo;
- Longo prazo.

#### **m) Outras hipóteses**

- Cada veículo pode visitar um cliente uma única vez durante a rota;
- Um cliente pertence a uma única rota;
- Um cliente pode pertencer a mais de uma rota;
- Quando o veículo visita um cliente da rota todos os clientes são visitados etc.

De acordo com NOVAES (2001) quando a separação dos clientes pelos diversos roteiros já foi realizada previamente, e existe capacidade suficiente para o grupo de clientes designado a um determinado veículo, a questão da restrição de tempo e de capacidade pode ser considerada resolvida, tudo se passando como se o sistema não fosse restrito por tempo ou por capacidade. Nesses casos, o problema que resta a ser resolvido é o de encontrar a seqüência de visitas aos clientes que torne mínimo o percurso. Este problema é denominado problema do caixeiro viajante (PCV). O PCV é um problema de otimização que trata da determinação dos caminhos hamiltonianos em um grafo qualquer. O objetivo do PCV é encontrar, em um grafo  $G = (N, A)$  o caminho hamiltoniano de menor custo. Já o problema do carteiro chinês, proposto na revista "*Chinese Mathematics*" por Mei-Ko Kwan em 1962, é um problema de otimização que objetiva cobrir um passeio por todos os arcos do grafo, minimizando a distancia total percorrida e difere do PVC pelo fato de admitir, na maioria das situações, uma solução em tempo polinomial.

#### **2.5.3.3. Softwares de roteirização**

Segundo (GUIMARÃES e PACHECO, 2005) os softwares roteirizadores desempenham um papel importante, não apenas reduzindo substancialmente os custos, mas permitindo a realização de análises e simulações de estratégias de distribuição. Englobam também ferramentas de segurança, pois muitos deles utilizam dispositivos eletrônicos de rastreamento baseados em SIG.

Para a roteirização comercial de veículos existem vários aplicativos a disposição das empresas. Dentre eles pode-se destacar o RoadShow, o Arclogistics, o Logware, o Transportation Routing (TR) e o Transcad. O Transcad foi o programa utilizado, em função do mesmo estar em processo de implantação.

### **3 METODOLOGIA DO TRABALHO**

Neste capítulo será apresentada a metodologia de trabalho utilizada para desenvolvimento de toda a dissertação, com base em pesquisas de levantamento de campo e uso de programa computacional específico

A primeira etapa consistiu em levantar os atuais roteiros de coleta de resíduos sólidos urbanos praticados no município. A instalação de dispositivos de localização geográfica com auxílio de GPS (Global Positioning System) possibilitou o acompanhamento total rua por rua de todo o roteiro executado por cada caminhão de coleta e conseqüentemente a determinação da área de abrangência de cada roteiro.

A segunda etapa iniciou-se com a compra dos mapas em SIG (Sistema de Informações Geográficas) do município estudado e modelagem computacional dos atuais roteiros de coleta com utilização do Transcad.

A terceira etapa consistiu no redesenho dos roteiros de coleta escolhidos para a dissertação com utilização do Transcad, com indicação de nova sequência ótima de atendimento das ruas, que tem como objetivo principal, atender a toda a área de abrangência do roteiro percorrendo o menor número de ruas possíveis e conseqüentemente no menor tempo.

O programa computacional (Transcad) é um programa de logística completo, com 1 (um) módulo específico de coleta de resíduos sólidos urbanos baseado no algoritmo de roteamento em arcos, que possibilita o redesenho completo dos roteiros, respeitando todas as restrições de tráfego do município.

A determinação dos itinerários de coleta de resíduos sólidos urbanos pode ser executada de forma empírica, onde o responsável pelos serviços determina manualmente através do método de tentativa e erro o melhor itinerário a ser realizado ou com a utilização de um programa computacional, conforme executado nesta dissertação.

#### **3.1. Dados iniciais**

O município de Macaé-RJ possui área de 1217 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010) e receita pública anual de R\$ 1.076.776.003,00 (um bilhão, setenta e seis milhões, setecentos e setenta e seis mil e três reais) (PMM, 2009). Sua população é de 206.728 habitantes (IBGE, 2010), está localizada a uma latitude de -22°22'33" e longitude de

-41°46'30" e faz divisa com as cidades de Carapebus, Conceição de Macabu, ao Norte; Rio das Ostras e Casimiro de Abreu, ao Sul; Trajano de Moraes e Nova Friburgo, a Oeste; e com o Oceano Atlântico, a Leste. Contando com 23 quilômetros de litoral, o clima é quente e úmido na maior parte do ano, com temperaturas que variam entre 23°C e 38°C, amplitude térmica considerável, ocasionada pela troca de ventos entre o litoral e a serra, relativamente próximos. É também conhecida como "Princesinha do Atlântico" e "Capital do Petróleo Brasileiro".

Segundo a empresa terceirizada responsável pela coleta de resíduos sólidos urbanos do município, existem 40 (quarenta) roteiros de coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo 20 (vinte) roteiros no período diurno e 20 (vinte) roteiros no período noturno. A coleta de RSU é realizada em sua maioria em frequência alternada (segundas, quartas e sextas ou terças, quintas e sábados) sendo que algumas ruas da área central do município contam com frequência de coleta diária (de segunda a sábado).

A figura 4 apresenta o mapa do município de Macaé.



Figura 4: Mapa do município de Macaé-RJ.

### **3.2. Monitoramento dos roteiros de coleta empírico**

O monitoramento dos roteiros antigos (planejados por métodos empíricos) ocorreu no período de Agosto de 2011 a Dezembro de 2011. O monitoramento foi executado com base nas informações preenchidas pelos motoristas dos caminhões coletores de resíduos, anotando no BDO (Boletim diário de operações), formulário padrão utilizado pela gestora do contrato do município com informações operacionais, os tempos e as quilometragens de interesse. A instalação do sistema de GPS nos veículos facilitou o controle do trajeto percorrido pelos caminhões de coleta e possibilitou o aumento na fiscalização dos serviços prestados tanto por parte da municipalidade local como por parte da empresa responsável pelos serviços.

### **3.3. Monitoramento dos roteiros de coleta dimensionados no Transcad**

Durante o mês de Dezembro de 2011, com todos os dados de entrada necessários já inseridos no Transcad o mesmo foi rodado e forneceu um resultado na forma de trajeto a ser percorrido.

Foram 8 meses de avaliação entre o período de Janeiro a Agosto de 2012 no roteiro do bairro do Lagomar, no entanto durante algumas semanas não foi possível obter os dados de trajeto dos caminhões devido a ausência de pessoal qualificado na operação. Em virtude dessas falhas de obtenção de dados apesar do levantamento durar cerca de 08 meses somente são apresentados dados de 04 meses. O resultado obtido através de modelagem computacional executada no Transcad foi repassado para o controle operacional da empresa responsável pelos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos do município, que implantou os roteiros obtidos no programa e possibilitou a avaliação dos resultados encontrados. Com a fiscalização dos encarregados de campo e do sistema de monitoramento de frota através do GPS, cada roteiro modificado foi acompanhado diariamente pela equipe de apoio, controlando a eficiência dos roteiros projetados pelo Transcad. Apesar dos dados informados para o transcad apresentarem um grau de exatidão de trajeto compatível com a natureza dos serviços prestados, foi necessário alguns ajustes no trajeto a ser percorrido devido a aspectos intrínsecos do município (carros estacionados de forma irregular impedindo passagem de veículos, obras

em vias e logradouros, mudanças de mão de direção, conveniências políticas locais, dentre outros).

### **3.4. Levantamento dos atuais roteiros de coleta**

O método de roteirização atualmente utilizado no município é conhecido como modo empírico. Este método consiste na divisão do município em diversas regiões pré-estabelecidas, onde o engenheiro responsável pela execução dos serviços, seus encarregados e os próprios motoristas dos caminhões coletores compactadores, determinam um “caminho ótimo” dentro de uma região e vão aperfeiçoando-o ao longo do tempo com o conhecimento do roteiro percorrido. Nessa modalidade não existe uma padronização de percurso, sendo comum uma grande distorção das quilometragens percorridas diariamente, dificultando inclusive, a implantação e avaliação de qualquer sistema de controle de coleta.

Buscando obter da forma mais próxima possível a realidade dos roteiros de coleta executados atualmente no município, foi instalado um sistema de monitoramento via satélite em todos os veículos pertencentes à frota de coleta e nos veículos responsáveis pela fiscalização dos serviços.

O sistema de monitoramento implantado permite o acompanhamento em tempo real do trajeto de todos os veículos, emitindo sinais para o satélite de 30 em 30 segundos. Além do acompanhamento dos trajetos percorridos, o sistema permite a delimitação de áreas de trabalho, podendo inclusive o operador acionar o travamento do veículo caso o mesmo saia de sua rota pré-estabelecida.

A figura 5 apresenta um exemplo do percurso traçado por um determinado caminhão em um dado período de tempo. O veículo possui um temporizador instalado que emite sinais para o satélite passando a localização exata do caminhão em tempo real. Através das informações observadas no mapa é possível verificar o percentual atual de conclusão do roteiro de coleta e consultar todas as ruas atendidas pelo caminhão designado para um determinado roteiro.



Figura 5: Traçado percorrido por caminhão de coleta.

Com a visualização dos pontos plotados na figura 5, é possível inclusive descobrir, o tempo aproximado que um veículo ficou parado em um determinado lugar.

Além do levantamento e acompanhamento dos dados pelo sistema via satélite, foi implantando o boletim diário de operações. Esse documento preenchido diariamente nos turnos diurno e noturno por todos os veículos que saem da unidade de estacionamento dos veículos apresenta os pontos de interesse dos roteiros de coleta, dentre os quais podemos destacar: Horário de saída do veículo da garagem, horário de início da coleta na 1<sup>o</sup> viagem, horário do fim da coleta na 1<sup>a</sup> viagem, chegada ao aterro sanitário na 1<sup>a</sup> viagem, início da coleta na 2<sup>o</sup> viagem, fim da coleta na 2<sup>o</sup> viagem, chegada ao aterro na 2<sup>o</sup> viagem, chegada ao aterro sanitário na 2<sup>o</sup> viagem e a chegada a garagem de guarda, lavagem e manutenção dos veículos.

A quantidade de pontos de interesse varia de acordo com a quantidade de viagens dadas em um determinado roteiro. Geralmente nos roteiros executados na segunda e terça feira, por se tratarem de dias com maior quantidade de resíduos a serem coletados (devido a ausência da coleta no dia de domingo) costumam ocorrer 3 viagens por turno de trabalho, sendo que no restante da semana os roteiros tendem a ter no máximo 2 viagens por turno de trabalho.

Apesar do objetivo principal do trabalho ser analisar a racionalização dos serviços de coleta com base na otimização dos roteiros percorridos, a empresa também está aferindo algumas grandezas significativas para o serviço de coleta, tais como:

- hora produtiva (h): essa grandeza expressa a quantidade de horas que o veículo gastou efetivamente realizando os serviços de coleta, excluindo-se tempos de deslocamento;
- quilometragem produtiva (km): expressa a distância percorrida efetivamente no serviço de coleta, excluindo-se distâncias de deslocamento;
- velocidade produtiva (km/h): expressa a relação entre a quilometragem produtiva e a hora produtiva;
- hora improdutivo (h); expressa o somatório de horas gastas com o deslocamento do veículo entre a garagem e o início da coleta, entre o fim da coleta e o local de destino e o retorno à garagem ao final dos serviços;
- quilômetro improdutivo (km): expressa o somatório de quilômetros percorridos com o deslocamento do veículo entre a garagem e o início da coleta, entre o fim da coleta e o local de destino final e o retorno à garagem ao final dos serviços;
- velocidade improdutivo (km/h): expressa a relação entre a quilometragem improdutivo e a hora improdutivo;

Os roteiros foram previamente acompanhados por um período de 4 meses (Agosto de 2011 a Dezembro de 2011).

A figura 6 apresenta um exemplo do formulário do Boletim diário de operações.

PLACA:	LVD 3615	<b>DATA</b>	
MOTORISTA:	André 101	<b>13/3/2012</b>	
ROTA:	111		
TURNO:	Dia		
HORARIO SAIDA (1)	07:00	HORARIO CHEGADA (2)	16:10
KM SAÍDA (3)	298097	KM CHEGADA (A)	298234
Nº VIAGENS (A)	2		
<b>COLETA</b>			
1ª VIAGEM			Km PAINEL CAMINHÃO

HORA SAIDA DA GARAGEM (8)	07:00	KM SAIDA GARAGEM (14)	298097
HORA INICIO 1ª VIAGEM (9)	07:25	KM INICIO 1ª VIAGEM (15)	298111
HORA FIM 1ª VIAGEM (10)	10:25	KM FIM 1ª VIAGEM (16)	298125
HORA ENTRADA ATERRO (11)	10:45	KM ENTRADA ATERRO (17)	298143
HORA SAIDA ATERRO(12)	10:55	KM SAIDA ATERRO(18)	298145
PESO LIQUIDO (13)	6.610		
<b>2ª VIAGEM</b>			<b>Km PAINEL CAMINHÃO</b>
HORA INICIO 2ª VIAGEM (9)	11:20	KM INICIO 2ª VIAGEM (15)	298164
HORA FIM 2ª VIAGEM (10)	14:35	KM FIM 2ª VIAGEM (16)	298180
HORA ENTRADA ATERRO (11)	14:55	KM ENTRADA ATERRO (17)	298197
HORA SAIDA ATERRO(12)	15:10	KM SAIDA ATERRO(18)	298199
PESO LIQUIDO (13)	5.570		
<b>3ª VIAGEM</b>			<b>Km PAINEL CAMINHÃO</b>
HORA INICIO 3ª VIAGEM (9)		KM INICIO 3ª VIAGEM (15)	
HORA FIM 3ª VIAGEM (10)		KM FIM 3ª VIAGEM (16)	
HORA ENTRADA ATERRO (11)		KM ENTRADA ATERRO (17)	
HORA SAIDA ATERRO(12)		KM SAIDA ATERRO(18)	
PESO LIQUIDO (13)			

Figura 6: Formulário de Boletim diário de operações

### 3.5. Escolha dos roteiros de coleta a serem avaliados

Em função da grande quantidade de roteiros de coleta existentes no município de Macaé (40 roteiros de coleta) houve uma dificuldade natural da escolha dos roteiros a serem estudados.

Diante desta dificuldade optou-se pela escolha de roteiros com pouca complexidade de percurso e que possuísse importância fundamental no sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos do município. Com base nesse critério de escolha foram escolhidos 2 (dois) roteiros, o roteiro do bairro do Lagomar e o roteiro que engloba a região central do município.

O bairro do Lagomar possui a maior população do município (IBGE, 2010) e conseqüentemente grande relevância na opinião pública local. As vias de acesso ao bairro são planejadas e facilitam o acesso dos caminhões às áreas de coleta. A figura 7 apresenta o mapa de ruas do bairro do Lagomar.





Figura 8: Mapa viário da região central.

A escolha das áreas de coleta de forma adequada é importante para o sucesso do trabalho, já que é fundamental que os resultados sejam obtidos em roteiros de coleta significativos e com características semelhantes à maioria dos roteiros de coleta de cidades de porte médio do país.

O trabalho não pode ser desenvolvido de forma adequada na região central do município em virtude de diversos problemas, dentre os quais podemos destacar:

- Dificuldade de implantação dos novos roteiros obtidos através do Transcad;
- Resistência do poder público municipal em alterar um serviço essencial em período próximo a eleições municipais;
- Deficiência na mão de obra operacional local para anotação e repasse dos dados para desenvolvimento da pesquisa;
- Forte interferência política na área central do município, pois é comum o caminhão ter que atender pedidos fora da área designada para o roteiro. Essa prática atrasa o cumprimento dos itinerários e impede o desenvolvimento de melhores práticas;

### 3.6. Aquisição dos mapas em SIG (Sistema de informações geográficas)

A aquisição de mapas em formato SIG pode ser um fator restritivo à execução deste tipo de trabalho em diversos municípios brasileiros. Haja vista a inexistência de uma base de dados nacional que reúna estes mapas e disponibilize livre acesso aos mesmos. Em virtude destas dificuldades, foi necessário um grande esforço a fim de se obter o mapa do município de Macaé em formato SIG. O baixo número de fornecedores de mapas em SIG e o alto custo de aquisição dos mapas, contribui negativamente para a realização de projetos deste gênero.

A falta de atualização rotineira dos mapas também é um fator complicador, pois determinadas atividades que envolvam logística e transporte de carga necessitam de mapas atualizados principalmente no que se diz respeito à mão de direção das vias de tráfego. As constantes modificações da cidade, principalmente em cidades em franco processo de expansão como é o caso de Macaé, quando não refletidas nos mapas, pode também ocasionar diversos problemas operacionais quando não conferidas em campo.

A qualidade do mapa SIG está diretamente relacionada à quantidade de informações que o mesmo possui. Por exemplo: um mapa para o estudo de coleta de resíduos sólidos urbanos deve possuir a mão de direção das vias, a população existente em cada logradouro, as velocidades máximas e mínimas de tráfego, tipo de piso, existência de declives, existência de aclives, dentre outras informações que podem agregar valor ao estudo a ser realizado. O mapa SIG utilizado neste trabalho pode ser visualizado na figura 9, vale ressaltar que o mapa utilizado não possuía informações a respeito de estimativas de produção de resíduos por logradouros.



valores de pesagem obtidos na Central de Tratamento de Resíduos do município de Macaé, as figuras 10 e 11 apresentam o sistema de pesagem embarcado instalado.



Figura 10: Visor da balança de pesagem



Figura 11: Sistema instalado.

Para funcionamento adequado do sistema de pesagem embarcado, as vias e logradouros do município devem ser de ótima qualidade, sem desníveis e buracos. A ausência destas condições no município de Macaé faz com que os sensores instalados no eixo dos caminhões não funcionem de forma adequada. O funcionamento adequado do sistema de pesagem embarcado possibilitaria o conhecimento individual da quantidade média de resíduos coletados em cada logradouro, auxiliando no redimensionamento dos roteiros e consequentemente otimizando os serviços executados.

Desta forma, a empresa terceirizada responsável pelos serviços de coleta do município, disponibilizou os dados das pesagens de todos os caminhões envolvidos no sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos do município. A avaliação

temporal (com identificação dos dias de coleta) das pesagens possibilitou o conhecimento específico de cada roteiro, especialmente suas particularidades.

### 3.8. Transcad

TransCAD é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), desenvolvido especificamente para uso por profissionais de transporte para armazenar, exibir, gerenciar e analisar dados de transporte de resíduos sólidos urbanos. O TransCAD combina capacidades de modelagem e transporte em uma única plataforma integrada, oferecendo recursos que são inigualáveis por qualquer outro pacote.

Desenvolvido pela *Caliper Corporation*, o TransCAD trabalha com métodos que se baseiam na heurística desenvolvidos por CLARKE e WRIGHT (1964), para roteirização de nós, caso do estudo em questão, e na heurística do Problema do Carteiro Chinês Misto, sugerida por EDMONDS e JOHNSON (1973) e melhorada por FREDERICKSON (1979) em roteirização de arcos (MELO, 2000).

O método de CLARKE e WRIGHT (1964) é muito utilizado na resolução de problemas isolados, como também é usado por muitos *softwares*. Esse método tem como objetivo gerar roteiros que respeitem as restrições de tempo e de capacidade, mas visando, ao mesmo tempo, minimizar a distância total percorrida pela frota (NOVAES, 2007).

O TransCAD pode ser usado para todos os meios de transporte, em qualquer dimensão ou nível de detalhe. As principais ferramentas apresentadas pelo software são:

- Um motor poderoso SIG com extensões especiais para o transporte;
- Mapeamento, visualização e análise de ferramentas projetadas para aplicações de transporte;
- Módulos de aplicação para o encaminhamento, à previsão da procura de viagens, transporte público, de logística, localização de sites e gestão do território;

O TransCAD tem aplicações para todos os tipos de dados de transporte e para todos os modos de transporte, e é ideal para a construção de informações de

transporte e sistemas de apoio à decisão. Nesse trabalho a entrada de dados no Transcad obedeceu a seguinte sequência lógica:

- **Preparação da entrada de dados:** foram criados arquivos geográficos, com base nos mapas adquiridos, que mostrem as localizações de cada rua pertencente ao roteiro, os pontos de parada, determinação do local de destino final, junto com a informação sobre a demanda e outras características de cada um dos roteiros;
- **Criação da matriz de roteirização:** foi criado um arquivo matriz (*matrix file*) com os dados que contem a distância e o tempo de viagem entre cada roteiro. Estes fatores são importantes limitadores já que a adequação à jornada de trabalho de 44 horas semanais é ponto fundamental na realização dos serviços;
- **Resolução do problema de roteirização de veículos:** nesta etapa o programa processou as informações imputadas e chegou a um determinado resultado de saída;
- **Apresentação dos resultados:** exposição de relatórios de itinerários e relatórios resumidos e exposição de rotas de veículos com a qual pode-se criar um sistema de rotas onde é possível visualizar os resultados no mapa.

Os resultados são apresentados em duas formas distintas:

- Na forma gráfica com a apresentação dos mapas indicando todo o itinerário de coleta proposto pelo programa;
- Na forma de arquivo de texto, apresentando além da sequência de ruas proposta pelo itinerário definido pelo programa, a identificação de qual lado das ruas será executada a coleta em um determinado espaço de tempo. Vale ressaltar que em ruas de grande movimentação de veículos aumenta-se o risco de acidentes de trânsito quando os garis pertencentes à guarnição atravessam as ruas repetitivamente.

Além dos resultados fornecidos pelo Transcad, o controle operacional dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos também pode sofrer melhorias significativas com a implantação do conjunto (GPS + Transcad).

### **3.8.1. Dados de entrada do TransCAD**

Para a realização dos estudos elaborados pelo Transcad, após a aquisição dos mapas em SIG, é necessário que um conjunto de parâmetros sejam fornecidos ao programa. Os principais parâmetros a serem fornecidos estão relacionados a seguir:

- *Mão de direção das vias*: Possibilita apontar ao programa quais são os deslocamentos permitidos em cada logradouro aos caminhões de coleta;

- *Velocidade permitida*: O tempo limite de coleta (carga horária diária de trabalho) está diretamente relacionado ao limite de velocidade estabelecido em cada logradouro. Nos deslocamentos entre o fim do roteiro e o local de destino final de resíduos, este parâmetro surge como fundamental.

- *Área de abrangência do roteiro*: É informado ao programa a área limite de atuação de um determinado roteiro de coleta. O programa também pode determinar a área de coleta de forma automática, caso seja fornecido dados de produção de resíduos em cada logradouro.

- *Produção de resíduos por logradouro*: Caso o mapa SIG possua a contagem individual de habitantes por logradouro, através de dados de produção per capita de resíduos, o transcad pode delimitar cada roteiro de coleta em função da quantidade de resíduos coletados.

- *Capacidade limite de carga*: Além da quantidade de resíduos passíveis de serem transportados pela caixa compactadora, a lei da balança (lei Federal) determina o limite legal de carga transportada. A quantidade de resíduos transportada por cada caminhão está limitada ao PBT (peso bruto total) homologado pelo fabricante e pela Lei da balança (CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito). O caminhão utilizado neste trabalho é o Ford, modelo Cargo 1722e, que possui PBT homologado de 16.000kg e capacidade de carga útil mais carroceria de 10.570 kg. A figura 12

apresenta os caminhões compactadores de coleta de resíduos sólidos urbanos utilizado neste trabalho.



Figura 12: Frota de coleta de resíduos sólidos urbanos.

- *Carga horária máxima de trabalho:* A jornada de trabalho diária de 7,33h é informada ao programa com o objetivo de evitar horas extras de trabalho.
- *Periculosidade de trânsito:* Permite estabelecer manobras, retornos, trajetos, dentre outras ações que não devem ser realizadas pelos caminhões durante o percurso de coleta.
- *Condição de trafegabilidade de vias:* Informação detalhada das condições das vias e logradouros. Algumas ruas estreitas do município ou muito esburacadas não poderão ser trafegadas pelos caminhões de coleta.
- *Consumo médio de combustível:* O consumo médio de combustível, possibilita ao programa o cálculo do trajeto máximo a ser percorrido sem prévio abastecimento.

Alguns mapas em SIG possuem grande parte das informações exigidas pelo transcad para confecção de um modelo de coleta adequado. Caso o mapa SIG não possua as informações necessárias, o programa solicita que seja informado de forma manual os dados de entrada já citados anteriormente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento dos roteiros de coleta iniciou-se em Agosto de 2011 e ainda vem sendo executado pela empresa responsável pelos serviços de coleta do município de Macaé. Foram analisados os dois roteiros de coleta previamente escolhidos, com o objetivo de comparar parâmetros obtidos com os roteiros planejados por métodos empíricos com os roteiros planejados pelo uso do Transcad. Foram avaliados parâmetros de tempo e de quilometragem percorrida. O roteiro localizado na área central do município não pode ser avaliado de forma completa, devido a escassez de dados coletados no roteiro. Desta forma o estudo completo só foi realizado no bairro do Lagomar.

Neste capítulo, os resultados obtidos pela modelagem computacional são apresentados.

### 4.1. Discussão de parâmetros

Diversos parâmetros foram avaliados quando comparados os roteiros de coleta projetados por métodos empíricos e os roteiros de coleta projetados por uso de modelagem computacional. A seguir uma breve descrição dos parâmetros analisados:

- *Tempo de percurso para a rota*: Tempo gasto entre a saída da base dos caminhões e o início efetivo dos serviços de coleta. Também é somado o tempo gasto entre a saída do aterro e o início efetiva do serviço de coleta (2º ou 3º viagem);
- *Quilometragem de percurso para a rota até o início da coleta*: Espaço percorrido entre a saída da base dos caminhões e o início efetivo dos serviços de coleta. Também é somado o espaço percorrido entre a saída do aterro e o início efetivo do serviço de coleta (2º ou 3º viagem);
- *Tempo de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário*: Tempo gasto entre o fim dos serviços de coleta e a chegada ao aterro sanitário.

- *Quilometragem de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário:* Quilometragem percorrida entre o final da viagem de coleta de resíduos sólidos urbanos e o aterro sanitário.
- *Tempo de coleta:* Tempo gasto entre o início efetivo dos serviços de coleta e o ponto no qual os serviços de coleta são interrompidos e o caminhão segue em direção ao destino final (aterro sanitário);
- *Quilometragem de coleta:* Espaço percorrido entre o início efetivo dos serviços de coleta e o ponto no qual os serviços de coleta são interrompidos e o caminhão segue em direção ao aterro sanitário;
- *Quantidade de resíduos coletados:* É o valor do peso líquido transportado por cada caminhão coletor compactador;
- *Produtividade horária média:* É a razão entre a quantidade de resíduos transportados ao longo de determinado período de tempo.
- *Tempo de permanência no aterro sanitário:* Tempo necessário para a entrada do caminhão no aterro sanitário, a realização da pesagem de entrada, o vazamento da carga e a realização da pesagem de saída;
- *Tempo de volta para a base:* Tempo necessário de deslocamento entre o aterro sanitário e base de garagem dos caminhões.
- *Quilometragem de volta para a base:* Espaço percorrido entre o aterro sanitário e base de garagem dos caminhões.

#### **4.1.1. Tempo de percurso para a rota**

A tabela 1 apresenta os valores obtidos para as rota dimensionada por método empírico e para a rota modelada no software Transcad, para o tempo de percurso entre o local de guarda e manutenção dos caminhões e o local de início da coleta no bairro do Lagomar.

Tabela 1: Tempo de percurso para a rota.

<b>TEMPO DE PERCURSO (h:min)</b>					
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>			<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>		
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	00:35	00:40	00:20	01:00	Ter
Sáb	00:20	00:20	00:45	00:40	Qui
Qui	00:30	00:20	00:45	00:40	Sáb
Sáb	00:30	00:25	00:30	00:50	Ter
Qui	00:25	00:20	00:25	00:25	Sáb
Sáb	00:30	00:25	00:35	01:01	Ter
Ter	00:15	00:55	00:35	00:35	Qui
Ter	00:10	00:55	00:30	00:20	Sáb
Qui	00:10	00:25	00:45	00:45	Ter
Sáb	00:15	00:25	00:30	00:40	Qui
Ter	00:35	00:20	00:35	00:20	Sáb
Qui	00:15	01:00	00:30	00:25	Qui
Ter	00:15	00:25	00:30	00:53	Ter
Qui	00:10	00:25	00:25	01:16	Qui
Ter	00:05	00:25	00:25	00:20	Sáb
Qui	00:05	00:35	00:30	00:29	Qui
Sáb	00:05	00:30	00:25	00:20	Sáb
Ter	00:10	00:30	00:25	00:30	Qui
Qui	00:10	00:35	00:40	00:51	Sáb
Sáb	00:10	00:30	00:25	00:25	Ter
Ter	00:10	00:25	00:25	00:20	Qui
Qui	00:10	00:25	00:35	00:20	Ter
Sáb	00:10	00:35	00:30	00:27	Qui
Qui	00:10	00:20	00:35	00:20	Sáb
Sáb	00:20	00:20	00:25	00:25	Ter
Ter	00:15	00:20	00:40	00:20	Qui
Sáb	00:26	00:26	00:30	00:29	Sáb
Qui	00:10	00:50	00:30	00:25	Qui
Sáb	00:05	00:20	00:30	00:25	Sáb
Ter	00:15	00:35	00:30	00:26	Ter
Qui	00:28	00:35	00:30	00:26	Qui
Ter	00:35	01:00	00:35	00:55	Sáb
Qui	00:20	01:00	00:25	00:27	Ter
Ter	00:30	00:50	00:20	00:33	Ter
Qui	00:25	00:50	00:20	00:20	Qui
Ter	00:25	00:35	00:20	00:25	Sáb
Qui	00:25	00:25	00:20	00:25	Sáb
			00:25	00:20	Sáb

			00:15	00:17	Ter
				00:35	Qui
			00:30	00:25	Sáb
			00:30	00:25	Ter
<b>MÉDIA</b>	<b>00:17</b>	<b>00:32</b>	<b>00:29</b>	<b>00:31</b>	

O tempo médio de percurso para o início da primeira viagem da rota aumentou em 12 (doze) minutos quando comparado o método empírico com o método de modelagem executado pelo TRANSCAD. A determinação de um local fixo de início dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos evitou que o caminhão coletasse resíduos de forma aleatória ao longo do trajeto e reduziu o problema da passagem de diversos caminhões por um mesmo logradouro repetidas vezes ao dia. A ausência de um programa de gestão eficiente aliada a baixa qualificação da fiscalização local, contribuiu para a perda da qualidade dos serviços prestados no município. Com a implantação do sistema de monitoramento via GPS, o controle operacional da empresa passou a identificar o ponto exato de início dos serviços de coleta, contribuindo para a melhoria e organização dos serviços.

A implantação de um roteiro de coleta pré-determinado envolve treinamento e tempo de assimilação dos trajetos por parte dos motoristas da empresa. Esse tempo de adaptação gerou algumas incertezas no sistema que foram neutralizadas com o passar do tempo e intensificação dos treinamentos. Outro problema a ser destacado no município de Macaé são as más condições de trafegabilidade, constantes engarrafamentos e alto índice de acidentes registrados diariamente. Esses fatores dificultaram o rápido deslocamento da frota e prejudicaram a uniformidade dos tempos.

A falta de mão de obra qualificada também dificulta o entendimento das orientações passadas aos motoristas dos caminhões e reafirma a necessidade de um programa de treinamento de pessoal voltado para a qualificação técnica dos profissionais envolvidos nos serviços.

O aumento do tempo médio de deslocamento para início dos serviços não pode ser considerada uma variável crítica na avaliação da eficiência do sistema, haja vista que no deslocamento do caminhão para início da primeira viagem, o veículo desloca-se grande parte do tempo em marcha alta, com velocidades maiores, consumindo menos combustível que em marcha lenta e conseqüentemente

reduzindo a quantidade de gases emitidos provenientes da queima do combustível fóssil. O desgaste dos pneus na 1ª viagem também é reduzido, pois o caminhão desloca-se praticamente sem carga e no caso de veículos com 3 (três) eixos, o 3º (terceiro) eixo encontra-se recolhido. A 1ª viagem com o caminhão vazio provoca o desgaste menor das peças do motor e tem pouca representatividade na matriz de custo dos serviços de coleta.

Na 2ª viagem, que mede o tempo necessário para o deslocamento do veículo entre o aterro sanitário e a continuação dos serviços de coleta, houve apenas a diferença média de 1 minuto entre o tempo obtido no sistema empírico e o tempo obtido no sistema de modelagem computacional. O reinício dos serviços não foi fortemente afetado, uma vez que a região contida no roteiro estudado possui uma distância fixa em relação ao aterro sanitário independentemente do tipo de execução dos roteiros. A distância fixa provém do fato dos bairros contemplados pelos roteiros possuírem várias saídas para os caminhões, com distâncias entre elas bem curtas.

#### **4.1.2. Quilometragem percorrida para a rota até o início da coleta**

A tabela 2 apresenta os valores obtidos para a rota dimensionada por método empírico e para a rota modelada no software Transcad, no bairro do Lagomar.

Tabela 2: Quilometragem percorrida para a rota até o início da coleta

<b>QUILOMETRAGEM PERCORRIDA (KM)</b>					
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>			<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>		
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
qui	13,00	19,00	15,00	29,00	ter
sáb	13,00	17,00	15,00	23,00	qui
qui	13,00	17,00	15,00	23,00	sáb
sáb	13,00	19,00	15,00	18,00	ter
qui	13,00	20,00	14,00	18,00	sáb
sáb	13,00	18,00	14,00	30,00	ter
ter	3,00	19,00	13,00	29,00	Qui
ter	4,00	19,00	14,00	18,00	Sáb
qui	3,00	19,00	13,00	20,00	Ter
sáb	3,00	18,00	13,00	30,00	Qui
ter	14,00	20,00	14,00	18,00	Sáb
qui	4,00	20,00	14,00	20,00	Qui

ter	5,00	18,00	14,00	18,00	Ter
qui	5,00	18,00	9,00	14,00	Qui
ter	5,00	19,00	13,00	19,00	Sáb
qui	4,00	19,00	13,00	22,00	Qui
sáb	5,00	21,00	14,00	20,00	Sáb
ter	5,00	20,00	14,00	19,00	Qui
qui	5,00	20,00	37,00	7,00	Sáb
sáb	5,00	19,00	13,00	21,00	Ter
ter	4,00	20,00	10,00	14,00	Qui
qui	4,00	20,00	14,00	17,00	Ter
sáb	4,00	19,00	5,00	18,00	Qui
qui	4,00	18,00	13,00	19,00	Sáb
sáb	3,00	18,00	14,00	19,00	Ter
ter	3,00	19,00	16,00	18,00	Qui
sáb	3,00	17,00	14,00	13,00	Sáb
qui	3,00	18,00	13,00	19,00	Qui
sáb	3,00	19,00	13,00	19,00	sáb
ter	3,00	20,00	13,00	21,00	Ter
qui	4,00	19,00	5,00	23,00	Qui
ter	14,00	29,00	5,00	22,00	Sáb
qui	13,00	29,00	5,00	21,00	Ter
ter	9,00	0,00	7,00	16,00	Ter
qui	14,00	0,00	13,00	18,00	Qui
ter	14,00	23,00	13,00	18,00	Sáb
qui	14,00	21,00	13,00	18,00	Sáb
			9,00	14,00	Sáb
			4,00	13,00	Ter
			13,00	21,00	Qui
			13,00	19,00	Sáb
			13,00	19,00	Ter
<b>MÉDIA</b>	<b>7,14</b>	<b>18,59</b>	<b>12,71</b>	<b>19,40</b>	

A variável deslocamento seguiu o mesmo comportamento da variável tempo de percurso para a rota. Houve em média um aumento de 5,57 km de espaço percorrido na 1<sup>o</sup> (primeira) viagem e na 2<sup>o</sup> (segunda) viagem o aumento foi de 0,81 km. Com a determinação de um ponto fixo para início dos serviços de coleta, o caminhão passou a percorrer um trajeto maior, até o bairro do Lagomar, para iniciar os serviços pré determinados. A prática de coletar resíduos de forma aleatória até chegar o ponto de início dos serviços deixou de ser executada, aumentando a quilometragem percorrida para início dos serviços e melhorando o planejamento proposto.

Com base nos resultados pode se inferir o aumento do consumo de combustível e o aumento do consumo dos pneus, ambos em virtude da maior quilometragem percorrida pelos caminhões. A maior quilometragem percorrida pelos caminhões pode ser explicada pela ausência de uma avaliação global de todos os roteiros do município. Caso os roteiros de coleta de resíduos sólidos urbanos do município fossem totalmente redimensionados possivelmente haveria uma redução da quilometragem de coleta dos roteiros.

A situação ideal seria confeccionar novos roteiros de coleta aglutinando os bairros em critérios amplamente discutidos neste trabalho e partir para a implantação individual do roteiro obtido pelo Transcad bairro a bairro.

Neste trabalho optou-se em utilizar como base para dimensionamento do trajeto ótimo a ser percorrido a divisão de roteiro pré-existente do município.

#### **4.1.3. Tempo de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário**

A tabela 3 apresenta os valores obtidos para as rota dimensionada por método empírico e para a rota modelada no software Transcad, para o tempo de percurso entre o fim do roteiro de coleta e o aterro sanitário.

Tabela 3: Tempo de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário.

<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>				<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>			
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	00:20	00:20	00:40	00:25	00:30	00:55	Ter
Sáb	00:20	00:25	00:45	00:25	00:25	00:50	Qui
Qui	00:25	00:20	00:45	00:25	00:25	00:50	Sáb
Sáb	00:20	00:20	00:40	00:20	00:32	00:52	Ter
Qui	00:20	00:20	00:40	00:20	01:15	01:35	Sáb
Sáb	00:15	00:20	00:35	00:20	00:19	00:39	Ter
Ter	00:20	00:20	00:40	00:20	00:25	00:45	Qui
Ter	00:20	00:25	00:45	00:15	00:20	00:35	Sáb
Qui	00:15	00:30	00:45	00:20	00:20	00:40	Ter
Sáb	00:20	00:20	00:40	01:20	00:20	01:40	Qui
Ter	00:20	00:20	00:40	00:15	00:15	00:30	Sáb
Qui	00:20	00:20	00:40	00:15	00:20	00:35	Qui
Ter	00:30	00:30	01:00	00:21	00:24	00:45	Ter
Qui	00:25	00:25	00:50	00:20	00:21	00:41	Qui

Ter	00:25	00:25	00:50	00:15	00:25	00:40	Sáb
Qui	00:35	00:40	01:15	00:20	00:20	00:40	Qui
Sáb	00:20	00:30	00:50	00:20	00:20	00:40	Sáb
Ter	00:30	00:30	01:00	00:15	00:15	00:30	Qui
Qui	00:35	00:36	01:11	00:22	00:02	00:24	Sáb
Sáb	00:35	00:25	01:00	00:15	00:20	00:35	Ter
Ter	00:55	00:30	01:25	00:20	00:25	00:45	Qui
Qui	00:55	00:30	01:25	00:20	00:30	00:50	Ter
Sáb	00:35	00:30	01:05	00:16	00:18	00:34	Qui
Qui	00:25	00:45	01:10	00:20	00:20	00:40	Sáb
Sáb	00:25	00:25	00:50	00:20	00:20	00:40	Ter
Ter	00:20	00:20	00:40	00:20	00:25	00:45	Qui
Sáb	00:20	00:20	00:40	00:20	00:21	00:41	Sáb
Qui	00:20	00:20	00:40	00:25	00:20	00:45	Qui
Sáb	00:20	00:20	00:40	00:15	00:20	00:35	Sáb
Ter	00:20	00:20	00:40	00:27	00:23	00:50	Ter
Qui	00:20	00:25	00:45	00:23	00:18	00:41	Qui
Ter	00:30	00:20	00:50	00:23	00:18	00:41	Sáb
Qui	00:20	00:20	00:40	00:19	00:17	00:36	Ter
Ter	00:20	00:25	00:45	00:25	00:22	00:47	Ter
Qui	00:25	00:20	00:45	00:20	00:20	00:40	Qui
Ter	00:20	00:20	00:40	00:25	01:25	01:50	Sáb
Qui	00:20	00:25	00:45	00:25	01:25	01:50	Sáb
				00:15	00:25	00:40	Sáb
				00:23	00:25	00:48	Ter
				00:20	00:25	00:45	Qui
				00:25	00:20	00:45	Sáb
				00:15	00:34	00:49	Ter
	00:24	00:24	<b>00:48</b>	00:21	00:25	<b>00:46</b>	

A variável tempo de percurso entre o final do roteiro de coleta e o aterro sanitário apresentou diferença média de apenas 2 (dois) minutos quando comparado o modelo empírico com o modelo computacional obtido através do Transcad. Essa variação mínima pode ser explicada pelo fato do bairro do lagomar possuir poucas saídas para a rodovia e as saídas existentes serem próximas umas das outras.

#### **4.1.4. Quilometragem de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário**

A tabela 4 apresenta os valores obtidos para as rota dimensionada por método empírico e para a rota modelada no software Transcad, para a quilometragem de percurso entre o fim do roteiro de coleta e o aterro sanitário.

Tabela 4: Quilometragem de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário.

MÉTODO EMPÍRICO				MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD			
DIA DA SEMANA	1º V	2º V	1º V + 2º V	1º V	2º V	1º V + 2º V	DIA DA SEMANA
Qui	18,00	16,00	34,00	17,00	17,00	34,00	Ter
Sáb	18,00	17,00	35,00	17,00	18,00	35,00	Qui
Qui	18,00	16,00	34,00	17,00	18,00	35,00	Sáb
Sáb	17,00	17,00	34,00	17,00	18,00	35,00	Ter
Qui	18,00	17,00	35,00	17,00	46,00	63,00	Sáb
Sáb	16,00	17,00	33,00	17,00	14,00	31,00	Ter
Ter	18,00	17,00	35,00	18,00	17,00	35,00	Qui
Ter	17,00	17,00	34,00	17,00	17,00	34,00	Sáb
Qui	18,00	17,00	35,00	17,00	17,00	34,00	Ter
Sáb	18,00	17,00	35,00	18,00	17,00	35,00	Qui
Ter	18,00	17,00	35,00	17,00	17,00	34,00	Sáb
Qui	18,00	17,00	35,00	17,00	17,00	34,00	Qui
Ter	18,00	23,00	41,00	23,00	20,00	43,00	Ter
Qui	20,00	19,00	39,00	15,00	11,00	26,00	Qui
Ter	19,00	20,00	39,00	17,00	18,00	35,00	Sáb
Qui	18,00	22,00	40,00	17,00	17,00	34,00	Qui
Sáb	17,00	23,00	40,00	17,00	17,00	34,00	Sáb
Ter	18,00	20,00	38,00	17,00	18,00	35,00	Qui
Qui	19,00	21,00	40,00	13,00	11,00	24,00	Sáb
Sáb	19,00	19,00	38,00	17,00	18,00	35,00	Ter
Ter	19,00	20,00	39,00	12,00	10,00	22,00	Qui
Qui	19,00	20,00	39,00	18,00	17,00	35,00	Ter
Sáb	21,00	21,00	42,00	37,00	24,00	61,00	Qui
Qui	18,00	17,00	35,00	18,00	17,00	35,00	Sáb
Sáb	18,00	17,00	35,00	18,00	17,00	35,00	Ter
Ter	12,00	17,00	29,00	17,00	17,00	34,00	Qui
Sáb	17,00	17,00	34,00	13,00	17,00	30,00	Sáb
Qui	18,00	18,00	36,00	18,00	17,00	35,00	Qui
Sáb	18,00	17,00	35,00	18,00	17,00	35,00	Sáb
Ter	18,00	17,00	35,00	18,00	24,00	42,00	Ter
Qui	19,00	18,00	37,00	32,00	22,00	54,00	Qui
Ter	20,00	17,00	37,00	32,00	27,00	59,00	Sáb
Qui	17,00	17,00	34,00	35,00	18,00	53,00	Ter
Ter	0,00	17,00	17,00	13,00	12,00	25,00	Ter
Qui	0,00	17,00	17,00	18,00	17,00	35,00	Qui
Ter	17,00	17,00	34,00	17,00	31,00	48,00	Sáb
Qui	17,00	20,00	37,00	17,00	31,00	48,00	Sáb
				14,00	13,00	27,00	Sáb

				23,00	17,00	40,00	Ter
				17,00	16,00	33,00	Qui
				13,00	12,00	25,00	Sáb
				14,00	13,00	27,00	Ter
	16,97	18,19	<b>35,16</b>	18,43	18,31	<b>36,74</b>	

O comportamento apresentado pela variável quilometragem de percurso entre o fim do roteiro e o aterro sanitário seguiu a mesma tendência da variável tempo deste parâmetro. A equidistância de pontos de acesso a rodovia caminho no trajeto para o aterro sanitário possibilitou uma variação média de apenas 1,58 km quando comparados os valores obtidos pelo método empírico e pelo método de modelagem Transcad.

#### **4.1.5. Tempo de coleta**

A tabela 5 apresenta os valores obtidos para as rota dimensionada pelo método empírico e para a rota modelada no software Transcad.

Tabela 5: Tempo de coleta

<b>TEMPO (h:min)</b>							
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>				<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>			
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	03:35	02:45	06:20	04:00	04:10	08:10	ter
Sáb	02:50	02:55	05:45	05:05	03:45	08:50	qui
Qui	02:50	02:15	05:05	05:05	03:45	08:50	sáb
Sáb	03:15	02:00	05:15	04:25	03:15	07:40	ter
Qui	02:40	02:55	05:35	04:40	02:45	07:25	sáb
Sáb	02:40	03:25	06:05	03:50	03:40	07:30	ter
Ter	04:15	01:35	05:50	04:00	04:05	08:05	qui
Ter	03:45	03:00	06:45	03:50	03:10	07:00	sáb
Qui	03:05	02:30	05:35	03:15	03:00	06:15	ter
Sáb	02:45	02:50	05:35	03:55	02:55	06:50	qui
Ter	03:20	03:40	07:00	03:50	01:55	05:45	sáb
Qui	03:55	02:05	06:00	03:45	02:45	06:30	qui
Ter	04:35	01:30	06:05	03:35	03:00	06:35	ter
Qui	03:20	03:00	06:20	04:10	03:40	07:50	qui
Ter	03:45	03:20	07:05	03:15	03:00	06:15	sáb
Qui	03:35	03:15	06:50	04:50	02:05	06:55	qui

Sáb	03:50	03:20	07:10	03:25	03:25	06:50	sáb
Ter	05:00	01:50	06:50	03:15	03:25	06:40	qui
Qui	05:05	01:35	06:40	03:05	03:50	06:55	sáb
Sáb	03:10	02:35	05:45	03:10	03:20	06:30	ter
Ter	04:20	03:05	07:25	03:30	02:00	05:30	qui
Qui	04:20	03:05	07:25	02:50	03:20	06:10	ter
Sáb	03:35	03:20	06:55	04:30	01:40	06:10	qui
Qui	03:15	03:10	06:25	03:20	03:55	07:15	sáb
Sáb	03:10	04:00	07:10	03:00	03:15	06:15	ter
Ter	03:20	03:00	06:20	03:05	02:45	05:50	qui
Sáb	04:29	02:49	07:18	03:20	03:10	06:30	sáb
Qui	04:00	03:10	07:10	03:20	02:40	06:00	qui
Sáb	03:00	03:40	06:40	03:00	03:50	06:50	sáb
Ter	03:20	03:30	06:50	03:10	03:25	06:35	ter
Qui	03:12	03:15	06:27	02:40	03:20	06:00	qui
Ter	03:35	03:20	06:55	03:35	04:30	08:05	sáb
Qui	03:35	03:00	06:35	04:10	02:35	06:45	ter
Ter	04:10	03:40	07:50	04:00	03:00	07:00	ter
Qui	03:35	02:50	06:25	03:15	02:10	05:25	qui
Ter	02:20	04:20	06:40	03:15	03:40	06:55	sáb
Qui	02:55	02:30	05:25	03:15	03:40	06:55	sáb
				02:05	02:30	04:35	sáb
				03:15	04:40	07:55	ter
				03:50	04:15	08:05	qui
				03:10	03:35	06:45	sáb
				03:20	02:00	05:20	ter
<b>MÉDIA</b>			<b>06:28</b>			<b>06:48</b>	

Nesse parâmetro optou-se por uma análise total da rota ao invés da análise por viagem, essa escolha se deve ao fato do parâmetro tempo de coleta só ter significado técnico quando somando os tempos da 1º (primeira) viagem com os tempos da 2º (segunda) viagem.

Foi observado em média um aumento de 20 minutos no tempo médio de coleta, quando comparado o tempo obtido pela rota desempenhada no modelo empírico contra o tempo obtido pela rota obtida do Transcad.

O aumento do tempo de coleta pode ser justificado pelo maior cuidado da mão de obra responsável pelos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos, à medida que a partir da implantação do sistema de monitoramento online, todas as reclamações da população local, podem ser apuradas diretamente no sistema, indicando inclusive o horário de passagem de cada veículo em cada logradouro do

município. Com base nessas informações a direção da empresa responsável pelos serviços passou a ter um controle maior de reclamações, aumentando consideravelmente a atenção dos funcionários aos erros mais elementares e conseqüentemente **melhorando a qualidade dos serviços prestados**.

Outro fator importante é que quando a direção da empresa informou ao coletor responsável pela operação do sistema hidráulico de compactação de resíduos, que os caminhões estavam sendo devidamente monitorados, os coletores passaram a efetuar o ciclo de compactação da forma mais segura, em intervalos regulares, evitando o transporte de resíduos no "coxo" dos caminhões.

Utilizando Transcad, houve aumento médio do tempo de trabalho da equipe de coleta em 20 (vinte) minutos. O aumento contribui negativamente para a ocorrência de horas extras de trabalho. Essa pratica costuma onerar significativamente o caixa da empresa e contribui para a perda da qualidade do serviço prestado, aumentando até mesmo o risco de acidentes de trabalho pelo efeito do cansaço. Durante o tempo de realização deste trabalho não ocorreu nenhum acidente com os veículos responsáveis pela execução destas rotas de coleta de resíduos sólidos urbanos.

Um aspecto legal que irá influir diretamente no tempo de coleta dos caminhões é a nova Lei Federal nº 12.619 de 30 de Abril de 2012, que dispõe sobre o exercício da profissão de motorista. Dentre outros itens, o que deve apresentar maior impacto sobre a atividade ora estudada é o dispositivo que obriga, que os motoristas de caminhões repousem 30 (trinta) minutos a cada 4 (quatro) horas de trabalho. Se considerarmos uma jornada de trabalho média de 8 (oito) horas, o tempo total de descanso será de 60 (sessenta) minutos, acarretando aumento das horas extras e da necessidade de obtenção de roteiros mais otimizados. Apesar do período de descanso não ser computado como hora extra, a disponibilidade dos coletores ao longo do descanso dos motoristas ainda deverá ser objeto de discussão da justiça do trabalho e carece de maiores esclarecimentos. A Lei Federal citada encontra-se aprovada e com um veto de vigência de cerca de 6 (seis) meses, o que deve acarretar o seu início efetivo no ano de 2013.

#### **4.1.6. Quilometragem percorrida nos serviços de coleta**

O trajeto e a quilometragem percorrida pelos veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos é a principal variável que o “Transcad” apresenta em seus relatórios. Com base nas informações que dão entrada no programa, o algoritmo de cálculo interno do “Transcad” fornece o trajeto ótimo, percorrendo todos os logradouros pertencentes a um determinado roteiro. Todas as outras informações oferecidas pelo programa surgem em função da variável trajeto percorrido.

A tabela 6 apresenta os valores de quilometragem percorrida ao longo do período abordado neste estudo.

Tabela 6: Quilometragem percorrida na coleta.

<b>QUILOMETRAGEM PERCORRIDA NA COLETA (km)</b>							
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>				<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>			
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	15,00	15,00	30,00	17,00	13,00	30,00	Ter
Sáb	15,00	17,00	32,00	16,00	15,00	31,00	Qui
Qui	18,00	15,00	33,00	16,00	15,00	31,00	Sáb
Sáb	19,00	12,00	31,00	16,00	13,00	29,00	ter
Qui	13,00	14,00	27,00	18,00	11,00	29,00	sáb
Sáb	14,00	18,00	32,00	20,00	16,00	36,00	ter
Ter	28,00	13,00	41,00	18,00	15,00	33,00	qui
Ter	26,00	16,00	42,00	19,00	13,00	32,00	sáb
Qui	23,00	16,00	39,00	20,00	13,00	33,00	ter
Sáb	23,00	18,00	41,00	19,00	13,00	32,00	qui
Ter	14,00	16,00	30,00	23,00	8,00	31,00	sáb
Qui	29,00	12,00	41,00	22,00	11,00	33,00	qui
Ter	27,00	7,00	34,00	12,00	11,00	23,00	ter
Qui	23,00	11,00	34,00	10,00	11,00	21,00	qui
Ter	21,00	13,00	34,00	18,00	13,00	31,00	sáb
Qui	22,00	11,00	33,00	21,00	11,00	32,00	qui
Sáb	20,00	9,00	29,00	16,00	16,00	32,00	sáb
Ter	25,00	8,00	33,00	18,00	14,00	32,00	qui
Qui	29,00	6,00	35,00	12,00	14,00	26,00	sáb
Sáb	22,00	13,00	35,00	21,00	12,00	33,00	ter
Ter	22,00	12,00	34,00	17,00	11,00	28,00	qui
Qui	22,00	12,00	34,00	15,00	18,00	33,00	ter
Sáb	19,00	13,00	32,00	9,00	6,00	15,00	qui
Qui	21,00	17,00	38,00	15,00	16,00	31,00	sáb
Sáb	23,00	20,00	43,00	14,00	16,00	30,00	ter
Ter	19,00	17,00	36,00	16,00	15,00	31,00	qui

Sáb	23,00	14,00	37,00	27,00	16,00	43,00	sáb
Qui	23,00	17,00	40,00	17,00	14,00	31,00	qui
Sáb	24,00	15,00	39,00	14,00	16,00	30,00	sáb
Ter	23,00	15,00	38,00	14,00	10,00	24,00	ter
Qui	22,00	16,00	38,00	8,00	12,00	20,00	qui
Ter	15,00	12,00	27,00	9,00	7,00	16,00	sáb
Qui	20,00	12,00	32,00	10,00	12,00	22,00	ter
Ter	6,00	1,00	7,00	13,00	11,00	24,00	ter
Qui	5,00	1,00	6,00	15,00	17,00	32,00	qui
Ter	8,00	10,00	18,00	15,00	22,00	37,00	sáb
Qui	17,00	12,00	29,00	15,00	22,00	37,00	sáb
	-	-	-	10,00	11,00	21,00	sáb
	-	-	-	5,00	12,00	17,00	ter
	-	-	-	14,00	18,00	32,00	qui
	-	-	-	11,00	13,00	24,00	sáb
	-	-	-	10,00	8,00	18,00	ter
<b>MÉDIA</b>	19,95	13,54	<b>34,31</b>	15,36	13,36	<b>28,71</b>	

Quando o roteiro foi executado percorrendo o trajeto definido pelo TRANSCAD observou-se uma redução média de 5,60 km quando comparado ao roteiro percorrido utilizando o método empírico. O resultado do modelo apresentado pelo Transcad otimizou o trajeto percorrido pelo caminhão de coleta, percorrendo todas as ruas contempladas pelo roteiro em um trajeto menor. O algoritmo de operação do programa busca exatamente percorrer todas as vias e logradouros de uma determinada área, fazendo o menor número possível de repasses nas vias. O resultado apresentado neste trabalho reafirma a vocação do programa em especial para os serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos.

No modelo de análise escolhida para o desenvolvimento deste trabalho optou-se pela avaliação trecho a trecho. A quilometragem percorrida no exercício específico da coleta de resíduos sólidos urbanos é o parâmetro mais importante a ser analisado, haja vista ser o parâmetro que ocupa maior parte do tempo e onde os custos de coleta alcançam os valores maiores.

No serviço de coleta o caminhão encontra-se na maior parte do tempo andando em marcha lenta (1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> marchas) e executando o ciclo de compactação dos resíduos. O consumo de combustível na marcha lenta é maior, assim como o desgaste das peças dos motores. Toda a parte hidráulica do veículo também é mais exigida na hora da execução do ciclo de compactação.

O maior tempo de coleta nos serviços desempenhados conforme modelo apresentado pelo Transcad apesar de parecer controverso quando comparado com a diminuição da quilometragem percorrida, pode ser explicado por outros fatores inerentes aos serviços de coleta, são eles: maior controle e fiscalização dos serviços, obrigatoriedade monitorada de passagem do caminhão por todas as ruas do percurso, controle atualizado de reclamações, ou seja, a implantação do roteiro modelado no Transcad em conjunto com outras ferramentas de gestão fez com que mesmo o Transcad apresentando um percurso menor, houvesse um aumento do tempo de coleta.

#### **4.1.7. Quantidade de resíduos coletados**

Todos os veículos coletores de resíduos sólidos urbanos atuantes no município são encaminhados ao aterro sanitário para que sejam pesados e os resíduos destinados corretamente.

A quantidade de resíduos transportada em cada viagem pelo caminhão de coleta é o parâmetro mais importante no estudo da produtividade dos serviços, uma vez que grande parte dos contratos terceirizados de limpeza urbana no Brasil são remunerados em função da quantidade coletada de resíduos. Durante o processo licitatório dos contratos, as concorrentes apresentam propostas de preços unitários (R\$/tonelada) e conseqüentemente a empresa que oferecer o menor custo unitário é a vencedora do certame e fica responsável pelos serviços de coleta de um determinado município.

A tabela 7 apresenta as quantidades de resíduos transportados pelos caminhões de coleta e pesados no aterro sanitário.

Tabela 7: Quantidade de resíduos transportados.

<b>QUANTIDADE DE RESÍDUOS TRANSPORTADOS (kg)</b>					
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>			<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>		
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	6.770	4.450	8.930	9.930	ter
Sáb	6.070	5.030	9.820	5.580	qui
Qui	5.600	2.900	9.820	5.580	sáb
Sáb	5.960	2.900	10.860	6.870	ter

Qui	5.650	4.720	7.450	5.980	sáb
Sáb	5.580	6.390	7.440	7.380	ter
Ter	8.700	3.170	6.060	8.680	qui
Ter	7.770	5.820	6.780	6.140	sáb
Qui	5.720	4.700	6.880	6.630	ter
Sáb	5.470	5.820	7.440	5.150	qui
Ter	7.490	6.880	7.610	3.470	sáb
Qui	6.960	3.050	7.940	4.950	qui
Ter	9.290	3.240	7.420	6.460	ter
Qui	5.470	4.420	6.310	5.690	qui
Ter	7.450	4.400	6.900	6.100	sáb
Qui	6.240	6.600	8.750	3.220	qui
Sáb	6.820	7.080	7.200	6.840	sáb
Ter	8.970	4.740	7.590	6.210	qui
Qui	8.220	3.820	6.410	8.100	sáb
Sáb	6.080	5.090	5.760	6.930	ter
Ter	7.800	6.390	6.740	3.490	qui
Qui	7.800	6.390	5.960	7.660	ter
Sáb	6.100	6.510	8.810	3.660	qui
Qui	6.120	5.940	6.890	6.360	sáb
Sáb	5.330	6.870	6.610	5.570	ter
Ter	6.670	4.880	6.320	5.120	qui
Sáb	8.430	4.360	6.960	6.860	sáb
Qui	8.480	6.710	6.290	4.460	qui
Sáb	6.320	6.480	6.570	7.550	sáb
Ter	7.760	6.730	7.690	6.820	ter
Qui	6.180	6.640	5.300	6.330	qui
Ter	7.510	7.290	7.960	7.430	sáb
Qui	7.290	5.580	9.270	5.750	ter
Ter	8.650	8.210	6.880	5.850	ter
Qui	8.390	5.760	6.890	4.820	qui
Ter	6.000	9.120	6.450	6.650	sáb
Qui	6.550	5.020	6.450	6.650	sáb
			4.570	5.300	sáb
			7.160	8.740	ter
			7.460	7.900	qui
			6.860		sáb
			7.090	4.750	ter
<b>MÍNIMO</b>	<b>5.330</b>	<b>2.900</b>	<b>4.570</b>	<b>3.220</b>	
<b>MÁXIMO</b>	<b>9.290</b>	<b>9.120</b>	<b>10.860</b>	<b>9.930</b>	
<b>MÉDIO</b>	<b>6.964</b>	<b>5.516</b>	<b>7.251</b>	<b>6.186</b>	

A média da quantidade transportada de resíduos na 1<sup>o</sup> viagem aumentou em cerca de 290 kg de resíduos do método empírico comparado ao

transcad. Já na segunda viagem houve um aumento médio de 670 kg de resíduos. Quando combinada a 1º (primeira) e a 2º (segunda) viagem temos um aumento médio de 960 kg de resíduos transportados. Esse aumento da quantidade de resíduos transportados pode ser explicado através de diversos aspectos dentre os quais podemos destacar:

- A instalação do sistema de fiscalização através de GPS aumentou a fiscalização do trajeto a ser percorrido, obrigando a guarnição de coleta a executar todo o roteiro projetado pela empresa. Os caminhões passam a atender todas as ruas designadas provocando o aumento da quantidade de resíduos coletados;
- O fornecimento de um trajeto elaborado pelo Transcad possibilitou que os caminhões percorressem exatamente o roteiro pré-determinado. Desta forma, os caminhões passaram a ter horários regulares de coleta, tendo a população a obrigação de colocar o resíduo para coleta na hora já pré-determinada. Além de garantir o aumento da quantidade de resíduos coletados esta prática evita que o resíduo fique exposto durante um longo período de tempo, atraindo vetores e provocando mau cheiro;

Outro aspecto que deve ser observado é o maior equilíbrio entre a quantidade de resíduos transportados entre a 1º (primeira) e a 2º (segunda) viagem. Adotando o modelo empírico de dimensionamento de rota, a diferença média entre a 1º (primeira) viagem e a 2º (segunda) viagem é de 26,24%. Utilizando a metodologia de dimensionamento através do Transcad a diferença média entre a 1º (primeira) viagem e a 2º (segunda) viagem cai para 17,23%, uma redução média de aproximadamente 8%. A distribuição mais igualitária das cargas diminui os gastos com manutenção de veículos, diminui o consumo de pneus e ate mesmo o consumo de combustível. A redução destes 3 (três) parâmetros citados é relativa e só tem valor técnico quando possuímos situações em que temos grande variação da quantidade de resíduos transportados entre uma viagem e outra. Como não houve êxito na instalação e operação do sistema de pesagem embarcada de resíduos, a equipe formada por motoristas e coletores é que decide a hora de encerrar determinado roteiro e seguir para local de vazamento de resíduos.

Essa avaliação foi realizada de forma equivocada algumas vezes ao longo do desenvolvimento deste projeto conforme pode ser observado na tabela 7.

A quantidade de resíduos transportada por cada caminhão está limitada ao PBT (peso bruto total) homologado pelo fabricante e pela Lei da balança (CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito).

O caminhão utilizado neste trabalho é o Ford, modelo Cargo 1722e, que possui PBT homologado de 16.000kg e capacidade de carga útil mais carroceria de 10.570 kg. Como podemos observar a quantidade de resíduos transportada supera a capacidade de carga do modelo em questão em cerca de 5.770 kg (10.570 kg – 4.800 kg = 5.770 kg), onde o 4.800 kg equivale ao peso da caixa compactadora de resíduos. Esse problema apresentado é gravíssimo e pode implicar em diversos aspectos negativos, caso o caminhão fosse pesado em uma balança rodoviária de um órgão fiscalizador de trânsito, seria multado e impedido de prosseguir viagem ou até mesmo, caso se envolvesse em algum acidente o sobrepeso ficaria evidente e a empresa proprietária do veículo sofreria as sanções cabíveis. O sobrepeso dos caminhões danifica o asfalto das rodovias, diminui o tempo de frenagem, aumenta o consumo de pneus, aumenta o desgaste dos componentes do motor e aumenta os gastos de combustível.

As medições do sistema de pesagem embarcada instalado, apresentaram distorções significativas quando comparada as medições efetivadas na balança rodoviária do aterro sanitário. Esse erro ocorreu em virtude da falta de calibração ideal do sistema de pesagem embarcada pela empresa terceirizada responsável.

A tabela 8 apresenta a quantidade média transportada de resíduos por cada dia da semana.

Tabela 8: Quantidade média de resíduos transportados por dia da semana.

<b>QUANTIDADE MÉDIA DE RESÍDUOS TRANSPORTADOS POR DIA DA SEMANA (Kg)</b>					
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>					
<b>1º Viagem</b>			<b>2º Viagem</b>		
<b>Terça</b>	<b>quinta</b>	<b>sábado</b>	<b>Terça</b>	<b>quinta</b>	<b>sábado</b>
7.838,33	6.762,67	6.216,00	5.905,83	5.113,33	5.653,00
<b>MÉTODO MODELAGEM TRASCAD</b>					
<b>1º Viagem</b>			<b>2º Viagem</b>		
<b>Terça</b>	<b>quinta</b>	<b>sábado</b>	<b>Terça</b>	<b>quinta</b>	<b>sábado</b>
7.534,62	7.265,71	6.992,00	6.872,31	5.375,71	5.934,00

Podemos observar que terça feira é o dia que apresenta maior valor médio de resíduos transportados por viagem, tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que em roteiros de coleta alternados (3 vezes na semana) o morador fica sem serviço de coleta durante 2 dias (domingo e segunda) acumulando todo o resíduo gerado no fim de semana e colocando a disposição para coleta somente na terça feira. Durante o fim de semana temos um aumento significativo da quantidade de resíduos produzidos, já que grande parte das pessoas está em casa e não na sua unidade de trabalho.

#### **4.1.8. Produtividade horária média**

A produtividade horária média é a razão entre a quantidade média de resíduos coletados em um determinado espaço de tempo. A tabela 9 apresenta os valores de produtividade horária média encontrados neste estudo.

Tabela 9: Produtividade horária média

<b>PRODUTIVIDADE HORÁRIA MÉDIA (kg/min)</b>			
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>			
	<b>1º Viagem</b>	<b>2º Viagem</b>	<b>1º Viagem + 2º Viagem</b>
<b>Peso Transportado</b>	6.964 kg	5.516 kg	12.480 kg
<b>Tempo de Coleta</b>	213 min	175 min	388 min
<b>Produtividade Horária Média</b>	32,69 kg/min	31,52 kg/min	32,16 kg/min
<b>PRODUTIVIDADE HORÁRIA MÉDIA (kg/min)</b>			
<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>			
	<b>1º Viagem</b>	<b>2º Viagem</b>	<b>1º Viagem + 2º Viagem</b>
<b>Peso Transportado</b>	7.251kg	6.186 kg	13.437 kg
<b>Tempo de Coleta</b>	216 min	192 min	408 min
<b>Produtividade Horária Média</b>	33,56 kg/min	32,21 kg/min	32,93 kg/min

A tabela de produtividade horária média mostra que o novo roteiro de coleta confeccionado através do Transcad, apresenta índices de produtividade superiores à

solução outrora utilizada. Na 1º (primeira) viagem houve um aumento médio de 0,87 kg/min, na 2º (segunda) viagem o aumento médio foi de 0,69 kg/min e quando combinado a 1º (primeira) e 2º (segunda) viagem temos um aumento de 0,77 kg/min. Considerando uma jornada de trabalho de 08 horas diárias (480 minutos), teremos um aumento médio de 369,60 kg de resíduos coletados por turno de trabalho.

#### **4.1.9. Tempo de permanência no aterro sanitário**

O tempo de permanência dos caminhões no aterro sanitário na hora do vazamento dos resíduos foi avaliado, buscando compreender o comportamento da mão de obra (motoristas) quando da implantação de dispositivos de controle de frota nos caminhões.

A tabela 10 apresenta os valores obtidos no levantamento proposto.

Tabela 10: Tempo de permanência no aterro sanitário.

<b>TEMPO DE PERMANÊNCIA NO ATERRO SANITÁRIO (min)</b>							
<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>				<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>			
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>1º V</b>	<b>2º V</b>	<b>1º V + 2º V</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	00:20	00:20	00:40	00:15	00:15	00:30	Ter
Sáb	00:10	00:15	00:25	00:10	00:10	00:20	Qui
Qui	00:20	00:20	00:40	00:10	00:10	00:20	Sáb
Sáb	00:10	00:10	00:20	00:15	00:13	00:28	Ter
Qui	00:10	00:20	00:30	00:10	00:10	00:20	Sáb
Sáb	00:10	00:20	00:30	00:14	00:16	00:30	Ter
Ter	00:10	00:05	00:15	00:10	00:15	00:25	Qui
Ter	00:15	00:10	00:25	00:10	00:20	00:30	Sáb
Qui	00:10	00:15	00:25	00:10	00:20	00:30	Ter
Sáb	00:05	00:08	00:13	00:10	00:10	00:20	Qui
Ter	00:15	00:10	00:25	00:10	00:15	00:25	Sáb
Qui	00:10	00:15	00:25	00:20	00:10	00:30	Qui
Ter	00:10	00:10	00:20	00:16	00:11	00:27	Ter
Qui	00:10	00:10	00:20	00:14	00:20	00:34	Qui
Ter	00:10	00:10	00:20	00:10	00:10	00:20	Sáb
Qui	00:15	00:15	00:30	00:16	00:20	00:36	Qui
Sáb	00:10	00:10	00:20	00:15	00:20	00:35	Sáb
Ter	00:10	00:15	00:25	00:15	00:30	00:45	Qui
Qui	00:10	00:09	00:19	00:12	00:16	00:28	Sáb
Sáb	00:10	00:10	00:20	00:20	00:10	00:30	Ter

Ter	00:15	00:15	00:30	00:10	00:20	00:30	Qui
Qui	00:15	00:15	00:30	00:20	00:10	00:30	Ter
Sáb	00:15	00:10	00:25	00:12	00:09	00:21	Qui
Qui	00:10	00:20	00:30	00:10	00:30	00:40	Sáb
Sáb	00:10	00:25	00:35	00:10	00:15	00:25	Ter
Ter	00:10	00:15	00:25	00:15	00:10	00:25	Qui
Sáb	00:10	00:15	00:25	00:11	00:19	00:30	Sáb
Qui	00:10	00:20	00:30	00:10	00:10	00:20	Qui
Sáb	00:10	00:15	00:25	00:10	00:20	00:30	Sáb
Ter	00:15	00:15	00:30	00:17	00:11	00:28	Ter
Qui	00:15	00:15	00:30	00:11	00:16	00:27	Qui
Ter	00:10	00:15	00:25	00:12	00:18	00:30	Sáb
Qui	00:10	00:20	00:30	00:14	00:14	00:28	Ter
Ter	00:10	00:10	00:20	00:12	00:14	00:26	Ter
Qui	00:10	00:15	00:25	00:15	00:15	00:30	Qui
Ter	00:20	00:15	00:35	00:20	00:25	00:45	Sáb
Qui	00:15	00:15	00:30	00:20	00:25	00:45	Sáb
				00:20	00:15	00:35	Sáb
				00:10	00:18	00:28	Ter
				00:25	00:15	00:40	Qui
				00:15	00:35	00:50	Sáb
				00:10	00:20	00:30	Ter
<b>MÉDIA</b>	00:11	00:14	<b>00:25</b>	00:13	00:16	<b>00:29</b>	

O tempo médio de permanência dos caminhões no aterro sanitário, somando os valores da 1º e da 2º viagem, aumentou apenas 3 minutos. Esse resultado evidencia que os caminhões efetuam o descarregamento dos resíduos em um tempo adequado, sem perdas consideráveis. O fato da empresa proprietária do aterro sanitário ser a mesma da empresa responsável pelos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos intimida os motoristas a permanecerem no aterro sanitário por tempo desnecessário e contribui para a otimização dos serviços ora prestados pela empresa.

#### **4.1.10. Tempo de retorno dos caminhões para a base**

Foram avaliados os tempos de percurso entre o aterro sanitário e a base de estacionamento dos caminhões. A tabela 11 apresenta os resultados encontrados:

Tabela 11: Tempo de retorno dos caminhões para a garagem.

<b>TEMPO DE RETORNO DOS CAMINHÕES (hh:min)</b>			
<b>DIA DA SEMANA</b>	<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>	<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>	<b>DIA DA SEMANA</b>
Qui	01:25	00:50	Ter
Sáb	00:40	00:45	Qui
Qui	01:05	00:45	Sáb
Sáb	00:55	00:45	Ter
Qui	00:40	00:35	Sáb
Sáb	00:40	00:45	Ter
Ter	00:40	01:05	Qui
Ter	00:35	00:45	Sáb
Qui	01:15	00:45	Ter
Sáb	00:35	01:00	Qui
Ter	00:40	01:05	Sáb
Qui	00:50	01:10	Qui
Ter	00:45	03:00	Ter
Qui	00:50	00:49	Qui
Ter	00:50	01:15	Sáb
Qui	00:50	00:55	Qui
Sáb	00:40	00:50	Sáb
Ter	00:50	00:55	Qui
Qui	00:50	00:37	Sáb
Sáb	00:55	01:00	Ter
Ter	01:00	01:15	Qui
Qui	01:00	01:20	Ter
Sáb	00:50	01:03	Qui
Qui	00:55	01:05	Sáb
Sáb	01:00	01:00	Ter
Ter	00:45	01:05	Qui
Sáb	00:45	00:55	Sáb
Qui	00:45	01:05	Qui
Sáb	00:40	01:00	Sáb
Ter	00:40	00:56	Ter
Qui	00:45	01:16	Qui
Ter	00:40	01:09	Sáb
Qui	00:40	00:54	Ter
Ter	01:20	01:19	Ter
Qui	01:25	01:00	Qui
Ter	05:05	01:00	Sáb
Qui	00:40	01:00	Sáb
		00:50	Sáb
		01:07	Ter
		01:15	Qui
		00:55	Sáb

		00:41	Ter
<b>MÉDIA</b>	<b>00:57</b>	<b>01:01</b>	

De acordo com os resultados encontrados houve um aumento médio de 4 minutos no tempo de deslocamento dos caminhões. A localização do aterro sanitário as margens da BR 101 e a ausência de um retorno próximo à saída do aterro contribuíam para que os motoristas anteriormente fizessem um retorno irregular aumentando as chances de graves acidentes. Com a instalação dos recursos de monitoramento, aumento da fiscalização e a pré-determinação dos trajetos o caminhão passou a executar o roteiro mais próximo do projetado, melhorando as condições de segurança de todos os envolvidos no processo (motoristas, coletores, transeuntes, etc.).

#### **4.1.11. Quilometragem de retorno dos caminhões para a base**

A distância percorrida pelos caminhões entre o aterro sanitário e a base de garagem da empresa está apresentada na tabela 12.

Tabela 12: Quilometragem de retorno dos caminhões.

<b>QUILOMETRAGEM DE RETORNO DOS CAMINHÕES (km)</b>			
<b>DIAS DA SEMANA</b>	<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>	<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>	<b>DIAS DA SEMANA</b>
Qui	30,00	31,00	Ter
Sáb	30,00	34,00	Qui
Qui	32,00	34,00	Sáb
Sáb	30,00	29,00	Ter
Qui	33,00	30,00	Sáb
Sáb	29,00	33,00	Ter
Ter	30,00	33,00	Qui
Ter	30,00	32,00	Sáb
Qui	48,00	31,00	Ter
Sáb	29,00	42,00	Qui
Ter	33,00	40,00	Sáb
Qui	38,00	31,00	Qui
Ter	32,00	43,00	Ter
Qui	40,00	28,00	Qui
Ter	34,00	33,00	Sáb
Qui	38,00	30,00	Qui
Sáb	30,00	38,00	Sáb

Ter	40,00	33,00	Qui
Qui	32,00	8,00	Sáb
Sáb	41,00	33,00	Ter
Ter	40,00	24,00	Qui
Qui	40,00	36,00	Ter
Sáb	29,00	33,00	Qui
Qui	30,00	30,00	Sáb
Sáb	30,00	35,00	Ter
Ter	30,00	33,00	Qui
Sáb	30,00	35,00	Sáb
Qui	39,00	33,00	Qui
Sáb	32,00	33,00	Sáb
Ter	32,00	34,00	Ter
Qui	30,00	35,00	Qui
Ter	26,00	30,00	Sáb
Qui	30,00	33,00	Ter
Ter	36,00	25,00	Ter
Qui		32,00	Qui
Ter	71,00	33,00	Sáb
Qui	34,00	33,00	Sáb
		24,00	Sáb
		24,00	Ter
		33,00	Qui
		23,00	Sáb
		15,00	Ter
<b>MÉDIA</b>	34,39	31,24	

Registrou-se uma diminuição média de 3,15 km no percurso estudado quando comparado à modelagem computacional e o modelo empírico. A determinação de um novo trajeto de volta à base também leva em consideração a moradia dos coletores de resíduos pertencentes a determinado roteiro. Apesar da dificuldade de controle de registro dos horários de entrada e saída no trabalho quando o funcionário deixa o veículo “durante” a jornada de trabalho, já existem alguns dispositivos de controle de ponto embarcado nos veículos. Essas medidas buscam reduzir os gastos com horas extras de funcionários e conseqüentemente a redução da sobrecarga de trabalho.

#### **4.1.12.Tempo total médio**

O tempo total médio foi calculado somando-se os tempos médios de todo o percurso estudado. Foram somadas as seguintes variáveis: Tempo médio de percurso para a rota, tempo médio de coleta na 1º viagem, tempo médio de deslocamento para o aterro na 1º viagem, tempo médio de retorno para a rota, tempo médio de coleta na 2º viagem, tempo médio de deslocamento para o aterro na 2º viagem e tempo médio de retorno do aterro para a base de garagem.

Com o tempo total médio é possível verificar a eficiência total do modelo aplicado, calculando inclusive a economia de recursos financeiros obtida com as alterações propostas.

A tabela 13 apresenta os resultados obtidos comparando a modelagem computacional e a modelagem empírica.

Tabela 13: Tempo total médio do roteiro.

	<b>MÉTODO EMPÍRICO</b>					
	<b>PERCURSO PARA A ROTA</b>	<b>COLETA</b>	<b>PERCURSO ATERRO</b>	<b>TEMPO A.S</b>	<b>VOLTA BASE</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Tempo (hh:min)</b>	00:49	06:28	00:48	00:25	00:57	<b>09:27</b>
<b>Km</b>	25,73	34,31	34,00	4,00	34,39	<b>132,43</b>
	<b>MÉTODO MODELAGEM TRANSCAD</b>					
<b>Tempo (hh:min)</b>	01:00	06:48	00:46	00:29	01:01	<b>10:04</b>
<b>Km</b>	32,11	28,71	36,00	4,00	31,24	<b>132,06</b>

Os totais apresentados na tabela 11 mostram que houve um aumento médio de 37 minutos no tempo total de coleta utilizando o percurso definido pelo Transcad. Considerando a jornada de trabalho definida em lei de 8 horas e 20 minutos, são apontadas diariamente em média 1 hora e quarenta e quatro minutos de horas extras.

A quilometragem total percorrida não apresentou alterações significativas, quando comparado o método empírico com o método de modelagem Transcad. O grande destaque do estudo é a redução média de 5,60 km no tempo médio de coleta. Em termos comparativos deve-se sempre analisar as distâncias percorridas

com o caminhão carregado de resíduos e com o caminhão descarregado de resíduos.

#### **4.1.13. Projeção de economia de recursos**

Para a quantificação financeira dos resultados obtidos dividiu-se a quilometragem percorrida pelos caminhões em 2 tipos específicos:

- Quilometragem carregada: Quilometragem percorrida com o caminhão em processo de carga ou carregado;
- Quilometragem descarregada: Quilometragem percorrida com o caminhão vazio.

A tabela 14 apresenta os totais obtidos em cada tipo específico de viagem.

Tabela 14: Quilometragem percorrida por tipo.

<b>QUILOMETRAGEM PERCORRIDA</b>		
<b>TIPO</b>	<b>MODELAGEM EMPÍRICA</b>	<b>MODELAGEM TRANSCAD</b>
<b>DESCARREGADA</b>	64,12	67,35
<b>CARREGADA</b>	68,31	64,71

O total gasto de combustível em um turno de trabalho está diretamente relacionado com a quilometragem percorrida e com a carga transportada, conforme cálculo abaixo:

#### **- Modelagem Empírica:**

Quilometragem total: 132,43 km;

Quilometragem sem carga: 64,12 km;

Quilometragem carregada: 68,31;

Consumo combustível caminhão carregado: 1,5 km/l;

Consumo combustível caminhão descarregado: 3,0 km/l;

\*Consumo pneus caminhão carregado: R\$ 0,14/km;

\*Consumo pneus caminhão descarregado: R\$ 0,12/km;

Preço médio litro diesel: R\$ 2,22;

**\*Parâmetros adotados com base nos relatórios operacionais da empresa responsável pelos serviços de coleta.**

**Gasto com combustível:**

$64,12 \text{ km} \div 3,0 \text{ km/l} = 21,37 \text{ l};$

$68,31 \text{ km} \div 1,5 \text{ km/l} = 45,54 \text{ l};$

Total de litros: 66,91 l;

Gasto total:  $66,91 \text{ l} \times \text{R\$ } 2,22 = \text{R\$ } 148,54;$

**Gasto com pneus**

$64,12 \text{ km} * \text{R\$ } 0,12 / \text{km} = \text{R\$ } 7,69;$

$68,31 \text{ km} * \text{R\$ } 0,14 / \text{km} = \text{R\$ } 9,56;$

Gasto total:  $\text{R\$ } 7,69 + \text{R\$ } 9,56 = \text{R\$ } 17,25;$

**- Modelagem Transcad:**

Quilometragem total: 132,06 km;

Quilometragem descarregada: 67,35 km;

Quilometragem carregada: 64,71;

Consumo combustível caminhão carregado: 1,5 km/l;

Consumo combustível caminhão descarregado: 3,0 km/l;

\*Consumo pneus caminhão carregado: R\$ 0,14/km;

\*Consumo pneus caminhão descarregado: R\$ 0,12/km;

Preço médio litro diesel: R\$ 2,22;

**\*Parâmetros adotados com base nos relatórios operacionais da empresa responsável pelos serviços de coleta.**

**Gasto com combustível:**

$67,35 \text{ km} \div 3,0 \text{ km/l} = 22,45 \text{ l};$

$64,71 \text{ km} \div 1,5 \text{ km/l} = 43,14 \text{ l};$

Total de litros: 65,59 l;

Gasto total:  $65,59 \text{ l} \times \text{R\$ } 2,22 = \text{R\$ } 145,60;$

**Gasto com pneus**

$67,35 \text{ km} * \text{R\$ } 0,12 / \text{km} = \text{R\$ } 8,08;$

$64,71 \text{ km} * \text{R\$ } 0,14 / \text{km} = \text{R\$ } 9,05;$

Gasto total: R\$ 8,08 + R\$ 9,05 = R\$ 17,13;

**Comparativo combustível:**

Gasto total modelo empírico: R\$ 148,54/turno;

Gasto total modelo Transcad: R\$ 145,60/turno;

Diferença: R\$ 2,94/turno;

**Comparativo pneus:**

Gasto total modelo empírico: R\$ 17,25/turno;

Gasto total modelo Transcad: R\$ 17,13/turno;

Diferença: R\$ 0,12/turno;

**Economia total: R\$ 3,06/turno.**

Quantidade de dias úteis no mês: 26 dias;

**Economia mensal por turno: R\$ 3,06/turno \* 26 dias = R\$ 79,56/mês;**

A tabela 15 apresenta o comparativa de gastos entre os modelos estudados:

Tabela 15: Comparativo de custos.

<b>COMPARATIVO DE CUSTOS</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MODELAGEM EMPÍRICA (R\$/TURNO)</b>	<b>MODELAGEM TRANSCAD (R\$/TURNO)</b>	<b>DIFERENÇA POR TURNO (R\$)</b>	<b>DIFERENÇA MENSAL (R\$)</b>
COMBUSTÍVEL	148,54	145,60	2,94	-
PNEUS	17,25	17,13	0,12	-
TOTAL	-	-	3,06	79,56

Se considerarmos os 40 roteiros do município de Macaé em 2 turnos de trabalho poderíamos ter uma economia significativa conforme cálculo a seguir:

R\$ 79,56/mês \* 2 turnos \* 40 roteiros = **R\$ 6.364,80/mês;**

Aplicando um BDI de 25,00% (valor médio utilizando em grande parte das licitações públicas) a economia no orçamento municipal pode chegar a **R\$ 7.956,00/mês.**

Teoricamente, quanto maior a quantidade de roteiros de um determinado município, maior a quantidade de recursos a ser economizada.

Existem ainda outros custos envolvidos nos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos, tais como: mão de obra, horas extras, manutenção de veículos, seguros, dentre outros. No entanto neste trabalho optou-se por dar um destaque especial nos custos de combustível e pneus por estarem diretamente relacionado a quantidade de quilômetros rodados.

## **5. Conclusão**

As ferramentas computacionais combinadas com os sistemas de informações geográficas (SIG) podem ser úteis ao dimensionamento e acompanhamento dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares.

O custo operacional da frota de veículos envolvidos no objeto deste estudo é diretamente relacionado às quantidades de horas e de quilômetros percorridos. O trabalho mostra que o uso do TRANSCAD na confecção de novos roteiros reduziu de forma significativa a quantidade de combustível utilizada e o consumo de pneus. Estas variáveis não são as únicas mas configuram-se como as principais a serem atingidas com o novo dimensionamento dos roteiros.

Ao contrário do trabalho onde as áreas contempladas pelos roteiros foram definidas com base nos roteiros empíricos, a reorganização das rotas a partir de critérios como bairro, quantidade de resíduos, densidade populacional, sistema viário urbano local, dentre outros deve ser realizada a fim de atingirmos melhores resultados.

A redução do consumo de combustível também possibilita a redução da quantidade de gases de efeito estufa emitidos pela frota de coleta. Este parâmetro reforça o caráter ambiental do projeto desenvolvido.

Também, o maior controle do trajeto dos veículos, inclusive da velocidade do mesmo, aumenta a segurança no trabalho de coleta domiciliar, tanto para os trabalhadores como para a população em geral.

Durante a realização do estudo além das dificuldades apontadas na obtenção das bases de dados para o modelo (mapas por exemplo), constatou-se que será necessário um sólido programa de treinamento para melhorar a qualificação de mão de obra desde o nível gerencial até os trabalhadores da coleta. Alterações nos itinerários requerem alto esforço das partes envolvidas para obtenção de resultados satisfatórios.

Constatou-se no estudo a dificuldade de se obter informações e referências bibliográficas sobre o tema coleta domiciliar, apesar de sua importância e deficiência ainda encontrados em muitos municípios.

Finalmente, destaca-se que o sistema com maior controle e melhores informações são ferramentas fundamentais para a fiscalização por parte do poder público sobre as empresas terceirizadas ou concessionárias.

## REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólido urbanos. NBR 12980/1993.

ABRELPE, Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 4ª edição, 2012, 184p.

ARONOFF, S., 1989. Geographic Information Systems: a management perspective. Ottawa, Canada: WDL Publications.

BODIN, L.; GOLDEN, B. Classification in vehicle routing and scheduling. Networks, v.11, n.2, p.97-108, 1981.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 3. Ed. Ver. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BURROUGH, P., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.; D'Alge, J.C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada)

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

CHRISTOFIDES, N. 1985. Vehicle routing. The traveling salesman problem: A guided tour of combinatorial optimization. John Wiley & Sons.

CLARKE, G.; WRIGHT, J. 1964. Scheduling of a vehicle from a central depot to a number of delivery points. Operations research, 12[4]:568-581.

COWEN, D., 1991. What is GIS? Em *NCGIA Core Curriculum, Introduction to GIS*, editado por M. F. Goodchild, K. K. Kemp (Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis), 1-1:9.

DEUS, A. B. S.; Luca; S. J; Clarke R. T. Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na saúde pública (iirsp): metodologia e aplicação. *Eng. sanit. ambient.*, v. 9 n. 4, p. 329-334, out/dez.. 2004.

EDMONDS, J.; JOHNSON, E. L. Matching, Euler Tours and Chinese Postman. *Mathematical Programming*, v. 5, p. 88-124, 1973.

EPA - Environmental Agency Protecyc, 1974. A five-stage improvement process for solid waste collectiom systems. EPA. Washington D.C

FERREIRA, J. ALBERTO. Melhoria contínua da qualidade da limpeza urbana. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; maio 1999; Rio de Janeiro: p. 1894-1902.

FONSECA, Edmilson. Iniciação ao estudo dos resíduos sólidos e da limpeza pública. Rio de Janeiro, 1999.

FREDERICKSON, G. N. Approximation Algorithms for Some Postman Problems. *Journal of Optimization Theory and Applications*, v. 26, p. 538-554, 1979.

GUAN, M. (1962) Graphic Programming Using Odd and Even Points, *Chinese Mathematics*, 1, 273 – 277.

GUIMARÃES, G. S.; PACHECO, R.C. Análise da viabilidade do uso de um software de roteirização de veículos em uma empresa agroindustrial. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Porto Alegre, p. 770-775, 2005.

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

IBGE, 2010, Dados IBGE Cidades Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 05 Janeiro 2013.

IETC – International Environmental Technology Centre, 1996. International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Waste Management – Technical Publication Service, [G]. UNEP, Osaka/s higa.

JARDIM, N. S. et al. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: CEMPRE, 2000.

KENCHANASHAN, T.E, MOHAIDEEN, J.A, SRINIVASAN, S., SUNDARAM, U.L.K (2011). "Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. Waste management & Research, v.29, n. 3.

McDONNELL, Rachel; KEMP, Karen. International GIS dictionary. New Jersey: John Wiley & Sons, 1995, 111p.

MELO, A. C. S. Avaliação do Uso de Sistema de Roteirização de Veículos. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Feral do Rio de Janeiro, 2000.

NCGIA. "The Research Plan for the National Center for Geographical Information and Analysis". International Journal of Geographical Information Systems, 3(2):117-36, 1989.

NONATO, L. G. Grafos. 2000. Disponível em <<http://www.lcad.icmc.usp.br/~nonato/ED/Grafos/node73.html>> Acesso em 08 Fevereiro. 2013.

NOVAES, A G.: Gerenciamento da Logística de Distribuição; ed. Campus; Rio de Janeiro; 2001.

OPAS – Organização Panamericana de Saúde, 2002. Guia metodológico para a preparação de plano diretores de gestão de resíduos sólidos municipais em cidades médias. OPAS. Washing DC.

PENALOZA, Hector Collazos; MUNOZ, Ramón Duque. Resíduos Sólidos. Bogotá: Ecoe Ediciones, 1998.

RACHAEL MCDONELL & KAREN KEMP. International GIS Dictionary. 1995 John Wiley & Sons, Inc. Page 2. Page 3. Page 4. Page 5.  
[doi.wiley.com/10.1002/9780470173213.ch20](https://doi.wiley.com/10.1002/9780470173213.ch20).

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: um retrato atual. Revista Fator GIS. Curitiba, 1993.

SMITH, T.R.; PEUQUET, D.J.; MENON, S.; AGARWAL, P. KBGIS-II: a knowledge-based geographic information system. International Journal of Geographic Information Systems, v. 1, n. 2, p. 149-172, 1987.

TCHOBONOGLOUS, G., THIESEN, H., VIGIL, S. (1993). Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues. Irwin Mc Graw-Hill. Boston.

## ANEXO I - Resultado textual desenvolvido pelo TRANSCAD

### Itinerary Report

ROUTE #1 : district 111 truck 1

Total Time : 212.76

Workload : 23943.74

Deadhead Time : 4.19

# Deadhead Links : 22

# Links Traveled : 272

# U-Turns : 19

# Left Turns : 49

# Right Turns : 40

# Straight Moves : 163

No.	Movement	Street_Name	Service
1	Start South on	AV W UM	Both
2	Straight	AV W UM	Both
3	Straight	AV W UM	Both
4	Straight	AV W UM	RS
5	Straight	AV W UM	RS
6	Straight	AV JFM	RS
7	Straight	AV JFM	RS
8	Straight	AV JFM	RS
9	Left on	AV W VINTE	Both
10	Straight	AV W VINTE	Both
11	Straight	AV W VINTE	Both
12	Straight	AV W VINTE	Both
13	Straight	AV W VINTE	RS
14	Straight	AV W VINTE	Both
15	Straight	AV W VINTE	Both
16	Right on	R SEM NOME	RS

17	U-turn	R SEM NOME	RS
18	Right on	AV W VINTE	Both
19	Left on	AV ATLANTICA	RS
20	Left on	R SEM NOME	RS
21	U-turn	R SEM NOME	RS
22	Left on	AV ATLANTICA	RS
23	Left on	R SEM NOME	RS
24	U-turn	R SEM NOME	RS
25	Left on	AV ATLANTICA	RS
26	Left on	AV W VINTE E DOIS	Both
27	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
28	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
29	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
30	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
31	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
32	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
33	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
34	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
35	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
36	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
37	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
38	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
39	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both
40	Right on	R CINCO	RS
41	U-turn	R CINCO	RS
42	Right on	AV W VINTE E DOIS	Both
43	Straight	AV W VINTE E DOIS	No
44	Straight	AV W VINTE E DOIS	No
45	Right on	R SEM NOME	Both
46	Right on	R SEM NOME	Both
47	Right on	R QUATRO	Both
48	Right on	AV W VINTE E DOIS	Both
49	Straight	AV W VINTE E DOIS	Both

50	Right on	R SEM NOME	No
51	Straight	R SEM NOME	Both
52	Right on	AV W VINTE E QUATRO	Both
53	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
54	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
55	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
56	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
57	Left on	R SEM NOME	RS
58	Right on	AV W VINTE E SEIS	Both
59	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both
60	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both
61	Straight	AV W VINTE E SEIS	No
62	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both
63	Left on	R SEM NOME	Both
64	Left on	AV W VINTE E OITO	No
65	Straight	AV W VINTE E OITO	No
66	Left on	AV W CINCO	Both
67	Straight	AV W CINCO	Both
68	Straight	AV W CINCO	Both
69	Straight	AV W CINCO	Both
70	Left on	AV W VINTE E SEIS	Both
71	Left on	R SEM NOME	Both
72	Left on	AV W VINTE E OITO	Both
73	Right on	AV W CINCO	Both
74	Straight	AV W CINCO	Both
75	Straight	AV W CINCO	Both
76	Straight	AV W CINCO	Both
77	Right on	AV W TRINTA	Both
78	Straight	AV W TRINTA	Both
79	Straight	AV W TRINTA	Both
80	Straight	AV W TRINTA	Both
81	Straight	AV W TRINTA	RS
82	U-turn	AV W TRINTA	RS

83	Left on	AV W TREZE	Both
84	Straight	AV W TREZE	Both
85	Straight	AV W TREZE	No
86	Left on	AV W VINTE E OITO	Both
87	Right on	AV W QUINZE	Both
88	Left on	AV W TRINTA E DOIS	RS
89	Left on	AV ATLANTICA	RS
90	Straight	AV ATLANTICA	RS
91	U-turn	AV ATLANTICA	RS
92	Straight	AV ATLANTICA	RS
93	Straight	AV ATLANTICA	No
94	Straight	AV ATLANTICA	RS
95	Straight	AV ATLANTICA	Both
96	Straight	AV ATLANTICA	RS
97	Straight	AV ATLANTICA	RS
98	Straight	AV ATLANTICA	RS
99	Straight	AV ATLANTICA	Both
100	Right on	R SEM NOME	RS
101	U-turn	R SEM NOME	RS
102	Right on	AV ATLANTICA	No
103	Right on	AV W DEZOITO	RS
104	Right on	AV W ONZE	Both
105	Left on	AV W VINTE	RS
106	Left on	R SEM NOME	Both
107	Right on	AV W DEZOITO	RS
108	Straight	AV W DEZOITO	RS
109	Straight	AV W DEZOITO	Both
110	Straight	AV W DEZOITO	Both
111	Straight	AV W DEZOITO	Both
112	Straight	AV W DEZOITO	Both
113	Straight	AV W DEZOITO	Both
114	Left on	AV W UM	Both
115	Straight	AV W UM	Both

116	Left on	AV W DEZESSEIS	RS
117	Straight	AV W DEZESSEIS	RS
118	U-turn	AV W DEZESSEIS	RS
119	Straight	AV W DEZESSEIS	RS
120	Left on	AV W UM	Both
121	Straight	AV W UM	Both
122	Straight	AV W UM	Both
123	Straight	AV W UM	Both
124	Left on	AV W QUATORZE	Both
125	Straight	AV W QUATORZE	No
126	Straight	AV W QUATORZE	No
127	Straight	AV W QUATORZE	Both
128	Straight	AV W QUATORZE	Both
129	Straight	AV W QUATORZE	No
130	Right on	AV JFM	RS
131	Left on	R SEM NOME	RS
132	U-turn	R SEM NOME	RS
133	Left on	AV JFM	RS
134	U-turn	AV JFM	RS
135	Straight	AV JFM	RS
136	Right on	AV W QUATORZE	Both
137	Straight	AV W QUATORZE	Both
138	Left on	R SEM NOME	RS
139	U-turn	R SEM NOME	RS
140	Left on	AV W QUATORZE	Both
141	Left on	R SEM NOME	RS
142	U-turn	R SEM NOME	RS
143	Left on	AV W QUATORZE	Both
144	Straight	AV W QUATORZE	Both
145	Straight	AV W QUATORZE	Both
146	Right on	R SEM NOME	No
147	Left on	AV W DOZE	Both
148	Straight	AV W DOZE	RS

149	Straight	AV W DOZE	RS
150	Straight	AV W DOZE	RS
151	U-turn	AV W DOZE	RS
152	Straight	AV W DOZE	RS
153	Straight	AV W DOZE	RS
154	Left on	AV W NOVE	No
155	Straight	AV W NOVE	RS
156	Straight	AV W NOVE	RS
157	Straight	AV W NOVE	RS
158	Straight	AV W NOVE	RS
159	Straight	AV W NOVE	RS
160	Straight	AV W NOVE	RS
161	U-turn	AV W NOVE	RS
162	Straight	AV W NOVE	RS
163	Straight	AV W NOVE	RS
164	Straight	AV W NOVE	RS
165	Straight	AV W NOVE	RS
166	Straight	AV W NOVE	RS
167	Right on	R SEM NOME	Both
168	Left on	R SEM NOME	Both
169	Right on	AV ATLANTICA	RS
170	Straight	AV ATLANTICA	RS
171	Straight	AV ATLANTICA	RS
172	Right on	R SEM NOME	RS
173	U-turn	R SEM NOME	RS
174	Left on	AV ATLANTICA	RS
175	Left on	R SEM NOME	RS
176	U-turn	R SEM NOME	RS
177	Left on	AV ATLANTICA	RS
178	Left on	R SEM NOME	RS
179	U-turn	R SEM NOME	RS
180	Left on	AV ATLANTICA	RS
181	Straight	AV ATLANTICA	Both

182	Straight	AV ATLANTICA	Both
183	Straight	AV ATLANTICA	Both
184	Left on	AV W QUATORZE	Both
185	Straight	AV W QUATORZE	Both
186	Straight	AV W QUATORZE	Both
187	Left on	R SEM NOME	No
188	Right on	AV W DOZE	Both
189	Straight	AV W DOZE	Both
190	Right on	R SEM NOME	RS
191	U-turn	R SEM NOME	RS
192	Right on	AV W DOZE	Both
193	Left on	AV JFM	RS
194	Straight	AV JFM	RS
195	Straight	AV JFM	RS
196	Straight	AV JFM	RS
197	Straight	AV JFM	RS
198	Straight	AV JFM	RS
199	U-turn	AV JFM	RS
200	Straight	AV JFM	RS
201	Straight	AV JFM	RS
202	Straight	AV JFM	RS
203	Straight	AV JFM	RS
204	Straight	AV JFM	RS
205	Left on	AV W DOZE	Both
206	Straight	AV W DOZE	Both
207	Straight	AV W DOZE	Both
208	Left on	AV W TRES	Both
209	Straight	AV W TRES	Both
210	Straight	AV W TRES	Both
211	Right on	AV W DOIS	No
212	Right on	AV W UM	Both
213	Straight	AV W UM	Both
214	Straight	AV W UM	Both

215	Straight	AV W UM	Both
216	Right on	AV W QUATORZE	No
217	Straight	AV W QUATORZE	Both
218	Straight	AV W QUATORZE	Both
219	Straight	AV W QUATORZE	No
220	Straight	AV W QUATORZE	No
221	Straight	AV W QUATORZE	Both
222	Left on	AV JFM	Both
223	Straight	AV JFM	Both
224	Right on	AV W DEZESSEIS	RS
225	Straight	AV W DEZESSEIS	RS
226	Left on	R SEM NOME	Both
227	Right on	AV W DEZOITO	RS
228	Straight	AV W DEZOITO	RS
229	Straight	AV W DEZOITO	Both
230	Straight	AV W DEZOITO	RS
231	Right on	AV ATLANTICA	Both
232	Straight	AV ATLANTICA	Both
233	Right on	AV W DEZESSEIS	Both
234	Straight	AV W DEZESSEIS	Both
235	Straight	AV W DEZESSEIS	Both
236	Straight	AV W DEZESSEIS	RS
237	Straight	AV W DEZESSEIS	RS
238	Right on	AV JFM	Both
239	Straight	AV JFM	Both
240	Straight	AV JFM	Both
241	Straight	AV JFM	RS
242	Straight	AV JFM	RS
243	Straight	AV JFM	RS
244	Straight	AV W UM	RS
245	Straight	AV W UM	RS
246	Right on	AV W VINTE E SEIS	Both
247	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both

248	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both
249	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both
250	Straight	AV W VINTE E SEIS	Both
251	Right on	R SEM NOME	RS
252	Left on	AV W VINTE E QUATRO	Both
253	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
254	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
255	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
256	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
257	Straight	AV W VINTE E QUATRO	Both
258	Left on	AV ATLANTICA	RS
259	Straight	AV ATLANTICA	No
260	Left on	AV W TRINTA E DOIS	RS
261	Straight	AV W TRINTA E DOIS	Both
262	Right on	AV W TREZE	Both
263	Straight	AV W TREZE	No
264	Left on	R SEM NOME	Both
265	Right on	AV W VINTE E OITO	No
266	Straight	AV W VINTE E OITO	Both
267	Straight	AV W VINTE E OITO	Both
268	Straight	AV W VINTE E OITO	Both
269	Straight	AV W VINTE E OITO	Both
270	Straight	AV W VINTE E OITO	Both
271	Straight	AV W VINTE E OITO	Both
272	Straight	AV W VINTE E OITO	Both